

**Al MATRİSLİ MgO TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN
İNİLTRASYON YÖNTEMİ İLE ÜRETİLMESİ VE
İŞLENEBİLİRLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Muharrem PUL

**DOKTORA
MAKİNA EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ŞUBAT 2010
ANKARA**

Muharrem PUL tarafından hazırlanan Al MATRİSLİ MgO TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN İNFİLTASYON YÖNTEMİ İLE ÜRETİLMESİ VE İŞLENEBİLİRLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ adlı bu tezin Doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Ulvi ŞEKER
Tez danışmanı, Makina Eğitimi Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makina Eğitimi Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Mehmet TÜRKER
Metal Eğitimi, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Ulvi ŞEKER
Makina Eğitimi, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Mahmut İZCİLER
Endüstriyel Tek. Eğt. Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Ramazan ÇITAK
Metal Eğitimi, Gazi Üniversitesi

Doç.Dr. İhsan KORKUT
Makina Eğitimi, Gazi Üniversitesi

Tarih:12/022010

Bu tez ile GÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Doktora derecesini onamıştır.

Prof.Dr. Bilal TOKLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

Muharrem PUL

**Al MATRİSLİ MgO TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN İNFİLTRASYON
YÖNTEMİ İLE ÜRETİLMESİ VE İŞLENEBİLİRLİĞİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

(Doktora Tezi)

Muharrem PUL

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Şubat 2010

ÖZET

Kompozit malzemeler, kullanım alanı hızla genişleyen bir mühendislik malzemesi olup çok çeşitli üretim yöntemleri mevcuttur. Bu çalışmada, vakumlu infiltrasyon yöntemi uygulanarak Al matrisli MgO takviyeli, Metal Matrisli Kompozit (MMK) numuneler üretilmiş ve bu malzemelerin deneysel olarak işlenebilirlikleri araştırılmıştır. Çalışma iki aşamada gerçekleştirilmiş olup, birinci aşamada kompozit malzemelerin üretimi, ikinci aşamada ise farklı takviye oranlarına sahip bu malzemelerin işlenebilirlikleri değerlendirilmiştir.

Kompozit numunelerin üretiminde matris malzemesi olarak ortalama 295 µm ebatlarında % 99,7 saflıkta alüminyum (Al) tozu, takviye elemanı olarak ise ortalama 149 µm ebatlarında magnezya (MgO) tozları kullanılmıştır. Hacimce % 5, % 10, % 15 MgO takviye oranına sahip üç farklı kompozit malzeme üretilmiştir. Üretim parametrelerinin; infiltrasyon mesafesi, kompozitin mikroyapısı, kırılma dayanımı ve sertliği üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Artan infiltrasyon sıcaklığı, süresi ve vakum değerinin infiltrasyon mesafesini artırdığı, artan takviye-hacim oranının ise aksine tesir yaptığı tespit edilmiştir. En yüksek sertlik değeri ve en yüksek çapraz kırılma dayanımı (ÇKD) % 5 MgO takviyeli numunede ölçülmüştür.

Üretilen MMK numuneler, sementit karbür (SK), kübik bor nitrür (KBN) ve kaplamalı kübik bor nitrür (KBN K) kesici takımlar kullanılarak tornalama yöntemiyle işleme deneylerine tabi tutulmuştur. İşleme deneyleri; kuru kesme şartlarında, dört farklı kesme hızı (150, 200, 250, 300 m/min), üç farklı ilerleme (0,075; 0,15; 0,225 min/rev) ve sabit kesme derinliğinde yapılmıştır. Numunelerin işlenebilirlik özellikleri kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü açısından değerlendirilmiştir.

Kesme kuvvetleri açısından yapılan değerlendirmede, artan kesme hızıyla kesme kuvvetlerinin düştüğü, ilerlemenin artmasıyla ise yükseldiği görülmüştür. Kesme kuvvetleri açısından en iyi sonuçlar %10 takviye hacim (T-H) oranına sahip numunelerde elde edilirken, % 5 ve % 10 T-H oranına sahip numunelerde en iyi sonuçlar SK kesici takımlarla elde edilmiştir. % 15 MgO takviyeli numunelerde, düşük ilerleme değerlerinde en iyi sonuçların alındığı SK kesici takımlar, artan talaş yükü ile ve sert fazın etkisiyle aşınma sürecine girerek performansları düşmüştür. Yüzey kalitesi, artan kesme hızıyla iyileşme eğilimi sergilerken, ilerlemenin artmasıyla ortalama yüzey pürüzlülük değerleri de artma eğilimine girmiştir. Kesme kuvvetlerine benzer şekilde % 5 ve % 10 MgO takviyeli numunelerde en iyi yüzey kalitesi SK kesici takımlarda elde edilirken, daha yüksek T-H oranı ve yüksek ilerleme değerlerinde KBN K takımlardan daha iyi sonuç alınmıştır. Takımlar üzerinde yapılan SEM incelemelerinde, 150 m/min kesme hızında yığıntı talaş (BUE) oluşma eğilimi gözlenmiş ve kesme kuvvetleri ile yüzey kalitesi bundan olumsuz etkilenmiştir.

Bilim Kodu : 708.3.028
Anahtar Kelimeler : Kompozitler, metal matrisli kompozit, infiltrasyon, alüminyum, mgo, işlenebilirlik, kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü
Sayfa Adedi : 210
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Ulvi ŞEKER / Yrd. Doç. Dr. Recep ÇALIN

**INVESTIGATIONS OF THE PRODUCIBILITY AND MACHINABILITY OF
METAL MATRIX COMPOSITES REINFORCED WITH MgO BY
INFILTRATION METHOD
(Ph.D. Thesis)**

Muharrem PUL

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
February 2010**

ABSTRACT

Composite materials are the engineering materials have a rapidly expanding using field and have very different production methods. Within the scope of this work, a kind of MMC which has a common field of usage is manufactured and its machinability inspected by applying the vacuum infiltration method. The study has been done at two step; the first step is producing of MMC materials and the second step is investigation of machinability of materials that contains different reinforcement rates.

On production of MMC, aluminum powder in the size of 295 μm approximately and purity of 99,7 % is used as the matrix material, and so are the magnesium particles (MgO) in the size of 149 μm approximately as the reinforcement element are used. 3 different composite samples contains 5 %, 10 %, 15 % MgO in weight have been manufactured. The affects of production parameters on the infiltration distance, composite micro-structure, breaking strengths and hardness have been determined. It has been found out that an increase in the infiltration temperature and period, reinforcement grain size, vacuum value and liquid matrix's Mg content raise the distance of infiltration, and an increase in the reinforcement volume rate vice versa. The sample with 5 % MgO reinforcement has the highest hardness value and cross-breaking strength.

The produced MMC samples are subjected to machining experiments by turning process using sementite carbide (SC) and coated cubic boron nitride (CBC) cutting tools. Machining experiments have been carried out using four different cutting speed (150, 200, 250, 300 m/min), three feeding rate (0,075 - 0,15 – 0,225 min/rev) at constant cutting depth and dry cutting conditions. The machinability features of samples are investigated in terms of cutting forces and surface roughness.

On the evaluation made in the respect of cutting forces, it is understood that “the more the cutting speed is, the lower the cutting force gets” and “the more the advance is , the more the cutting force gets”. While the best results in the respect of cutting forces are obtained from the samples in the rate of 10 % reinforcement – volume (R-V), the best results are obtained from the carbide (C) cutting tools for the samples in the rates of 5% and 10 % R-V. For the samples in the rate 15 % MgO reinforcement , the performance of the C cutting tools, by which we obtain the best results at the low advance rates, goes into an abrasion period and decreases by an increase in the chip load and the effect of the hard phase. While surface finishes tend to recover by an increase in the cutting speed, the surface roughness values tend to rise by an increase in the advance. In a similar way to the cutting forces while the best results for the samples in the rate of %5 and 10 % MgO reinforcement are obtained from the C cutting tools, the better results for the higher rate of T-H are obtained from the CBN C tools at the high advance rates. On the inspections of the SEM on the tools, it is observed that built up edge (BUE) has a tendency to build up at the cutting rate of 150 m/min., having an adverse affect upon the cutting forces and the surface finish.

Science Code : 708.3.028

Key Words : Composites, metal matrix composite, infiltration, aluminium, mgo, machinability, cutting forces, surface roughness

Page Number : 210

Adviser : Prof. Dr. Ulvi SEKER / Yrd. Doç. Dr. Recep ÇALIN

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım süresince engin bilgi birikimi ve değerli katkıları ile beni yönlendiren danışmanım Sayın Prof. Dr. Ulvi ŞEKER'e, ikinci danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Recep ÇALIN'a, çok değerli katkılarını esirgemeyen Tez İzleme Komitesi Üyeleri Sayın Prof. Dr. Ramazan ÇITAK, Sayın Doç. Dr. İhsan KORKUT ve değerli görüşlerinden faydalandığım Sayın Prof. Dr. Mehmet TÜRKER'e saygı ve şükranlarımı sunarım.

Tezimin deneylerinin yapılması sırasında, katkılarını esirgemeyen ve atölye imkanlarını seferber eden HBN Ltd.Şti. Sayın Üretim Müh. Mehmet AY'a ve Kırıkkale End. Mes. Lisesi Döküm Bölümü Öğretmenlerine, Magnezya tozlarının teminindeki katkılarından dolayı KÜMAŞ'ın değerli Mühendisleri Sayın Mustafa ÇAVAŞ, Sayın Murat ATAŞ ve Sayın Önder DEVECİOĞLU'a, ayrıca Dumlupınar Üniversitesi öğretim üyesi Sayın Yrd. Doç. Dr. Mustafa AYDIN'a teşekkürlerimi sunarım.

Deneyle ve laboratuvar çalışmalarım da emeklerini esirgemeyen, Gazi Üniversitesi'nin değerli öğretim elemanları, Sayın Yrd. Doç. Dr. Ahmet GÜRAL'a, Sayın Yrd. Doç. Dr. Bülent BOSTAN'a, Sayın Yrd. Doç. Dr. Mustafa GÜNAY'a, Sayın Öğ. Gör. H.Bekir ÖZRERKAN'a, Sayın Arş. Gör. Hanifi ÇİNİCİ'ye, Sayın Arş. Gör. Gültekin UZUN'a ve G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü personeline şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmam süresince gösterdikleri sabır ve anlayıştan dolayı sevgili eşim Zeliha, kızım Merve ve oğlum Tefvik PUL'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiv
RESİMLERİN LİSTESİ	xvii
SİMGE VE KISALTMALAR	xviii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	4
2.1. Metal Matrisli Kompozitlerin Üretimi ve Özellikleriyle İlgili Çalışmalar	4
2.2. MMK'ların İşlenebilirlikleriyle İlgili Yapılan Çalışmalar.....	23
2.3. Literatür Araştırmasının Değerlendirilmesi.....	40
2.3.1. Metal matrisli kompozitlerin üretimi ve özellikleriyle ilgili çalışmaların değerlendirilmesi.....	40
2.3.2. Metal matrisli kompozitlerin işlenebilirlikleriyle ilgili çalışmaların değerlendirilmesi.....	43
2.3.3. Genel değerlendirme.....	44
3. KOMPOZİT MALZEMELER.....	47
3.1. Kompozit Malzemenin Tanımı ve Genel Özellikleri.....	47
3.2. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	48
3.2.1. Matris malzemesine göre kompozitler.....	48
3.2.2. Takviye elemanının şekline göre kompozitler.....	51
3.3. Kompozit Malzemelerin Avantaj ve Dezavantajları.....	52
3.4. Metal Matrisli Kompozitler.....	53
3.4.1. MMK'larda kullanılan matris malzemeleri.....	54

Sayfa

3.4.2. MMK'larda kullanılan takviye elemanları.....	55
3.5. Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri.....	59
3.5.1. Sıvı hal üretim yöntemleri.....	60
3.5.2. Katı hal üretim yöntemleri.....	73
3.5.3. İn-situ işlemler.....	78
4. TALAŞLI İMALAT	79
4.1. Talaş Kaldırma Mekanığı.....	80
4.2. Talaş Şekilleri.....	83
4.3. Talaşlı İmalatta Kesme Kuvvetleri.....	86
4.4. Yüzey Pürüzlülüğü.....	88
4.5. Kesici Takım Aşınması	90
4.6. İşlenebilirlik	96
5. MALZEME VE YÖNTEM	98
5.1. Kompozit Malzemelerin Üretimi.....	98
5.1.1. Takviye elemanı Magnezya'nın (MgO) hazırlanması.....	98
5.1.2. Matris malzemesi.....	99
5.1.3. Deney numunelerinin hazırlanması.....	100
5.1.4. Deneyin yapılması.....	101
5.1.5. Yoğunluk ve gözeneklilik belirlemesi.....	105
5.1.6. Sertlik ölçümleri.....	105
5.1.7. Çapraz kırılma mukavemeti ölçümleri.....	106
5.1.8. Mikro yapı incelemesi.....	107
5.2. İşlenebilirlik Deneyleri	107
5.2.1. Takım tezgahı.....	108
5.2.2. Takım tutucu.....	109
5.2.3. Kesici takımlar.....	109
5.2.4. Kesme parametreleri.....	110
5.2.5. Kesme kuvvetlerinin ölçülmesi.....	111
5.2.6. Yüzey pürüzlülüklerinin ölçülmesi.....	114

Sayfa

5.2.7. İşlenebilirliğin değerlendirilmesi.....	114
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	116
6.1. Üretilen MMK Numunelere Ait Sonuçların Değerlendirilmesi.....	116
6.1.1. Numunelerin mikroyapı özellikleri ve takviye hacim (T-H) oranının MgO parçacık dağılımına etkisi.....	116
6.1.2. Takviye hacim oranının infiltrasyon mesafesine etkisi.....	120
6.1.3. Takviye hacim oranının gözenek oluşumuna etkisi.....	122
6.1.4. Takviye hacim oranına bağlı çapraz kırılma deney sonuçlarının değerlendirilmesi.....	124
6.1.5. Takviye hacim oranına bağlı sertlik ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi.....	129
6.2. MMK Numunelerin İşlenebilirlik Özellikleri.....	130
6.2.1. Kesme kuvvetlerinin değerlendirilmesi.....	130
6.2.2. Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi.....	151
6.2.3. Kesici takım aşınma davranışlarının değerlendirilmesi.....	162
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	167
7.1. Sonuçlar.....	167
7.1.1. Üretim yöntemi ve mekanik özellikleri.....	167
7.1.2. İşlenebilirlik özellikleri.....	169
7.2. Öneriler.....	174
KAYNAKLAR	177
ÖZGEÇMİŞ	191

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Çeşitli parçacık tipindeki takviye elemanlarının tipik özellikleri.....	56
Çizelge 3.2. Saf magnezyanın bazı fiziksel özellikleri.....	57
Çizelge 3.3. SiC'ün bazı mekanik ve fiziksel özellikleri	59
Çizelge 4.1. Ra pürüzlülük değerleri ile yüzey kalite sembolleri arasındaki bağıntı.....	90
Çizelge 5.1. Deneilerde kullanılan takviye elemanı magnezyanın bileşimi ve fiziksel özellikleri.....	98
Çizelge 5.2. İnfiltrasyon deneylerinde kullanılacak Al sıvı matrisin bileşimi ve fiziksel özellikleri.....	99
Çizelge 5.3. Magnezyuma ait bazı fiziksel özellikler.....	99
Çizelge 5.4. Numune karışım oranlarının ağırlıkları.....	100
Çizelge 5.5. T-H oranına bağılı gözenek değerleri.....	105
Çizelge 5.6.Çapraz kırılma ölçüm değerleri.....	107
Çizelge 5.7. JOHNFORD TC 35 BSD torna tezgahının teknik özellikleri.....	109
Çizelge 5.8. Kullanılan kesici takımların özellikleri.....	110
Çizelge 5.9. İşlenebilirlik deneylerde kullanılan kesme parametreleri ve seviyeleri.....	111
Çizelge 5.10. KISTLER 9257B tipi dinamometrenin teknik özellikleri.....	111
Çizelge 5.11. Mohr Perthometer M1 yüzey pürüzlülüğü ölçme cihazının teknik özellikleri.....	114
Çizelge 6.1. 550 mmHg vakumda, 5 dakika sürede, farklı sıcaklıklarda yapılan deneylerde, MgO T-H oranına bağılı infiltrasyon mesafeleri.....	120

Çizelge	Sayfa
Çizelge 6.2. 500 mmHg vakumda, 800°C sıcaklıkta ve 5 dakika sürede üretilen kompozit numunelerin T-H oranına bağlı gözenek değerleri	122
Çizelge 6.3. 550 mmHg vakumda, 800 °C sıcaklıkta ve 5 dakika sürede üretilen kompozit numunelere ait çapraz kırılma ölçüm değerleri.....	124
Çizelge 6.4. 550 mmHg vakumda, 800 °C sıcaklıkta ve 5 dakika sürede üretilen kompozit numunelere ait HB Sertlik değerleri.....	129
Çizelge 6.5. İşleme şartları ve kesme parametrelerine bağlı olarak elde edilen kesme kuvveti bileşenlerinin değeri.....	132
Çizelge 6.6. İlerleme kuvveti (Ff) ve radyal kuvvet (Fr)'nin asıl kesme kuvveti (Fc) ile ilişkisi (% Fc olarak).....	141
Çizelge 6.7. T-H oranı, kesici takım malzemesi, kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak işlenen yüzeylerde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri.....	152

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Takviye elemanının şekline göre kompozit çeşitleri.....	51
Şekil 3.2. Takviye malzemesinin geometrisine göre metal matrisli kompozitlerin SEM görüntüleri, a- Partikül takviyeli b- Kısa fiber takviyeli c -Sürekli fiber takviyeli.....	56
Şekil 3.3. Sıkıştırılmalı döküm yöntemi işlem basamakları.....	61
Şekil 3.4. Karıştırılmalı döküm ünitesi.....	62
Şekil 3.5. Basınçlı döküm yöntemi.....	65
Şekil 3.6. Vakumlu infiltrasyon düzeneği.....	66
Şekil 3.7. Basınçlı infiltrasyon düzeneği	67
Şekil 3.8. Basınçsız infiltrasyon yöntemi.....	68
Şekil 3.9. Takviye tozlarının cam kap içerisinde oluşturdukları dolu hacim ve gözenekler	69
Şekil 3.10. Sıvı damlasının katı bir yüzeyle temasıyla oluşan yüzey gerilimleri ve temas açısı.....	72
Şekil 3.11. Sıcak haddelemenin şematik gösterimi.....	75
Şekil 3.12. Toz şekilleri.....	76
Şekil 3.13. Toz metalurjisi yönteminin üretim basamakları	77
Şekil 4.1. Dik kesme modeli.....	81
Şekil 4.2. Plastik deformasyon bölgeleri.....	83
Şekil 4.3. Sürekli talaş biçimi.....	84
Şekil 4.4. Kesikli talaş biçimi.....	84
Şekil 4.5. Yığıntı talaş biçimi (BUE).....	85
Şekil 4.6. Yarı kesintili talaş biçimi.....	86

Şekil	Sayfa
Şekil 4.7. Tornalama işlemi esnasında oluşan üç kuvvet bileşeni.....	87
Şekil 4.8. R_a ve R_q değerlerinin hesaplanması.....	88
Şekil 4.9. Yüzey pürüzlülüğü karakteristikleri	89
Şekil 4.10. Kesici takım ucundaki aşınmalar a) Krater aşınması b) Yan yüzey aşınması	91
Şekil 4.11. Metallerin işlenmesi sırasında temel aşınma mekanizmaları.....	92
Şekil 4.12. İşlenebilirliği etkileyen faktörler	97
Şekil 5.1. İnfiltrasyona hazır halde doldurulmuş paslanmaz çelik boru.....	101
Şekil 5.2. Vakum infiltrasyon deney düzeneği.....	102
Şekil 5.3. Standart çapraz kırılma deney aparatı.....	107
Şekil 5.4. Numunenin bağlama aparatına yerleştirilmesi.....	108
Şekil 5.5. Mitsubishi Carbide PSBNR 2525 M12 kodlu takım tutucu.....	109
Şekil 5.6. Kesme kuvvetleri ölçme deney düzeneği	112
Şekil 5.7. Kesme kuvvetlerinin ölçülmesinde dinamometreden alınmış örnek grafik	113
Şekil 6.1. % 5 MgO T-H oranlı, 550 mmHg vakumda, 800 °C sıcaklıkta ve 5 dakika sürede üretilen kompozitin mikroyapı görüntüsü ve üç farklı bölgeden alınan EDS analiz sonuçları a)1. Bölge analizi b) 2. Bölge analizi c) 3. Bölge analizi.....	119
Şekil 6.2. 550 mmHg vakumda, 5 dakika sürede, 800°C sıcaklıkta yapılan deneylerde, MgO T-H oranına bağlı infiltrasyon mesafesinin değişimi.....	120
Şekil 6.3. 550 mmHg vakumda, 800 °C sıcaklıkta ve 5 dakika sürede üretilen kompozit numunelere ait T-H oranı ve kırılma dayanımı ilişkisi.....	124

Şekil	Sayfa
Şekil 6.4. % 15 MgO T-H oranlı, 550 mmHg vakumda, 800 °C sıcaklıkta ve 5 dakika sürede üretilen kompozitin mikroyapı görüntüsü ve iki farklı bölgeden alınan EDS analiz sonucu a)1.Bölge analizi b) 2.Bölge analizi.....	128
Şekil 6.5. 550 mmHg vakumda, 800 °C sıcaklıkta ve 5 dakika sürede üretilen kompozit numunelerin T-H oranı ve sertlik değeri ilişkisi.....	129
Şekil 6.6. % 5 MgO takviyeli MMK numunelerde SK, KBN ve KBN K kesici takım için farklı ilerleme değerlerinde kesme hızına bağlı olarak kesme kuvveti bileşenlerindeki değişimler	133
Şekil 6.7. % 10 MgO takviyeli MMK numunelerde SK, KBN ve KBN K kesici takım için farklı ilerleme değerlerinde kesme hızına bağlı olarak kesme kuvveti bileşenlerindeki değişimler	136
Şekil 6.8. % 15 MgO takviyeli MMK numunelerde SK, KBN ve KBN K kesici takım için farklı ilerleme değerlerinde kesme hızına bağlı olarak kesme kuvveti bileşenlerindeki değişimler.....	138
Şekil 6.9. % 5, % 10, % 15 MgO takviyeli MMK numunelerde farklı ilerleme değerleri için kesici takım malzemesi dikkate alınarak kesme hızına bağlı olarak Fc'nin değişimi	145
Şekil 6.10. SK, KBN ve KBN K kesici takımlarda farklı T-H oranları için, ilerleme miktarı ve kesme hızına bağlı olarak Fc'nin değişimi.....	149
Şekil 6.11. % 5, % 10 ve % 15 MgO takviyeli numuneler için SK, KBN ve KBN K kesici takımlarda, kesme hızı ve ilerlemeye göre (Ra) ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim	153
Şekil 6.12. SK, KBN ve KBN K kesici takım ile işlenen numunelerde % 5, %10, % 15 MgO T-H oranı, kesme hızına (V) bağlı olarak, ilerlemenin (f) ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) üzerindeki etkisi.....	159

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 5.1. Sıcaklık kontrol ünitesi ve deney düzeneği.....	103
Resim 6.1. T-H oranına bağlı olarak 550 mmHg vakumda, 800 °C sıcaklıkta ve 5 dakika sürede üretilen kompozitlerin mikroyapıları a) % 5 MgO b) % 10 MgO c) % 15 MgO.....	117
Resim 6.2. T-H oranına bağlı olarak 550 mmHg vakumda, 800 °C sıcaklıkta ve 5 dakika sürede üretilen kompozitlerin gözeneklilik görüntüleri a) % 5 MgO b) % 10 MgO c) % 15 MgO.....	123
Resim 6.3. T-H oranına bağlı olarak 550 mmHg vakumda, 800 °C sıcaklıkta ve 5 dakikada üretilen kompozit numunelerin kırık yüzey görüntüleri a) % 5 MgO b) % 10 MgO c) % 15 MgO.....	126
Resim 6.4. %5 MgO kodlu numunenin SK takım ile işlenmesinde oluşan SEM görüntüleri (V=150 m/min f=0,225 mm/rev).....	162
Resim 6.5. %5 MgO kodlu numunenin KBN takım ile işlenmesinde oluşan SEM görüntüleri (V=150 m/min f=0,225 mm/rev).....	163
Resim 6.6. %5 MgO kodlu numunenin KBN K takım ile işlenmesinde oluşan SEM görüntüleri (V=150 m/min f=0,225 mm/rev).....	163
Resim 6.7. %10 MgO kodlu numunenin SK takım ile işlenmesinde oluşan SEM görüntüleri (V=150 m/min f=0,225 mm/rev).....	164
Resim 6.8. %10 MgO kodlu numunenin KBN takım ile işlenmesinde oluşan SEM görüntüleri (V=150 m/min f=0,225 mm/rev).....	164
Resim 6.9. %10 MgO kodlu numunenin KBN K takım ile işlenmesinde oluşan SEM görüntüleri (V=150 m/min f=0,225 mm/rev)	164
Resim 6.10. %15 MgO kodlu numunenin SK takım ile işlenmesinde oluşan SEM görüntüleri (V=150 m/min f=0,225 mm/rev).....	165
Resim 6.11. %15 MgO kodlu numunenin KBN takım ile işlenmesinde oluşan SEM görüntüleri (V=150 m/min f=0,225 mm/rev).....	166
Resim 6.12. %15 MgO kodlu numunenin KBN K takım ile işlenmesinde oluşan SEM görüntüleri (V=150 m/min f=0,225 mm/rev)	166

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
A	Talaş kesit alanı, mm ²
a	Kesme derinliği, mm
f	İlerleme miktarı, mm/rev
V	Kesme hızı, m/min
F_c	Esas kesme kuvveti, N
F_f	İlerleme kuvveti, N
F_r	Radyal kuvvet, N
P	Basınç, kg/mm ²
W_k	Kompozitlerin ağırlığı
W_f	Fiber ağırlığı
V_f	Fiber hacmi
W_m	Matris ağırlığı
V_m	Matris hacmi
m	Kütle
d	Özgül ağırlık
W_A	Sıvının katılaşması esnasındaki yapılan iş
ks	Özgül kesme direnci
Ra	Yüzey pürüzlülüğü
γ_{sb}	Sıvının serbest enerjisi
γ_{kb}	Katının serbest enerjisi
γ_{ks}	Sıvı-katı arayüzeyi serbest enerjisi
θ	Temas açısı, (°)
Ç_{km}	Çapraz kırılma mukavemeti, MPa
P	Deney parçasının kırıldığı anda ölçülen yük, N

Simgeler	Açıklama
L	Destekler arası uzaklık, mm
h	Deney parçasının yüksekliği, mm
b	Deney parçasının genişliği, mm
Kısaltmalar	Açıklama
MMK	Metal matrisli kompozit
TM	Toz metalurjisi
MA	Mekanik alaşımlama
ÇKD	Çapraz kırılma dayanımı
CNC/BSD	Computer numerical control / Bilgisayarlı sayısal denetim
SEM	Scanning electron microscope (Tarama elektron mikroskobu)
EDS	Energy dispersive spectrometer (Enerji dağılımlı spektrometre)
MgO	Magnezyum oksit
Al₂O₃	Aluminyum oksit
SiO₂	Silisyum oksit
SiC	Silisyum karbür
WC	Tungsten karbür
HV	Vickers sertlik değeri
HB	Brinell sertlik değeri
HSS	High speed steel (Yüksek hız çeliği)
SK/C	Sementit karbür
KBN/CBN	Kübik bor nitrür
KBN K	Kaplamalı kübik bor nitrür
ÇKE	Çok kristalli elmas
BUE/YT	Built Up Edge / Yığıntı Talaş
T-H	Takviye-hacim oranı
EDM	Electric Discharge Machining (Elektroerozyonla işleme)
İİH	İş parçası işleme hızı
TAH	Takım aşınma hızı

1. GİRİŞ

Yirminci Yüzyıl'ın ikinci yarısından sonra, geleneksel malzemelerin hızla gelişen teknolojinin ihtiyaçlarını karşılayamaz hale gelmesiyle, malzeme bilimi alanındaki araştırmalar hız kazanmış ve geleneksel malzemelere oranla daha üstün özelliklere sahip yeni malzemeler üretilmeye başlanmıştır. Bu yeni malzemelerden birisi de kompozitlerdir. Kompozit malzemelerin düşük yoğunluğa karşı sergiledikleri mükemmel dayanım özellikleri, farklı birleşim ve geometrilerde üretilebilmeleri, yorulma, tokluk, yüksek sıcaklık, oksitlenme ve aşınma dayanımlarının yüksek olması nedeniyle demiryolu, otomotiv, denizcilik, havacılık, tıp, uzay ve spor gibi endüstriyel alanlarda gün geçtikçe kullanımları artmaktadır [1].

Kompozitler, aralarında kimyasal ya da fiziksel farklılıklar bulunan en az iki farklı geleneksel malzemenin, çeşitli yöntemlerle makro düzeyde bir araya getirilmesi sonucu oluşan karma yapılı malzemelerdir. Kompozit yapı; matris (ana faz) malzemesi, takviye elemanı ve ara yüzey bağı olmak üzere üç bileşenden meydana gelmektedir. Burada; matris fazı kompozitin tasarlanan biçiminde takviye elemanlarını yer değiştirmeye olanak vermeden bir arada tutmak ve uygulanan dış kuvvetleri, herhangi bir değişime uğramadan karşı koyarak, ara yüzey bağı vasıtası ile takviye elemanlarına dağıtıp iletmekle görevlidir. Takviye elemanının görevi ise, matrisi malzeme ve şekil itibari ile güçlendirmek ve matris tarafından iletilen yükü taşımak ya da takviye elemanı tipine bağlı olarak değişen oranlarda matris ile paylaşmaktır [2].

Kompozit malzemelerin üretiminde bütün mühendislik malzemeleri yaygın olarak kullanılmakta ve her geçen gün farklı takviye elemanları denenmektedir. Alüminyum, magnezyum, silisyum ve alaşımları MMK üretiminde, hafif ve sünek olmalarından dolayı en çok kullanılan matris malzemeleridir. Doğada çok bulunan, işleme kolaylığı olan, hafif, korozyon direnci ve takviye edilebilirlik gibi özelliklere sahip alüminyum gibi malzemeler genel tercih sebebini oluşturmaktadır. Kompozit malzemelerin bu özellikleri, takviye elemanı sayesinde daha da geliştirilerek, yüksek çekme mukavemeti, ergime sıcaklığı, ısı kararlılık, kolay üretilebilirlik gibi

özelliklerinin artırılması söz konusudur. Alüminyum matrisli kompozitlerin üretilmesinde SiC, Al₂O₃, C, SiO₂ ve MgO gibi farklı takviye elemanları kullanılmaktadır. Alüminyum matrisler, kısa fiberler (vhiskerler), uzun (sürekli) fiberler ve parçacıklarla güçlendirilerek kompozit üretiminde kullanılmaktadırlar [3]. MMK'ler katı ve sıvı hal işlemleri uygulanarak birçok üretim yöntemleriyle üretilirler. Bunlar toz metalurjisi, sıcak haddeleme, difüzyonla birleştirme gibi katı hal işlemleri ve infiltrasyon, basınçlı döküm, sıkıştırırmalı döküm, karıştırmalı döküm ve püskürtme çökmesi gibi sıvı hal işlemleridir [4].

Katı hal işlemleri MMK üretilmesinde oldukça başarılıdır ve toz metalurjisi yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak toz metalurjisi yöntemi; pahalı kalıplar, yüksek güçte presler ve sinterleme gibi işlemler kullanıldığından çok pahalıdır. Ayrıca seramiklerin sinterleme işlemlerinin yüksek sıcaklıklarda yapılması nedeniyle, özellikle alüminyum ve magnezyum gibi metallerde yanma kayıplarını meydana getirmektedir. Toz Metalurjisi (TM) yönteminin tercih edilmesinin en önemli sebeplerinden birisi, sıvı hal yöntemlerine göre daha homojen bir yapının kolaylıkla elde edilebilmesidir. TM yöntemiyle üretilen MMK malzemelerin önemli bir kısmını hafif metal esaslı malzemeler teşkil etmektedir.

Sıvı hal işlemleri katı hal işlemlerine göre daha ekonomiktir. Döküm yöntemlerinde parçacıkların sıvı içerisinde topaklanması veya çökmesi ve gözenekler döküm yönteminde karşılaşılan başlıca problemlerdir. Karıştırmalı döküm yönteminde takviye hacim oranında sınırlamalar vardır. % 30'un üzerinde takviye hacim oranlarında kompozitlerde gözenek miktarları artmaktadır [5]. Son yıllarda yüksek takviye hacim oranlarındaki MMK üretiminde farklı yöntemler geliştirilmiştir. MMK, savurma döküm tekniğinde yüksek basınç kullanılarak başarıyla üretilmektedir [6].

İnfiltrasyon yöntemiyle MMK malzeme üretimi oldukça ekonomik bir yöntemdir. Yüksek teknolojilere ve pahalı gereçlere ihtiyaç duyulmaz [7]. MMK'lerde özellikle alüminyum matrisli kompozitlerin üretilmesinde sıvı hal işlemlerinden infiltrasyon yöntemi birçok uygulamada kullanılmaktadır [8,9]. İnfiltrasyon yönteminde % 50'ye

varan takviye-hacim (T-H) oranlarında MMK'ler basınçlı, basınçsız ve vakum İnfiltrasyon yöntemiyle üretilebilmektedir. İnfiltrasyon yönteminde kılcal basınç, infiltrasyon süresi, sıvı metal sıcaklığı, alaşım, takviye hacim oranı ve parçacık boyutu, işlem parametreleri olarak ele alınmaktadır. Sıvı hal işlemleri katı hal işlemlerine göre daha ekonomik olmasına rağmen, birçok seramik malzemenin alüminyum matris tarafından ıslatılması oldukça zordur. Bu durum seramik ile metal ara yüzeyinde ıslatmama, boşluk ve eksik infiltrasyona sebep olmaktadır [10].

Bu çalışmanın birinci bölümünde, Al/MgO kompozitlerinin vakumlu infiltrasyon yöntemiyle üretilmesi gerçekleştirilmiş, sıvı metal sıcaklığı, infiltrasyon süresi, takviye-hacim oranı ve vakum değeri üretim parametreleri olarak ele alınmıştır. Bu üretim parametrelerinin infiltrasyon davranışı ile kompozitlerin özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Üretimi yapılan MMK malzemelerin mikroyapıları tarama elektron mikroskopunda (SEM) incelenmiş, sertlik ve kırılma dayanımı gibi mekanik özellikleri ölçülmüştür.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde üretimi gerçekleştirilen MMK malzemeler bir dizi işleme deneyine tabi tutulmuştur. İşleme deneylerinde, % 5, % 10 ve % 15 takviye-hacim oranlarında üretilen Al/MgO kompozit malzemeler kullanılmıştır. İşlenebilirlik deneylerinde, sementit karbür (SK), kübik bor nitrür (KBN) ve kaplamalı kübik bor nitrür (KBN K) olmak üzere üç ayrı kesici takım kullanılmıştır. Bu deneyler, kuru kesme şartlarında, dört ayrı kesme hızında, üç farklı ilerlemede ve sabit kesme derinliğinde gerçekleşmiştir. İşleme deneylerinde, TC35 marka, Bilgisayar Sayısal Denetimli (BSD) torna tezgahı kullanılmıştır. İşlemeler sırasındaki kesme kuvvetleri dinamometre tarafından ölçülmüştür. Ayrıca işlemesi tamamlanan bütün yüzeylere ait pürüzlülük değerleri tespit edilmiştir. İşleme deneylerine ait sonuçlar, üretimi yapılmış olan üç farklı takviye hacim oranındaki MMK malzemeye göre, kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülükleri ve kesici takım aşınması yönünden değerlendirilmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Kompozit malzemeler üzerine yapılan araştırmalar, her geçen gün yeni özellikteki malzemelerin bulunması ve mevcutlarında özelliklerinin geliştirilmesi yönünde devam etmektedir. Klasik mühendislik malzemeleri olan, metaller, plastikler ve seramiklerin en iyi özelliklerini toplayarak elde edilen kompozit malzemelere olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Özellikle bunların bir grubu olan metal matrisli kompozitlerin (MMK), başta uzay, havacılık, otomotiv, spor ve savunma sanayi olmak üzere çok önemli sahalarda kullanılması sonucu araştırmalar hızla devam etmekte ve literatüre her geçen gün yeni çalışmalar eklenmektedir.

Parçacık takviyeli MMK'lar, düşük maliyet, tekrar elde edilebilir mikroyapı ve izotropik davranış gösterme gibi özelliklerinden dolayı, ekstrüzyon, hadde ve dövme gibi geleneksel metal şekillendirme işlemlerine uygun oluşuyla diğer kompozitlere karşı ilave avantajlara sahiptir.

MMK malzemelerin üretimleri ve mekanik özellikleri ile işlenebilirlikleri hususunda yapılan çalışmalar iki bölüm halinde aşağıda özetlenmiştir.

2.1. Metal Matrisli Kompozitlerin retimi ve özellikleriyle İlgili alışmalar

MMK malzemeler, çok çeşitli yöntemlerden yararlanılarak üretilmekte olup üretimler sonucunda elde edilen kompozit malzemeler üzerinde bir dizi özellik belirleme deneyleri yapılmaktadır. MMK'ların üretimi ve mekanik özellikleri üzerine yapılan çalışmalara ait bazı literatür zetleri aşağıda sunulmuştur.

Aghajanian ve Rocazella (1991), çalışmalarında basınçsız infiltrasyon yöntemiyle Al_2O_3 ve SiC parçacık takviyeli, alüminyum matrisli kompozit malzeme üretmişlerdir. % 75 Ar ve % 25 N_2 atmosferinde tam infiltrasyon elde etmişlerdir. Atmosferde azot miktarının artmasıyla AlN miktarı da artmış, AlN miktarının artmasıyla birlikte infiltrasyon iyileşmiştir. Ayrıca retim parametrelerine bağlı

olmakla birlikte infiltrasyonun gerçekleşebilmesi için, % 0,5 - % 1 oranında kritik bir Mg miktarına ihtiyaç olduğunu belirtmişlerdir. 900 °C sıcaklık, 5 saat süre % 100 azot atmosferi ve Mg ilavesi optimum çalışma parametreleri olarak belirtilmiştir. Sıvı matris içine Cu ilavesinin infiltrasyonu geciktirdiği Si ilavesi ile de infiltrasyonun arttığı belirtilmiştir. Yaptıkları başka bir çalışmada ise, basınçsız infiltrasyon yöntemi ile Al₂O₃ ve SiC parçacık takviyeli, alüminyum matrisli kompozit malzemeler üretmişlerdir. Parçacıkların ıslatılabilmesi için Mg ilavesi ve N₂ atmosferine ihtiyaç olduğunu ifade etmişlerdir [11].

Çalın, R., (2006), çalışmasında, vakumlu infiltrasyon yöntemi ile magnezya parçacık takviyeli Al esaslı metal matrisli kompozitleri üretmiş ve üretim parametrelerin etkilerini araştırmışlardır. İnfiltrasyon deneylerini cam tüp içerisinde, 74, 105, 149, 210, 297, 420 ve 590 µm tane boyutlarında magnezya tozlarını Al tozları karıştırılarak, % 10, 20, 30 ve 40 T-H oranlarında, 50 mm toz yüksekliğinde gerçekleştirmiştir. 200, 300, 400, 500 ve 600 mmHg vakum değerlerinde ve 700 °C ila 850 °C arasındaki sıcaklıklarda infiltrasyon deneyleri yapmışlardır. Deneyler sonucunda, parçacık tane boyutu, içsüzme sıcaklığı ve süresi, takviye-hacim oranı, vakum değeri ve matrisin ve takviyenin fiziksel ve kimyasal özellikleri gibi parametrelerin infiltrasyondaki önemli parametreler olduğunu belirlemişlerdir. Bu parametrelerin, içsüzme mesafesi, kompozitin mikroyapısı, kırılma dayanımı ve sertliği üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Artan içsüzme sıcaklığı ve süresi, takviye tane boyutu, vakum değeri ve sıvı matrisin Mg içeriğinin içsüzme mesafesini arttırdığı, artan takviye-hacim oranının ise aksine bir etki gösterdiğini tespit etmişlerdir. Uygun şartlarda 3 dakikalık içsüzme süresinin belirlenen infiltrasyon yüksekliği için yeterli olduğunu belirlemişlerdir [12].

Çalın R., ve Çıtak R., (2007), yapmış oldukları çalışmada, MgO tozlarını takviye elemanı, Al-Mg alaşımında matris malzemesi olarak kullanmışlardır. Al ve MgO tozları bir saat süreyle döner bir karıştırıcıda karıştırılarak cam tüpler içerisine doldurulmuştur. Karıştırılmış olan tozlar, farklı vakum değerlerinde aynı süre boyunca sıvı matrise daldırılarak infiltre edilmiştir. İnfiltrasyon deneylerinin

sonunda, kompozitlerin infiltrasyon mesafeleri ve mikroyapıları incelenmiştir. Vakum değerinin artmasıyla infiltrasyon mesafelerinde arttığını belirlemişlerdir. Aynı zamanda sıcaklık artışında infiltrasyonu olumlu şekilde etkilediğini ifade etmişlerdir. Artan vakum değerinin, üretilen kompozitlerin yoğunluğunu arttırırken gözeneklilik oranını düşürdüğünü açıklamışlardır [13].

Çalın, R., ve Çıtak, R., (2007), çalışmalarında 105 µm parçacık boyutundaki MgO ve Al tozlarını karıştırarak serbest olarak cam boru içerisine doldurmuştur. Bu çalışmada takviye elemanı olan MgO'in karışım içerisindeki oranı; hacimce % 30 olarak belirlenmiştir. Matris malzemesi olan saf Al içerisine çeşitli oranlarda Mg ilave ederek, 550 mmHg vakum altında, iki farklı sıcaklıkta ve 3 dakika süreyle infiltrasyon deneyleri yapmışlardır. Deneylerden sonra üretilen numunelerin, infiltrasyon mesafelerini, kompozit yapının yoğunluğunu, SEM analizlerini ve üç nokta kırma deneyi ile mekanik özelliklerini belirlemişlerdir. Ölçümler sonucunda, sıvı Al içerisine ilave edilen Mg oranının artmasıyla, infiltrasyon mesafeleri ve malzeme yoğunluğunun arttığını, buna karşılık kırılma dayanımının ise aynı oranlarda azaldığını tespit etmişlerdir. Aynı zamanda, sıvı Al içerisindeki Mg ilavesinin infiltrasyonu kolaylaştırıcı etki yaptığını da belirlemişlerdir [14].

Çalın, R., ve Çıtak, R., (2006) yapmış oldukları çalışmada basınçlı, basınçsız veya vakumlu infiltrasyon yöntemlerinden birisini kullanarak önşekillendirilmiş takviye elemanı içerisine sıvı metal infiltre etmek suretiyle MMK üretmişlerdir. Bu çalışmalarında öncekilerden farklı olarak, bir titreşim aparatı kullanarak parçacık haldeki takviye elemanını sıkıştırmış böylece basınç veya vakum ile infiltrasyonu gerçekleştirmiştir. Bu aparat ile farklı boyuttaki MgO tozlarının sıkıştırılabilirliğini araştırmışlardır. Sıkıştırma aparatı ile aynı zamanda ve aynı oranda üniform olarak numunenin sıkıştırılabileceğini belirlemişlerdir. MgO tozları için 3 dakikalık sıkıştırma süresinin yeterli olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca daha küçük parçacıkların sıkışma oranını daha yüksek olduğunu ve her şekildeki boru içerisinde başarılı olarak sıkıştırma yapılabileceğini belirtmişlerdir [15].

Günay, M., (2009), yaptığı çalışmada, toz metalurjisi (TM) yöntemiyle metal matrisli kompozit malzemeler üretmiştir. Kompozitlerin üretiminde matris malzemesi olarak ortalama 63 µm boyutlarında ön alaşımlı Alumix 231 (Al-Si alaşımı) tozu, takviye elemanı olarak ise ortalama 20,1 µm ebatlarında SiC parçacıklar kullanmıştır. Ağırlıkça %5, %10, %15 SiC takviyeli kompozit numune ve Alumix 231 kodlu dört farklı numune üretilmiştir. Üretilen MMK malzemelerin mikroyapı ve bazı mekanik özellikleri incelenmiştir. Mikroyapı incelemeleri parçacık dağılımının tüm numunelerde homojen olduğunu ancak kompozit numunelerde gözenekliliğin oluştuğunu göstermiştir. En yüksek sertlik değeri %15 SiC kodlu numunede 104 VHS olarak elde edilmiştir. En yüksek çapraz kırılma dayanımı (ÇKD) matris alaşımından üretilen numunede ölçülürken, en düşük ÇKD %15 SiC kodlu numunede ölçülmüştür. Bu çalışma ile aynı zamanda üretilen MMK malzemelerin işlenebilirlikleri de incelenmiş olup Bölüm 2.2’de ayrıca ele alınmıştır [16].

Candan, S., (2009), çalışmasında tuzlu çevre şartlarındaki Al matrisli kompozitlerinin korozyon davranışlarına, ağırlıkça % 2 - % 8 Mg ilavesinin etkisini araştırmıştır. Kompozitler, hacimce % 60’ lık SiC parçacık oranında ve 750 °C’ da basınçlı infiltrasyon yöntemiyle üretilmiştir. Deney sonuçları; SEM ve EDS analizleri ile değerlendirilmiştir. Üretilen kompozitlerin kütle kaybının, saf Al matrisi ile karşılaştırıldığında, Mg içeriğinin artması ile azaldığı gözlenmiştir. Al-Mg alaşımı ve SiC parçacıkları arasındaki metallerarası reaksiyonun, basınçlı infiltrasyon yöntemi ile üretilen kompozitlerdeki matris kanallarının devamlılığının kesintiye uğramasına bağlı olarak, kompozitlerin korozyon direnci üzerinde yararlı etkileri olduğunu tespit etmiştir [17].

Yang ve ark. (2007), yapmış oldukları çalışmalarında ham malzeme olarak farklı içerikte Al₂O₃ tozları ve Ni esaslı tozlar kullanarak vakumlu infiltrasyon yoluyla bronz alt tabaka üzerine kompozit üretmişlerdir. İnfiltrate edilmiş bu tabakanın işlem şartlarının seçimini, SEM incelemeleri yoluyla araştırmışlardır. İnfiltrate edilmiş tabaka kompozitin, Al₂O₃ içeriğinin artmasıyla, kalınlığının ve geçirgenliğinin azaldığını belirlemişlerdir. Bronz alt tabaka ve infiltrate edilmiş kompozit yüzey

arasındaki arayüzeyde metalurjik birleşme oluşmuştur. Üç nokta eğme deneylerinde infiltre edilmiş yüzey tabakasının mekanik ve yapışma özellikleri araştırılmıştır. Alt tabakaya nispeten infiltre edilmiş yüzey tabakalı numunenin yer değiştirme yük eğrisi üzerinde, yük tutma durumu daha çok görülmüştür. Al_2O_3 içeriğinin artmasıyla, en üst yük değeri azalmıştır. % 30'dan daha fazla oranlı Al_2O_3 numunenin kırılma yönü, ince tabaka sebebiyle bronz alt tabaka ve kompozit tabakanın ara yüzeyi boyunca oluşmuştur. % 20'den daha az oranlı Al_2O_3 numunede ise bronz alt tabakadaki çatlakların genişlediği tespit edilmiştir [18].

Sithebe ve ark. (2007), yapmış oldukları çalışmada erimiş alüminyumla sıkıştırılmış kübik boron nitrür (CBN) infiltrasyon işlemini, CBN metal kompozitlerin imalatında ucuz ve kolay bir yöntem olarak değerlendirmişlerdir. CBN kompakt parçalara, $670^{\circ}C - 800^{\circ}C$ sıcaklıkta ve vakumla 15 MPa basınç uygulanarak, erimiş alüminyum infiltre edilmiştir. Bu sıcaklık değerlerinde alüminyumla birlikte değerlendirilen ve tane boyutu ortalama 12 μm olan CBN'ün infiltrasyonunu takiben altigen ve kübik BN'lerin arasında bir etkileşim oluşmamıştır. Isı $800^{\circ}C$ deki infiltrasyondan sonra, AIB ve AlN için basınçsız olarak yükseltilmiştir. Ortaya çıkan malzemelerin sertliği altigen yapıya, kübik BN'ün içeriğine ve AlN ile AIB dönüşüm oranına bağlı olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen numunelerin teorik yoğunlukları % 98 olarak belirlenmiştir. 12 μm tane büyüklüğüne sahip tozlarda tam infiltrasyon sağlandığı ifade edilmiştir [19].

Liu ve ark. (2007), yaptıkları çalışmada düzgün dağıtılmış SiC parçacıklı SiC/Al kompozitleri, farklı gözenek yapısına sahip, ön şekil verilmiş SiC içerisine, AlSi7Mg alaşımını basınçsız olarak infiltre etmek suretiyle üretmişlerdir. Herhangi bir şekil bozulması olmadan ön şekil verilmiş SiC tozlarının doğrusal genişmesi, sinterleme işlemi süresi boyunca, SiC tozlarının oksitlenmesi sebebiyle, yaklaşık % 4 olmuştur. Ön şekillendirilmiş haldeki SiC infiltrasyondan sonra ne şekil ne de ölçü değişikliğine uğramamıştır. Böylece MMK'lere son şekil verme işlemlerinin gerçekleştiği belirtilmiştir [20].

Wittig ve ark. (2007), çalışmalarında zirkonya esaslı MMK'leri basınçsız hareket eden eritme infiltrasyon yöntemi ile üretmişlerdir. Monoklinik ZrO_2 ve kısmen sabitleştirilmiş ZrO_2 tozları (Ca-PSZ, Mg-PSZ) esas alınarak oluşturulan hareket halindeki gözenekli titanyum vakum altında ergiyik çelik ile infiltre edilmiştir. Elde edilen numunelerin SEM ve EDS analizleri yapıldı ve Young modülü ile çalışıldı. Ayrıca eğilme gerilmeleri belirlendi. Ek olarak, zirkonya'nın martenzitik dönüşümünün etkisini gösterebilmek için ilk denemeler yapılmış ve zirkonya esaslı MMK'lerin mekanik özelliklerinin ortaya çıkması sağlanmıştır. Numunelerin tamamına yakınının gözeneksiz olması aşınma ve mekanik özellikler yönünden olumlu olarak değerlendirilmiştir. ZrO_2 oluşumu tüm MMK'lerde martenzitik yapı dönüşümüne neden olduğunu bildirmişlerdir [21].

Montoya ve ark. (2007), yaptıkları çalışmada basınçsız infiltrasyonla hazırlanmış Al/SiC kompozitlerinin yüzeysel sertliğine parçacık boyutu dağılımının etkisinin yanı sıra, parçacıklı silisyum karbür (SiCp)'ün kırılma tokluğunu (KIC) araştırmıştır. Sonuçlar, parçacık boyutlu dağılımların doğrusal olarak yüzeysel bir sertlik gösterdiğini, mikrosertliklerin ve kırılma tokluğunun parabolik olarak değişen bir yoğunluk gösterdiğini ortaya çıkarmıştır. Yüzeysel sertlik davranışı, matris alaşımının sertliği ve parçacıkların birbirine çarpmasının etkisi ile açıklanmıştır [22].

Kida ve ark. (2008), yaptıkları çalışmada saf halde erimiş Cu, Al ve Pb ile ön şekil verilmiş AlN parçacıklarının yüksek sıcaklıktaki ıslanabilirliğini, basınçlı infiltrasyon işlemi sırasında drenaj eğrileri yolu ile ölçerek değerlendirmişlerdir. AlN nin bu metallerle ıslatılması ile ortaya çıkan değerler, çalışmada kullanılan yöntem sayesinde açıklanmıştır. Belirgin bir işleyişe, doğal şartlara ve ısıya dayalı sistemin etkisi çalışılmış ve durağan damla yöntemi kullanılarak kaynak teşkil edebilecek değerler elde edilmiştir [23].

Wu ve Han (2006), yaptıkları çalışmada reaktif erime infiltrasyonu ile Al_2O_3 /Al sürekli kompozitlerin üretim süreci, elektron mikroskobu ve enerji dağıtıcısı X-ray mikroanaliz cihazları kullanılarak araştırılmıştır. Ön şekil verilmiş SiO_2 içerisine eritilmiş aliminyum infiltrasyonu aşamasında $3SiO_2+4Al \rightarrow 2Al_2O_3+3Si$ kimyasal

reaksiyonu oluşarak, yaklaşık 100 µm genişliğinde sürekli gözenekli yeni bir geçiş bölgesi oluşturduğu belirlenmiştir. Reaksiyonun, erimiş alüminyum alaşımının SiO_2 'e ve bütün SiO_2 'ler Al_2O_3 'e dönüşüncüye kadar devam ettiği tespit edilmiştir. Ergimiş alüminyum parçacıklarının ıslanma yeteneğinin, kimyasal reaksiyon sonucunda daha fazla arttığı belirtilmiştir [24].

Zhang ve ark. (2007), yaptıkları çalışmada yüksek takviye içerikli SiCp/Cu kompozitleri, kalıba toz enjeksiyonuyla, ön şekillenmiş gözenekli SiC içerisine, Cu alaşımını basınçla infiltre ederek üretmişlerdir. Üretilen MMK'lerin mikroyapıları, termofiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. SiCp/Cu kompozitlerinin bağlı yoğunluğu % 98,1 olarak hesaplanmıştır. Bimodal veya trimodal parçacık dağılımları kullanarak takviye hacim oranında % 57 - % 68 değerlerine ulaşılmıştır. 20°C - 500 °C ısı aralığındaki termal iletkenlik, 125 ila 153 Wm⁻¹ K⁻¹ arasında belirlenmiştir. Eğme dayanımı, parçacığın ölçüsüne bağlı olarak, 176 MPa ila 259 MPa arasında değişmiştir. Elastik modülde, tahmini değer 250 GPa'a ulaşıldığı belirtilmiştir [25].

Li ve ark. (2009), çalışmalarında MgOp/AlN kompozitleri, 900 °C – 1200 °C aralığında, akıcı N₂ içerisinde 0,5-1 mm magnezya parçacıkları ve 0,075 mm - 0,15 mm kimyasal olarak saf Mg tozu karışımıyla kaplanmış olan saf Al blok parçaya erimiş nitridasyonu yönlendirerek üretmişlerdir. Al nitridasyonunun genişliği ve MgO parçacıklarının içerisine Al nüfuziyetinin derinliği ısı yükselmesi ile artmıştır. Yoğun metalden yoğun seramiğe doğru oluşan matris bileşimi, işlemdeki sıcaklık kontrol edilerek ayarlanmıştır. MgO/MgAl₂O₄/AlN'ün çok katmanlı mikroyapısı arayüzey reaksiyonu sayesinde MgO parçacıklarını çevrelemiştir. Bu yapıdaki her tabakanın kalınlığının, MgAl₂O₄ ve Al nitridasyonunun ara yüzey reaksiyonu üzerindeki işlem parametrelerine bağlı olan sıcaklık ve bölgesel Mg bileşimi gibi işlem parametreleriyle değiştiğini bildirmişlerdir. İşlem sıcaklığının artmasıyla Al'un nitridasyon oranı artmış ve MgO parçacıklarıyla arasındaki, Al ile MgAl₂O₄ arayüzeyinin oluşmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca Mg'un dağınık buhar dağılımının kompozitlerin mikroyapısını bölgesel olarak değiştirdiği belirlenmiştir [26].

Acchar ve ark. (2008), yaptıkları çalışmada sinterlenmiş malzemelerin özelliklerinin geliştirilmesinde infiltrasyon işlemi kullanımını geniş olarak araştırmışlardır. Cam infiltrasyonu ile lityumun alüminaya infiltre edilme işlemi gerçekleştirilmiştir. İnfiltrasyon malzemesi olarak, Li_2O , ZrO_2 , SiO_2 , Al_2O_3 , CaO ve La_2O_3 gibi elementlerin karışımları kullanılmıştır. Alümina numuneler 2 saat süreyle, 1400°C 'da havada sinterlenmiştir. Bir miktar numune 15 dakika süreyle, 1400°C 'da infiltrasyon işlemine tabi tutulmuştur. Sinterlenmiş ve infiltre edilmiş numunelerin; eğilme gerilmeleri, açık gözenek yapıları, görünen yoğunlukları belirlenerek SEM ve X-ray görüntüleri incelenmiştir. Deneyler ve ölçümlerin sonucunda, infiltrasyon işleminin alümina parçaların özelliklerini belirgin olarak geliştirdiğini bildirmişlerdir [27].

Balacrishnan ve ark. (2008), çalışmalarında cam infiltrasyon yönteminde yüksek ısı genleşmenin alümina-zirkonyum kompozitlerinin mekanik özellikleri üzerine etkilerini araştırmışlardır. Deney sonuçlarına bakıldığında, camın kompozit malzemenin mukavemetini yüksek sıcaklığa göre oda sıcaklığında daha da iyileştirdiği, cam infiltrasyon ile Weibull modülünün artış gösterdiği ve bu yöntemle üretilen numunelerin ısı şok dirençlerinin daha yüksek olduğu ifade edilmiştir. Mukavemet değerlerindeki artışın numunelerin yüzeylerinde oluşan basma gerilmelerinden kaynaklandığını belirtmişlerdir [28].

Rogers ve ark. (1988), çalışmalarında sıvı infiltrasyonu ve TM yöntemleriyle BaAl_2O_4 - MgAl_2O_4 - ZrO_2 sisteminde kompozit üretmişlerdir. TM işleminde, Ba, Mg, Al, Al_2O_3 ve ZrO_2 karışımı yüksek enerji titreşimli bilye değirmenlerinde hazırlanmıştır. Ögütülen toz % 80 yoğunlukta tek yönlü olarak preslenmiş, oksidasyon ve oksit oluşumunu sağlamak için 100°C 'dan 1650°C 'a kadar O_2 ortamında tavlansmıştır. Sıvı infiltrasyon metodunda % 5 gözenekli Al_2O_3 - ZrO_2 kompaktlar % 5 H_2 -Ar atmosferinde eşit dağılımlı basınçta sıvı Mg ile infiltre edilmiştir. Katılma sonrası yoğun ham parçalar oksidasyon ve bileşik oluşmasını sağlamak için 425°C 'tan 1650°C 'a kadar O_2 içinde ısı işleme tabi tutulmuştur [29].

Türker ve ark. (1999), yaptıkları çalışmada, % 15 SiC katkılı Al tozlarını mekanik alaşımlama (MA) yöntemiyle üretmişler ve Al-SiC tozlarının MA değirmeninde öğütme zamanının kompozit toz yapısına etkisini araştırmışlardır. Artan alaşımlama süresi ile katmanlı bir yapı oluşmuş ve bu katmanlar arasına giden takviye SiC partikülleri homojen bir yapı oluşturmuş böylece kompozitlerin sertlik değerinde artış olduğu tespit edilmiştir. Optimum toz boyutuna ulaşamadığından daha uzun süreli MA işleminin gerektiğini belirtmişlerdir [30].

Bilici ve ark.(2005), çalışmasında $MgAl_2O_4$ ve Ti-Fe alaşımlarıyla basınçsız infiltrasyon yöntemi kullanılarak seramik esaslı metalik kompozit malzeme üretmiştir. Atmosferik şartlar, Ti-Fe / $MgAl_2O_4$ oranı, infiltrasyon süresi, infiltrasyon sıcaklığı parametre olarak incelemiştir. Hava atmosferinde 30 ve 120 dakika süre ile $1600^{\circ}C$ 'de Ti üzerinde oksitlenme gözlemlemiştir. Argon atmosferinde 30 dakika ve 120 dakika süre ile $1500^{\circ}C$ 'de fırınlanan Ti-Fe alaşımı ile numunelerde başarıyla infiltrasyon gerçekleşmiştir. Saf titanyumun sertliği 160 HV iken bu değer 1900 HV ye kadar yükseldiği tesbit edilmiştir [31].

Arık ve ark. (1999), çalışmalarında mekanik alaşımlama (MA) yöntemiyle Al matrisli alüminyum karbür (Al_4C_3) takviyeli kompozit malzeme üretmişlerdir. En fazla Al_4C_3 dönüşümünün $600^{\circ}C$ sıcaklık ve 7,5 saatlik MA süresinde elde edildiğini ifade etmişlerdir [32].

Gingu ve ark. (1999), Al/SiC tozlarını 200 MPa'da preslemiş ve $600^{\circ}C$ sıcaklıkta 3 saat süreyle 1,5 MPa vakumda sinterleyerek homojen yapıda kompozit üretmişlerdir. MA işleminden dolayı, 10 μm -100 μm büyüklüğündeki SiC tozları Al tozları içerisinde homojen dağılmış ve SiC tozları matris boşluklarını daha iyi doldurmuştur. Daha küçük SiC tozlarının daha az gözenek oluşturduğunu ve bu tozların öğütme işlemi sırasında daha az kırılma riski taşıdığını belirtmişlerdir [33].

Hiçyılmaz ve ark. (1999), gaz atomizasyonu ile üretilen 45, 63 ve 106 μm büyüklüğündeki Al tozlarına ağırlıkça % 1, % 5, % 10 oranlarında SiC ve alümina katarak 600 MPa basınçta preslemişlerdir. Azot gazı içerisinde $600^{\circ}C$ sıcaklıkta ve

30 dakika sürede sinterleme işlemiyle 5x10x10 mm ölçülerinde kompozitler üretmişlerdir. Mikroyapı incelemelerinde sert faz dışında % 10 gözenek tespit etmişlerdir. Toz boyutunun azalmasıyla kompozitlerin mekanik özelliklerinin iyileştiğini belirtmişlerdir [34].

Hashim ve ark. (2001), çalışmalarında, MMK'ların ergimiş metal karıştırma yöntemi ile üretimlerinde yeni bir uygulama geliştirmişlerdir. SiC parçacıkların A359 alüminyum alaşımı tarafından ıslatılmalarını kolaylaştırmak amacıyla özel olarak tasarlanmış üretim ekipmanları kullanarak ıslatabilirliğe, matris alaşımı, SiC_p ve magnezyum ilavesinin etkilerini ve üretimde kullandıkları karıştırma işleminin, değişik karıştırma şartlarında, ıslatabilirliğe katkısını araştırmışlardır. Parçacıklarının ilave yüzde oranının elde edilen kompozit üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla; ıslatabilirlik ölçümleri, soğuma süresi ve SiC_p hacim oranının etkisini incelemişlerdir. Elde ettikleri deneysel sonuçlarda, SiC_p işlemsiz olarak kullanılmasının, magnezyum alaşımını ıslatmada etkin rol oynadığını ve karıştırma işleminin karışımın döküm işlemine kadar sürekli olarak devam etmesi gerektiğini tespit etmişlerdir. Ayrıca, karışımın soğuma hızının azaltılması ile ıslatabilirliğin iyileşirken, SiC_p hacim oranının artması ile ıslatabilirlik özelliğinin kötü yönde etkilendiğini belirtmişlerdir [35].

Dikici ve ark. (2009), yaptıkları çalışmada, konvansiyonel sıcak presleme yöntemiyle üretilmiş in-situ Al₂O₃/Al-Cu kompozitler üzerine sinterleme sıcaklığının etkisini araştırmıştır. Bu amaçla 750°C, 850°C ve 950°C olmak üzere üç farklı sıcaklıkta kompozitler üretilmiştir. Üretilen kompozitlerin sertlik, mikroyapı ve arayüzey özellikleri incelenmiştir. Kompozitlerin sinterleme sıcaklığı arttıkça makro ve mikro sertlik değerlerinde fark edilir bir artış gözlemlenmiştir. Bu artışın sebebinin in-situ reaksiyonlar esnasında kompozit içerisinde büyüyen seramik Al₂O₃ partiküllerden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Al₂O₃ fazının sentezlenmesi sonrası kompozitin soğutulması esnasında, matris bünyesinde arta kalan Al ile Cu arasında CuAl₂ metallerearası fazının oluştuğu gözlemlenmiştir [36].

Carreno-Morelli ve ark. (1998), araştırmalarında, infiltrasyon ile ergimiş metalin seramik takviye elemanlarına emdirilmesi yöntemini kullanarak MMK malzeme üretim sistemi kurmuşlardır. Bu sistem ile kısa veya uzun Al_2O_3 elyaflara, Al ve Mg matris alaşımlarını emdirerek kompozit malzemeler üretmişlerdir. Farklı alaşım ve takviye elemanları ile emdirme basıncı, elyaf içeriği, ergimiş metal sıcaklığı, kalıp ön ısıtma sıcaklığı ve katılaşma hızı gibi değişik üretim parametrelerini kullanmışlardır. Yapmış oldukları mikroyapı ve mekanik özellik testleri sonucunda, elyaf takviyeli MMK malzeme için optimum üretim şartlarının, 750 °C ergime sıcaklığı ile en fazla 3 MPa basınç olduğunu belirtmişlerdir. Hazırlık üretimleri sonucunda gaz basıncı ile emdirme yönteminin, uzun elyaf ve karma (hibrit) takviyeli metal matrisli kompozitlerin üretiminde kullanılabilir bir yöntemlerden birisi olabileceğini vurgulamışlardır [37].

Lou ve ark. (2003), çalışmalarında, aşınma dayanımı yüksek, kobalt esaslı süper alaşım ve çelik matris malzemelere tungsten karbür (WC) parçacıklar ilave ederek, yüksek sıcaklıkta izostatik presleme yöntemiyle kompozitler üreterek, matris ile takviye arasındaki ara yüzey reaksiyonlarını incelemişlerdir. Kompozit içerisindeki matris fazın kimyasal bileşiminin, matris ile WC parçacıklar arasındaki ara yüzey reaksiyonlarına ve WC parçacıkların yapısal kararlılıklarına önemli derecede etkiye bulunduğunu tespit etmişlerdir. Aşınma deneyleri neticesinde, kobalt esaslı süper alaşım matrisli kompozitlerin diğer kompozitlere göre daha iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir [38]

Eroğlu ve ark. (2000), çalışmalarında tungsten (W) tozu matrisli ağır alaşımların üretilmesinde toz karıştırma tekniğinin etkilerini araştırmışlardır. Bu amaçla, 10,5 ve 3,4 μm tungsten, 3 μm nikel ve 4,5 μm demir tozlarından bir alaşım malzemesi üretmişlerdir. Tozlardan, ağırlık oranı % (92,5W - 5,25Ni - 2,25Fe) ve % (90W - 7Ni - 3Fe) olacak şekilde iki tür karışım hazırlayarak, bunları turbula karıştırıcı ve MA cihazında iki farklı karıştırma işlemine tabi tutmuşlardır. İşlemler sonucunda, ortalama tane boyutlarına bakıldığında 10,5 μm ve 3,4 μm olan W tozu için, mekanik alaşımlama sonucu elde edilen numunelerin çekme özellikleri, turbula karıştırıcıda elde edilen numunelere göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Tane iyileşmesi

karşılaştırıldığında ise genellikle turbula karıştırıcıyla elde edilen numunelerde yüksek sünekliğe bağlı olarak irileşmiş tungsten taneleri meydana gelmiştir. Ancak, elde edilen bu numunelerin en düşük çekme özelliğine sahip olduğu tespit edilmiştir. Mikroyapı incelemeleri sonucunda, bu alaşımların tungsten tanelerinin birbirine yakınlık derecesinin çokluğuna bağlı olarak daha kırılğan bir yapı oluşturduğunu bulmuşlardır [39].

Davidson ve Regener (2000), çalışmalarında toz metalurjisi yöntemini kullanarak MMK üretimi yapmışlardır. Matris malzemesi olarak, 45 µm boyutunda AA-6061 alaşımı ve takviye elemanı olarak kaplamasız ve bakır kaplı, 23 µm ve 7 µm SiC parçacıkları kullanmışlardır. Kaplamalı ve kaplamasız SiC_p takviyeli, Al matrisli MMK'ların mikroyapı ve mekanik özelliklerini kıyaslamışlardır. SEM incelemeleri ve mekanik testler sonucunda bakır kaplamanın, matris ile takviye elemanı arasındaki ara yüzey bağımlı güçlendirdiğini ve yük iletiminin kaplama ile daha iyi olduğunu, parçacıkların darbe dayanımının yükseldiğini tespit etmişlerdir. Parçacık boyutu 23 µm olan kaplamalı ve kaplamasız SiC_p takviyeli kompozitleri birbiriyle kıyaslandıklarında, bakır kaplı SiC_p takviyeli kompozitlerin daha iyi performans sergilediğini, 7 µm boyutlarındaki kaplamasız SiC_p takviyeli kompozitin çekme dayanımının daha iyi olduğunu tespit etmişlerdir. Bu üretim yöntemi ile kompozit malzemelerin düşük maliyette üretilebileceğini belirtmişlerdir [40].

Li ve ark. (2003), yaptıkları çalışmada, hidrojen indirgemesi ve sıcak preslemeyle, bilyalı karıştırma ve kaplama yöntemi olmak üzere iki farklı yolla NiO ve Al₂O₃ tozlarını karıştırarak, hacimce % 4 Al₂O₃ parçacık takviyeli kompozitleri üretmişlerdir. Kompozitlerin mikroyapılarını, toz karışımların sinterleme davranışlarını ve kompozitlerin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Mikroyapı incelemelerinden, parçacık dağılımının homojen olduğunu gözlemişlerdir. Uyguladıkları iki üretim yöntemini kıyasladıklarında, bilyalı karıştırma sonrasında sıcak presleme yöntemi ile elde edilen kompozitlerin diğerine göre tokluklarının yüksek, fakat dayanımlarının düşük olduğunu tespit etmişlerdir [41].

Han ve ark. (2002), çalışmalarında dengeli vaziyette TiB₂ parçacık takviyeli, Al-Si alaşım matrisli kompozit üretiminde, ergimiş metal reaksiyon oluşturma yöntemini kullanmışlardır. Bu yöntemde, 1 dakika içerisinde 1 µm'den daha küçük TiB₂ partiküllerinin homojen olarak ötektik yapı içerisinde dağıldığını gözlemişlerdir. Mikroyapı incelemelerinde kompozit içerisindeki TiB₂ parçacıklarının 1 µm'den daha küçük boyutta oluştuğunu, Al-Si faz içerisinde dağıldığını ve ötektik yapıdaki Si ile bağlantılı durumda yerleştiğini gözlemişlerdir. Soğuma sırasında TiB₂ parçacıklarının yapı içerisindeki fazların oluşumunu etkilediğini belirtmişlerdir. Kompozitlere uygulanan ısıl işlemin, malzemenin yapısını değiştirerek dayanım özelliklerini iyileştirdiğini vurgulamışlardır [42].

Sur (2008), AA-6082 matrisli 42 µm boyutunda Al₂O₃ ve 127 µm boyutunda Ni(K)Gr takviyeli kompozit malzemeleri ergimiş metal karıştırma basınçlı döküm yöntemi ile üretmiştir. Kompozit malzemeleri, hacimce %8 Al₂O₃ ve %8 Ni(K)Gr olarak tek takviyeli ve hacimce %4 Al₂O₃ + Ni(K)Gr karma takviyeli olarak üreterek mekanik ve işlenebilirlik özelliklerini incelemiştir. Mikroyapı incelemelerinde, parçacık dağılımının tüm kompozitler için genelde homojen olduğunu ve matris-takviye elemanı arayüzey bağının oluştuğunu belirtmiştir. En yüksek sertliği % 8 Al₂O₃ takviyeli numunede 105 HB olarak ölçmüştür. Yoğunluk ölçümlerinde Al₂O₃ parçacık yüzde hacim oranının artmasıyla MMK numunelerin yoğunluğunun arttığını tespit etmiştir. Numunelerin hepsinde gözeneklilik meydana gelmiş olup en fazla gözenek miktarını % 0,96 olarak % 8 Ni(K)Gr numunede ölçmüştür. Bunun sebebi olarak ergimiş haldeki karışımın hava ile temasını ve döküm süresini göstermiş olup karma takviyeli kompozitte en düşük gözenekliliğe ulaşıldığını tespit etmiştir [43].

Fogagnolo ve ark. (2004), yaptıkları çalışmada Al 6061 alaşımına ZrB₂ parçacık takviyeli tozlardan TM ve sıcak ekstrüzyon yoluyla kompozit üretmiş ve aynı toz karışımının MA'sından sonra soğuk presleme ve sıcak ekstrüzyon yoluyla üretilen kompozitlerin karşılaştırılmasını yapmışlardır. Kompozit malzemenin üstün özelliklere sahip olması için takviye elemanının homojen dağılımının önemli olduğunu belirtmişlerdir. Geleneksel TM yöntemiyle malzeme üretimi sonucunda, ZrB₂ parçacıkların ilavesiyle malzeme sertliğinde küçük bir artış olurken çekme

dayanımında bir miktar azalma olduğu gözlenmiştir. MA'nın topaklanan takviye parçacıklarını kırdığını, parçacıkların yüzeyinde oluşan yırtılmaları genel olarak giderdiğini, dağılımı iyileştirdiğini ve parçacık boyutunu düşürdüğünü belirtmişlerdir. Neticede, ZrB₂ parçacıklarının malzeme sertliğinde küçük bir artış sağlarken, çekme dayanımında küçük bir azalmaya neden olduğunu bulmuşlardır [44].

Aydın ve ark. (2006), yapmış olduğu çalışmada farklı tasarımlarda üretilen I, V ve Yatay tip karıştırıcıları tek bir cihaz üzerinde tasarlayarak imalatını yapmışlardır. Parçacık takviyeli alüminyum esaslı metal matrisli kompozit malzemeler bu üçlü karıştırıcıda karıştırılarak toz metalurjisi yöntemiyle üretilmiştir. Takviye elemanı olarak B₄C partikülleri kullanılmıştır. Üretilen kompozitlerde B₄C takviye oranları ağırlıkça % 5, % 10 ve % 20 olarak seçilmiştir. Kompozit numuneleri karakterize etmek için optik ve elektron mikroskobu (SEM) incelemeleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda V tipi karıştırıcıda B₄C parçacıklarının, daha da küçük parçalara ayrıldığı, kırıldığı ve yapı içerisine dağıldığı görülmüştür. En yüksek sertlik değeri V tipi karıştırıcı ve % 20 B₄Cp takviye oranında elde edilmiştir. Takviye miktarının artmasıyla birlikte, takviyesiz Al matrise göre gerçek yoğunluklarda artma olduğu görülmüştür. Yatay tip karıştırıcıda topaklaşmanın olduğu tespit edilmiştir [45].

Thakur ve Dhindaw (2001), % 50 takviye hacim oranındaki SiC tozlara Al ve Mg alaşımı infiltre etmişlerdir. Mg ilaveli kompozitler, alüminyumlu kompozitlere göre daha iyi infiltre olmuşlar ve iyi ıslatabilirlik özelliği göstermişlerdir. Tozların Cu ve Ni ile kaplanmasının Al esaslı kompozitlerde arayüzey özelliklerini geliştirdiği belirtilmiştir. Yapmış oldukları ayrı bir çalışmada ise, 100 µm tane boyutundaki SiC tozlara vakum infiltrasyon yöntemi ile ticari saflıkta sıvı Al ve Mg infiltre etmişlerdir. % 50 T-H oranındaki SiC blok parçalar Ni ve Cu ile kaplanmış, 500-650°C sıcaklıklarda ön ısıtma yapmışlardır. Mg içeren kompozitler Al içeren kompozitlere göre daha iyi ıslatabilirlik özelliği göstermişler ve Mg ilavesinin ıslatabilirliği arttırdığını belirtmişlerdir. Tozların Cu ve Ni ile kaplanması, Al esaslı kompozitlerdeki arayüzey kalitesini arttırdığını ifade etmişlerdir [46].

Martinez ve ark. (2003), SiC tozlara Al-Si-Mg alaşımını basınçsız olarak infiltre etmişlerdir. Parçacık boyutu ve sıvı matrisin Mg miktarının artmasıyla infiltrasyon mesafesi artmış ve azami infiltrasyon derecesi 20 µm SiC tane büyüklüğündeki SiC tozlara % 6 Mg ihtiva eden alüminyum alaşımı ile elde edildiğini belirtmişlerdir [47].

Rodriques ve Reyes (2003), Al-Si-Mg/ SiC_p kompozitleri basınçsız infiltrasyon yöntemi ile üretmişler ve artan infiltrasyon sıcaklıklarında infiltrasyondaki kuluçka süresinin azaldığını tespit etmişlerdir. Kuluçka süresinin sıcaklığa bağlı bir periyot olduğunu, ancak sıcaklık ve zaman parametrelerinin ortak etkisinin göz ardı edilebileceğini belirtmişlerdir [12, 48].

Kevorkijan (1999), yapmış olduğu çalışmada sıvı infiltrasyon yöntemi ile SiC, Si₃N₄, AlN, Mg₃N₂ ve TiO₂ seramik parçacıklara % 7 Si, % 0,3 Mg ihtiva eden 356-T6 alüminyum alaşımını infiltre etmiştir. Sonuç olarak infiltrasyon mesafesinin, infiltrasyon süresi ve sıcaklığına bağlı olarak lineer şekilde arttığını belirtmiştir [49].

Lianxi ve ark. (1998), çalışmalarında kısa fiberli alümina yapı içerisine Al-1,5 Mg alaşımını basınç yardımıyla infiltre etmişlerdir. İnfiltrasyon oranı ve kuluçka süresinin uygulanan basınçtan önemli ölçüde etkilendiğini tespit etmişlerdir. İnfiltrasyonun gerçekleşebilmesi için bir kuluçka süresine ihtiyaç olduğu ve kuluçka süresinin artan basınçla azaldığını belirtmişlerdir. İnfiltrasyon mesafesi ile infiltrasyon süresi arasında sabit basınç altında parabolik bir ilişki olduğunu belirtmişlerdir [50].

Chong ve ark. (1993), Al/SiC_p kompozitlerinin basınçlı infiltrasyon yöntemi ile üretilmesinde, sıvı metal aşırı ısıtma sıcaklığının artmasıyla eşik basıncın azaldığını tespit etmişlerdir. Ayrıca artan sıvı aşırı ısıtma sıcaklıklarında kompozitlerin gözenek miktarının azaldığını tespit etmişlerdir [51].

Demir ve Altınok (2004), yapmış oldukları çalışmada Al-Al₂O₃/SiC kompozitleri basınçlı infiltrasyon yöntemiyle üretmişlerdir. Denemeler sonucunda, infiltrasyon sıcaklığının infiltrasyon için önemli bir parametre olduğunu belirtmişler ve artan

infiltrasyon sıcaklıklarında kompozitlerin yoğunluğu artarak, kopma özelliklerinin arttığını tespit etmişlerdir. % 13 T-H oranında 800 °C sıcaklık ve 3 MPa infiltrasyon basıncında 558 MPa kopma gerilimi elde edildiğini belirtmişlerdir [52].

Contreras ve ark. (2004), çalışmalarında % 56 takviye hacim oranındaki Mg/TiC kompozitleri 850 °C – 900 °C sıcaklıklarda argon atmosferinde, basınçsız infiltrasyon yöntemiyle üretmişlerdir. Artan infiltrasyon sıcaklıklarında sıvı matrisin takviyeyi başarılı bir ıslatma eğilimi gösterdiğini belirtmişlerdir. Kompozitlerin mekanik özelliklerinin iyi bir ıslatmaya bağlı olmakla birlikte artan infiltrasyon sıcaklıklarında artış gösterdiği tespit etmişlerdir [53].

Acılar ve ark. (2002), yaptıkları çalışmada düşük hacim oranındaki SiC_p/Al-10 Si MMK'leri vakum infiltrasyon yöntemiyle üretmişlerdir. Bu yöntemle düşük takviye-hacim oranındaki kompozitlerin düşük sıcaklık ve sürede üretilmelerinin mümkün olabileceğini belirtmişlerdir. Kontrollü azot atmosferi blok parça içerisinde Mg tozu kullanımının, yöntemin gereksinimi olduğunu belirtmişlerdir. % 10 SiC_p içeren toz karışım için 600°C sıcaklık ve 120 saniyelik infiltrasyon süresinin uygun şartlar olduğunu ve takviye hacim oranının artmasının infiltrasyon mesafesini önemli derecede azalttığını belirtmişlerdir. Ayrıca blok parça içerisine ilave edilen Mg tozunun, ıslatabilirlik açısından oldukça önemli olduğunu tespit etmiştir. Kompaktlarda SiC_p takviye hacim oranının artmasının, infiltrasyon için nispeten daha yüksek vakum ve sıcaklık uygulanmasını gerektirdiğini ifade etmişlerdir [54].

Acılar ve ark. (2002), Al - % 9,42 Si - % 0,36 Mg/SiC kompozitleri vakum infiltrasyon yöntemiyle üretmişlerdir. Yüksek takviye hacim oranlarında 400 mmHg -500 mmHg vakum değeri infiltrasyon için yeterli olurken, düşük T-H oranlarında gerekli vakum değerinin 200 mmHg değerinde olduğunu belirtmişlerdir [55].

Acılar ve ark. (2003), yaptıkları çalışmada, vakum infiltrasyon yöntemi ile üretilen Al-SiC_p takviyeli kompozitlerde kompakta Mg tozu, alaşıma Mg ilavesinin ve SiC oksidasyonunun etkisini araştırmıştır. Üretilen kompozitlerde optik mikroyapı, yoğunluk, gözenek ve sertlik incelemeleri yapılmıştır. İnfiltrasyon işlemi için SiC

veya SiC+Mg ya da SiC+Al+Mg tozundan oluşan kompaktlar kullanılmıştır. Kompakta Mg tozu ilavesinin, alaşıma Mg ilavesinin ve SiC oksidasyonunun infiltrasyonu geliştirdiği ve böylece kompaktların infiltrasyon mesafesini ve kompozitlerin sertliğini ve yoğunluğunu arttırdığı ve gözenek oranını düşürdüğü tespit edilmiştir [56].

Çırakoğlu ve ark. (1995), Alüminyum matrisli AlN-B₄C kompozit malzemelerinin üretimini vakum infiltrasyon yöntemi kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Ağırlıkça %1, % 2, % 4 ve % 10 B₄C içeren AlN-B₄C seramik toz karışımları, ön şekillendirildikten sonra 1400 °C – 1600 °C sıcaklıklarda 1 saat süreyle azot akışı altında, indüksiyon fırınında sinterlemiştirler. İnfiltrasyon deneyleri 50 torr ve 400 torr argon atmosferinde 1250 °C sıcaklıkta 20 dakika süreyle gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma ile B₄C içeriğinin artmasıyla gözenek çapının azaldığı tespit edilmiştir [57].

Elwahed ve Assar (1998), Al(Al₂O₃)_p sisteminde basınçlı infiltrasyon yöntemiyle kompozit malzeme üretmişlerdir. Artan basınç değerlerinde infiltrasyon mesafesi artarken, kompozitlerin % gözenek miktarında azalma olduğunu tespit etmişlerdir. 63 µm – 90 µm boyutundaki alümina tozlarda 0,3 MPa basınçta gözenek miktarının maksimum % 2,4 değerine ulaştığı belirtilmiştir [58].

Candan ve ark. (1997), % 53 takviye hacim oranındaki SiC tozlara 330 °C sıcaklıkta saf kalay, 750 °C sıcaklıkta saf alüminyum ve dört farklı alüminyum alaşımı infiltre etmişlerdir. Çalışmalarında infiltrasyon için gerekli eşik basıncın belirlenmesinde temas açısı ile ilgili olan yüzey geriliminin etkisini araştırmışlardır. Saf alüminyum, alüminyum alaşımları ve saf kalay için gereken eşik basıncını belirlemiştirler. Bu değerleri, saf Al için 565 KPa, Al-3,4 Mg için 518 KPa, Al-8,6 Mg için 411 KPa, Al-13,9 Mg için 320 KPa, Al-5 Ti için 540 KPa ve saf kalay için 350 KPa olarak tespit etmişlerdir. Yaptıkları ayrı bir çalışmada ise % 53 takviye hacim oranındaki 23 µm SiC tozlara % 13,9 Mg ilaveli sıvı alüminyum alaşımını basınçla infiltre etmişlerdir. % 13,9 Mg ilavesinde eşik basınç 570 KPa'dan 320 KPa değerine düştüğü belirtilmiştir. Ayrıca Mg ilavesinin sıvı matris ile takviye arasındaki ıslatma açısını düşürdüğünü tespit etmişlerdir [59].

Asthana ve Rohatgi (1991), 30 μm - 500 μm \mathcal{C} apında ve 1-25 μm kalınlığında SiC plakalardan oluşan yataklara 2014 Al alaşımını basınçla infiltre etmişlerdir. SiC plakalar Cu ile kaplanmış ve SiC plakaların matris içerisinde homojen olarak dağıldığını tespit etmişlerdir. SiC plakaların Cu ile kaplanmasıyla daha dűřuk basınç seviyelerinde infiltrasyonun tamamlanabildiği belirtilmiştir. Kaplanmamış SiC plakalara 761°C sıcaklıkta, 6,46 Atm basınç ve 7 dakika sűre ile infiltrasyon yapıldığında plakalar etrafında boşluklar meydana gelmiştir. Aynı şartlarda Cu ile kaplanmış SiC plakalara sıvı matrisin başarı ile infiltre olduğunu belirtmişlerdir [60].

Branfenbrener (2005), B₄C, TiC, TiB₂ ve SiC tozlarla 15 MPa basınçta % 50 - % 75 takviye-hacim oranlarında blok parçalar elde etmişler. 800 °C sıcaklıkta basınçsız infiltrasyon yontemiyle blok parçalara argon ve mağnezyum buharı atmosferinde Mg ve alaşımı infiltre etmişlerdir. Islatma açısını 15°-20° arasında tespit etmişlerdir. B₄C parçacıklarda, arayűzeyde MgO ve Mg₂C₃ oluştuğunu belirtmiştir [61].

Divecha ve ark. (1981), MMK'lerin kırılma tokluklarının belirlenmesinde çođunlukla fiber takviyeli kompozitlerin stres yođunlařma faktűrlerinin belirlenmesi ile sınırlı olduđunu belirtmiřlerdir. Parçacık takviyeli MMK'lerde hacimce % 15 SiC takviyeli 2024, 2061 ve 5456 Al alařımları için gerilim yođunlařma faktűrű belirlemiřlerdir [62].

Daimaru ve ark. (1985), parçacık takviyeli Al matrisli kompozitler için makroskobik kırılma yűzey enerjisi (Y_f) değerlendirmişlerdir. (Y_f)'ni tam kırılma işlemi sırasında absorbe edilen enerji olarak tanımlamışlardır. Parçacık takviyeli kompozitlerde kırılma yűzey enerjisi için teorik bir model belirlemişlerdir [63].

Stephens ve ark. (1988), Al-Si kompozitlerin kırılma toklukları űzerinde parçacık tipinin ve bűyűklűđűnűn etkisini belirlemiřlerdir. Aynı takviye-hacim oranında en bűyűk parçacıklı kompozitlerin en yűksek kırılma tokluđu gűstermeye meyilli olduđunu ve parçacıklar arası mesafenin artmasıyla kırılma tokluđunun arttıđını belirlemiřlerdir [64].

Ögel ve Kaya (1999), Al-Cu-SiC sisteminde MMK'leri azot atmosferi altında tek yönden basmalı bir kalıpta sıcak presleme yöntemiyle gözenek içermeyecek şekilde üretmişlerdir. Matris Al-5 % Cu alaşımı olarak seçilmiş, % 15 SiC (10 µm) takviye fazı olarak kullanılmıştır. Katılan Cu tozunun sıvı faz oluşturduğu ve yoğunluğu arttırdığını belirtmişlerdir. Kırık yüzeylerde sünek kırılma tespit etmişlerdir [65].

Özkan S. (2007), çalışmalarında, mekanik alaşımlama yöntemi ile farklı boyut ve oranlarda SiC partikülleri ile takviyelendirilmiş Al esaslı metal matrisli kompozitler (MMK) üreterek kuru aşınma özelliklerini araştırmıştır. Sinterleme sonrası üretilen MMK'lerin yoğunluk, porozite, sertlik ölçümleri ve mikroyapı incelemeleri yapılmıştır. Buna ilaveten, aşınma deneyleri pin-on-disk cihazında sabit hızla farklı yükler altında gerçekleştirilmiştir. Yoğunluk ölçümleri, porozitenin çok düşük olduğunu, partikül oranının artması ve boyutunun düşmesi ile porozite oranının arttığını göstermiştir. MMK'lerin sertliğinin ise, genelde takviye oranının artması ile orantılı olarak arttığı gözlenmiştir. Mikroyapı incelemeleri, partikül boyutunun artması ile homojen bir dağılım sağlandığını göstermiş, düşük boyutlu partiküllerin partikül topaklanmasına ve porozite oluşumuna neden olduklarını ortaya çıkarmıştır. Buna ilaveten, yapılan aşınma deneylerinde MMK'de seramiğin tane boyutu küçüldükçe ağırlık kaybının arttığı görülmüştür. Fakat takviye oranının artması ile sertlik değerleri artmış ağırlık kaybı ise azalmıştır [66].

Aydın H. (2005), yaptığı çalışmada, alüminyum matrisli kompozitleri, %55 MgO takviye-hacim oranında, sıvı alaşıma %5 Mg ilave edilerek vakum infiltrasyon yöntemi ile başarılı bir şekilde üretmiştir. Bu yöntemde MgO parçacıkların sıvı matris alaşımı tarafından ıslatılabilmesi için %5 Mg hacim oranlı tozlarla karıştırılmıştır. Takviye oranında ve bu karışımdan hazırlanan çelik borular içerisindeki toz kompaktların içerisine Etial-171 alaşım infiltre edilmiştir. Hacimce %50-%55 MgO takviyeli kompozitlerin vakumlu infiltrasyon yöntemiyle üretimde kullanılan alaşım Etial-171'in içerisine bazı deney serisinde %5 Mg katılmıştır. Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar, hacimce %50-%55 MgO takviyeli kompozitlerin üretimi için uygun olduğunu göstermiştir. %50-55 MgO takviye-

hacim oranına sahip kompozitlerin 700°C - 800°C sıcaklık arasında 300 mmHg - 500 mmHg arasında değişen vakum ve 180 saniye süre gibi şartlarda üretimi mümkün olmuştur. Sonuçta takviye elemanı MgO'in matrisin korozyon direncini çok fazla değiştirmedini tespit etmiştir [67].

Sur ve ark. (2005) çalışmalarında, metal matrisli kompozit (MMK) malzemelerin, ergimiş metal karıştırma yöntemi ile üretimlerinde karşılaşılan problemlerin azaltılması amaçlamıştır. Bu amaçla MMK malzemelerin üretimi için argon gazı koruyucu atmosferli ergitme fırını ve karıştırma ünitesi tasarlanarak imalatı yapılmıştır. Tasarlanan ünite ile üretilen MMK'larda, matris malzemesi olarak 2014 alüminyum alaşımı, takviye elemanı olarak da 29 µm, 45 µm ve 110 µm boyutlarında SiC seramik tanecikleri kullanılmıştır. MMK malzemelerin üretimleri esnasında artan tanecik boyutu ve azalan takviye fazının yüzde ağırlık oranı ile üretimlerinin kolaylaştığı gözlenmiştir. Buna ilaveten azalan tanecik boyutu ve artan takviye fazı yüzde ağırlık oranı ile MMK'ların sertlikleri iyileşmiştir. Ancak aynı şartlarda gözenek miktarının ve taneciklerin topaklanmasının arttığı bununla birlikte homojen dağılımın azaldığı tespit edilmiştir [68].

2.2. MMK'ların İşlenebilirlikleriyle İlgili Yapılan Çalışmalar

Metal matrisli kompozitlerin mekanik ve yüksek sıcaklık özelliklerinin mükemmel olmasına rağmen işlenebilirliklerinin kötü olması diğer metal malzemelerin yerlerine kullanımlarını azaltmaktadır. Diğer yandan bu kompozitlerin aşınma direnci; tek fazlı alaşımlar ile karşılaştırıldığında, sünek alüminyum matrisin içerisine katılan aşındırıcı seramik parçacıkların ikinci bir faz oluşturmasına bağlı olarak artmaktadır. Bu nedenle, kompozit malzemelerin etkili işlenmesi ve ölçü tamlığıyla ilişkili zorluklar imalat açısından önemli bir problem olmaktadır [16, 69]. Kompozitlerin işlenmeleri esnasında kullanılan kesici takımların, çok kısa zamanda aşınması işleme maliyetinin artmasına neden olmaktadır. Kompozit malzemelerin bu kötü özelliklerinin, işleme maliyeti yönünden olumsuz etkilerinin azaltılması amacıyla, optimum kesici takım malzemesi ve geometrisi ile kesme parametrelerinin seçiminin yapılması gerekmektedir. Bu bağlamda kompozit malzemelerin işlenebilirlik

özelliklerinin belirlenmesi yönünde yapılan araştırmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Günay M. (2009), yaptığı çalışmada TM yöntemiyle MMK malzemeler üretmiştir. Kompozitlerin üretiminde matris malzemesi olarak ortalama 63 µm boyutlarında ön alaşımlı Alumix 231 (Al-Si alaşımı) tozu, takviye elemanı olarak ise ortalama 20,1 µm ebatlarında SiC parçacıklar kullanmıştır. Ağırlıkça %5, %10, %15 SiC takviyeli kompozit numune ve Alumix 231 kodlu dört farklı numune üretilmiştir. Numuneler, kaplamasız SK, KBN ve KE kesici takımlar kullanılarak tornalama metoduyla işlenebilirlik deneylerine tabi tutulmuştur. Deneyler, kuru kesme şartlarında bilgisayar sayısal denetimli (BSD) torna tezgahında dört farklı kesme hızı, iki farklı ilerleme ve sabit kesme derinliğinde yapılmıştır. Numunelerin işlenebilirliği, talaş oluşumu, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü açısından araştırılmıştır. Özellikle SK kesicide yüksek kesme hızlarında takımın burun bölgesinde aşınmanın olduğu ve buna bağlı olarak talaş yığılmasının arttığı görülmüştür. SiC ağırlık oranının artmasıyla beraber artan sertliğe bağlı olarak kesme kuvvetlerinin arttığı tespit edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü açısından en kötü işlenebilirliğe sahip numune % 5 SiC kodlu numune olarak belirlenmiştir. Kesici takımların performansı yüzey kalitesi açısından değerlendirilmiş olup en iyiden en kötüye doğru KE, KBN ve SK şeklinde gerçekleşmiştir. En iyi yüzey pürüzlülüğü değer, % 15 SiC kodlu numunenin 0,1 mm/rev ilerleme ve 300 m/min kesme hızında PCD kesici takımla işlenmesiyle elde edilmiştir [16].

Manna ve Bhattacharayya (2003), SiC_p takviyeli Al matrisli kompozitlerin torna tezgahında işlenmesi sırasında oluşan kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğünü araştırmışlardır. Araştırmacılar, LM6Mg alüminyum alaşımı esaslı % 15 SiC_p takviyeli kompozit malzemenin işlenmesinde kaplamasız sementit karbür (WC) kesici takımlar kullanmışlardır. Kesme deneylerini farklı kesme hızı (20 m/min - 225 m/min), ilerleme miktarı (0,14 mm/rev - 1 mm/rev) ve kesme derinliği (0,25 mm - 1,5 mm) kullanarak yapmışlar ve kesme sırasında oluşan kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve yığıntı talaş oluşumunu incelemişlerdir. Sonuç olarak esas kesme kuvvetlerinin ilerleme kuvvetinden daha büyük olduğu ve aynı işleme şartlarında

ilerleme kuvvetinin kesme hızına bağılı olarak çok fazla değişmediği, esas kesme kuvvetinin ise kesme hızına bağılı olarak azaldığını belirlemiştir. Ayrıca, Al/SiC_p-MMK malzemenin işlenmesi süresince oluşan BUE ve yüksek kesme kuvvetleri nedeniyle düşük kesme hızında en yüksek yanak aşınması meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Düşük kesme hızlarında oluşan BUE'nin gerçek talaş açısını büyüttüğünü ve bunun kesme kuvvetlerini etkilediğini tespit etmişlerdir. Yan yüzey aşınmasının kesme hızına göre ilerlemeye daha az duyarlı olduğu gözlenmiştir. MMK malzemenin işlenmesinde, WC takım için 60 m/min ila 150 m/min kesme hızı arasındaki değerler tavsiye edilmiş olup, en iyi yüzey kalitesi için yüksek kesme hızı, düşük ilerleme ve düşük kesme derinliği seçilerek kesme işleminin yapılmasını belirlemiştir [70].

Lin ve ark. (2003), çalışmalarında %20 takviye hacim oranına sahip 12,8 µm boyutunda SiC_p takviyeli A359 alüminyum matrisli kompozitin ÇKE kesici takımlarla tornada işlenmesi sırasında oluşan kesme kuvvetleri ve kesici takım aşınmasını incelemiştir. İşleme deneylerinde, 300 m/min -700 m/min kesme hızı, 0,1 mm/rev - 0,4 mm/rev ilerleme ve 0,5 mm kesme derinliği kullanmışlardır. Kesme hızı ve ilerlemenin artması ile hem kesme kuvvetinin hem de takım aşınmasının arttığını belirlemiştir. Asıl kesme kuvvetindeki dalgalanmaların ilerleme kuvvetinden daha fazla olduğunu ve bunun nedeni olarak kesme hızındaki değişimleri göstermişlerdir [71].

Özben ve ark. (2008), yaptıkları çalışmada hacimce % 5, % 10 ve % 15 oranında SiC_p takviyeli AlSi7Mg2 alüminyum matrisli kompozitin mekanik özellikleri ve işlenebilirliğini araştırmışlardır. İşleme deneylerini, farklı değerlerde kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliğinde ve TiN kaplamalı WC-K10 kesici takım ile kuru kesme şartlarında yapmışlardır. Parçacık ilavesindeki artışın tokluğu ve sertliği arttırdığını, ancak çekme dayanımı % 10 takviye oranına kadar artarken % 15 takviye oranında azalma eğilimi gösterdiğini belirlemiştir. İşleme deneyleri sonucunda, yüzey pürüzlülüğünün ilerleme ve parçacık takviye oranının artması ile arttığını tespit etmişlerdir [72].

Krishnamurthy ve ark. (2007), çalışmalarında SiC_p ve grafit takviyeli Al matrisli kompozitlerin tornada işlenmesi sırasında oluşan bileşke kuvvetinin işleme şartlarına göre değişimini incelemişlerdir. İşlemelerde kaplamasız sementit karbür (WC-K10) kesici takım kullanmışlardır. Deneyler sonucunda, Al/ SiC_p ve Al/grafit metal matrisli kompozitlerin her ikisi için de bileşke kesme kuvvetinin değişiminde en fazla etki yapan değişkenin kesme derinliği, ikinci olarak ise parçacık takviye oranı olduğunu tespit etmişlerdir. SiC_p takviyeli Al matrisli kompozitte takviye oranının artması ile bileşke kesme kuvvetinin arttığını, grafit takviyeli alüminyum esaslı kompozitte takviye oranının artması ile bileşke kesme kuvvetinin azaldığını belirlemişlerdir. Aynı şekilde kesme hızı ve ilerlemenin artmasıyla, bileşke kuvvetin Al/ SiC_p kompozitte arttığını, Al/grafit kompozitte ise azaldığını tespit etmişlerdir [73].

Kılıçkap ve ark. (2005), yapmış oldukları çalışmada MMK malzemelerin içerisindeki SiC_p gibi takviye elemanlarının aşındırma ve sertlik özellikleri nedeniyle, işlenmesi zor malzemeler olduğunu, bu nedenle MMK malzemeler üzerine araştırmaların her geçen gün arttığını belirtmişlerdir. Bu amaçla, 24 μm boyutunda % 5 SiC_p takviyeli Al matrisli MMK malzemeyi, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması yönünden incelemişlerdir. İşlenebilirlik deneylerini, kaplamasız ve TiN kaplamalı WC-K10 kesici takımlarla , 50 m/min, 100 m/min ve 150 m/min olmak üzere farklı kesme hızlarında, 0,1 mm/rev, 0,2 mm/rev ve 0,3 mm/rev farklı ilerlemelerde ve 0,5 mm, 1 mm ve 1,5 mm farklı kesme derinliklerinde tornalama işlemiyle yapmışlardır. Kuru kesme şartlarında yapılan deneylerde, takım aşınması kesici takımın yan yüzeyinde meydana geldiğini ve abrasiv aşınma mekanizmasının olduğunu tespit etmişlerdir. Kesme hızının, takım aşınması üzerinde en etkili parametre olduğunu, kesme hızının 50 m/min'den 150 m/min'e çıkmasıyla aşınmanın iki katına çıktığını belirtmişlerdir. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametrenin ilerleme olduğunu ve yüksek ilerleme değerlerinde en kötü yüzey kalitesinin oluştuğunu tespit etmişlerdir. TiN kaplamalı kesici takımla en düşük aşınma gerçekleşirken, aynı zamanda en iyi yüzey kalitesinin de bu takımla meydana geldiğini belirlemişlerdir [74].

Pedersen ve Ramulu (2006), çalışmalarında % 20 takviye hacim oranında 3 μm - 4 μm boyutunda SiC_p takviyeli Mg matrisli kompozitin TiCN/TiN kaplamalı WC uçlar

ile farklı kesme şartlarında tornalanması sırasında oluşan kesici takım aşınmasını, kesme kuvvetlerini ve yüzey pürüzlülüğünü incelemiştir. Kesme parametreleri olarak; 73,1 m/min ve 122 m/min kesme hızı, 0,112 mm/rev ve 0,203 mm/rev ilerleme ve 0,254 mm ve 0,762 mm kesme derinliği kullanarak işleme deneyleri yapmışlardır. Deney sonuçlarına göre; kesme hızının ve kesici kenar açısının, kesme kuvvetlerine önemli etkisinin olmadığını, kesme kuvvetinin ilerleme miktarı ve kesme derinliğinin artması ile arttığını tespit etmişlerdir. Ayrıca kesme hızı, kesme derinliği ve kesici kenar açısının yüzey pürüzlülüğüne çok az etkisi olduğunu, asıl etkili parametrenin ilerleme miktarı olduğunu belirlemişlerdir. Kesici takımların yan yüzeylerinde oluşan aşınmaya, abrasiv aşınma mekanizmasının neden olduğunu belirtmişlerdir [75].

Reddy ve ark. (2008), yapmış oldukları çalışmada ağırlıkça % 20 SiC_p takviyeli 2024 Al matrisli kompozitlerin talaşlı işlenmesinde frezeleme yöntemini uygulamışlardır. Deneylerde SiC_p takviyeli ve takviyesiz 2024 Al alaşımının TiAlN kaplı karbür kesici takımla işlenmesinde kesme parametrelerinin yüzey kalitesi ve işlemeden sonra meydana gelen yüzey kalitesine olan etkilerini incelenmişlerdir. Tüm kesme şartlarında, Al-SiC_p kompozit malzemenin işlenmesinde elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin, Al alaşımının işlenmesi sonucu elde edilen değerlerden daha küçük olduğunu ve ilerleme miktarının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün arttığını belirtmişlerdir. Ayrıca, ilerlemenin sabit tutularak kesme hızının artırılması durumunda yüzey pürüzlülüğünün azaldığını tespit etmişlerdir [76].

Kök ve ark. (2002), çalışmalarında Vortex metodu ile farklı boyut ve hacim oranlarında Al₂O₃ parçacık takviyeli alüminyum matrisli kompozit malzemeler, belli oranda basınç uygulayarak başarılı şekilde üretmişlerdir. Numuneler farklı kesici takımlarla BSD torna tezgahında talaş kaldırma deneylerine tabi tutulmuş ve değişik kesme hızlarında yüzey pürüzlülükleri incelenmiştir. Deney sonuçları; TP30 takımla işlenmiş yüzeylerdeki pürüzlülük değerlerinin, TiN+K10 takımlarla elde edilen yüzey pürüzlülüklerinden daha az olduğunu göstermiştir. Bunun yanında yüzey pürüzlülüğü, kesme hızının ve parça boyutunun artması ile artarken parçacık oranının artması ile azalmıştır. En büyük ortalama yüzey pürüzlülük değerleri 2024 Al+%10

içerikli 16 µm parçacık boyutlu alüminyum oksit esaslı kompozitlerin işlenmesinde ortaya çıkmıştır. Ancak optimum yüzey pürüzlülük değeri 160 m/min kesme hızı ile kesme işlemi gerçekleştiğini belirtmişlerdir [77].

Ding ve ark. (2005), çalışmalarında 12,8 µm boyutunda % 20 SiC_p takviyeli Al-Si alaşımlı MMK malzemeler ile, KBN ve ÇKE takımlar kullanarak 50 m/min'den 400 m/min'e değişen kesme hızlarında işlenebilirlik deneyleri yapmışlardır. Deneylerde kullandıkları kesici takım 0,8 mm uç yarıçapında olup, deneyleri 0,3 mm kesme derinliği, 0,1 mm/rev ilerleme miktarında kuru ve soğutma sıvılı şartlarda yapmışlardır. Kesici takımlarda yoğun olarak yan yüzey aşınmasının olduğunu, bunun sebebinin de yüzeydeki kırılmalar olduğunu tespit etmişlerdir. KBN takımların, ÇKE takımlara göre, daha yüksek kırılma direnci gösterdiğini, en yüksek aşınma direncinin ÇKE takımlarda olduğunu belirtmişlerdir. Kuru kesme şartlarında, yüzey kalitesi üzerinde en etkili parametrenin, işparçası malzemesinin kesici takıma yapışması olarak belirlemişlerdir. Soğutma sıvısının kesici takım aşınmasında herhangi bir etkisi olmadığını ancak, yüzey kalitesini iyileştirdiğini tespit etmişlerdir [78].

Pramanik ve Zhang (2006), yaptıkları çalışmada % 20 SiC parçacık takviyeli, 6 µm - 18 µm tane boyutlarında 6061 Al matrisli kompozit malzemenin işlenebilirliğini ÇKE, TPMN 160304 formlu takımla incelemişlerdir. 0,1 mm/rev, 0,15 mm/rev, 0,2 mm/rev ve 0,25 mm/rev olmak üzere dört farklı ilerleme, 0,25 mm, 0,5 mm, 1,0 mm ve 1,5 mm farklı kesme derinliği ile 100 m/min, 200 m/min, 400 m/min, 600 m/min ve 800 m/min kesme hızlarında 10 saniye süreyle işleme deneyleri yapmışlardır. Kesme kuvvetlerini ve deneylerde elde edilen talaşların kalınlıklarını ölçmüşlerdir. Ayrıca, Al esaslı SiC ve Al₂O₃ parçacık takviyeli MMK malzemelerde kesme kuvvetlerinin tahmini için bir mekanik model oluşturmuşlardır. Bu modeli kuvvet oluşum mekanizmalarına göre; talaş oluşum kuvveti, kazıma kuvveti ve parçacık kırma kuvvetinin değerlendirmesinde kullanmışlardır. Sonuç olarak elde edilen teorik modeller ile MMK malzemede talaş deformasyon mekanizmalarının çok iyi tanımlanabileceğini belirtmişlerdir [79].

Zhu ve Kishawy (2005), çalışmalarında kaplamalı tungsten karbür (WC) takım kullanarak 6061 Al matrisli Al_2O_3 takviyeli kompozitin işlenmesinin simulasyonu için bir sonlu eleman modeli geliştirmişlerdir. Al alaşımı matris ve alümina parçacıklar arasındaki kırılma modeli ile sonlu elemanlar modelini birleştirerek alümina parçacıklar üzerindeki kayma gerilmeleri ve bunların etkilerini araştırmak için kullanmışlardır. 85 m/min kesme hızı, farklı ilerlemeler (0,1, 0,2 ve 0,3 mm/rev) ve 3 mm kesme derinliğinde yapılan deneysel çalışmaların sonuçları ile modelde elde edilen kesme kuvvetleri sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Alümina parçacıkların ara yüzey kırılmaları ve temas gerilme dağılımları ile normal ve kayma gerilmeleri ve kesme sıcaklıkları incelendiğinde, takım-talaş ara yüzeyi boyunca azami 398 °C sıcaklık tespit edilmiştir. Analizde kullanılan bütün deneysel sonuçlar için ilerlemenin artmasıyla tahmini kesme kuvveti bileşenlerinin arttığı, tahmini ve ölçülmüş değerler arasında % 9 fark bulunduğu belirlenmiştir. Alümina parçacıkların arayüzeydeki kırılmalar nedeniyle matristen ayrılarak takım-talaş yüzeyinde çiziklere ve aşırı takım aşınmasına sebep olduğunu tespit etmişlerdir [80].

Kannan ve Kishawy (2006), çalışmalarında işlenmiş yüzey altındaki Al matristeki mikrosertlik değişimleri üzerinde kesme parametreleri ve parçacık özelliklerinin etkisini araştırmışlardır. Bu amaçla, farklı hacim oranlarında ve değişik boyutlarda Al_2O_3 parçacıklarla takviyeli MMK malzemeler üzerinde 24, 60 ve 100 m/min kesme hızı, 0,1 ve 0,3 mm/rev ilerleme ve 3 mm kesme derinliğinde dik (ortogonal) kesme deneyleri yapmışlardır. Kuru ve ıslak şartlarda gerçekleştirdikleri kesme deneylerinde, kesme kuvveti ve yüzey pürüzlük değerlerini de ölçmüşlerdir. İşlenmiş yüzeylerdeki metalografik incelemeleri sonucunda Al matrisin plastik olarak deforme olduğunu, işlenmiş yüzeylerde şiddetli hasarlar ve geometrik bozukluklar oluştuğunu tespit etmişlerdir. Parçacıkların kırılarak matris malzemesinden sökülmesi ve arayüzeyde yapışması nedeniyle, işlenmiş yüzeyde mikro boyutlu kırılma, çukurlar, boşluklar ve kraterler gibi geometrik bozukluklar meydana gelmiştir. Kesme hızı, kesme derinliği ve T-H oranının artmasıyla hasar oranı da artmıştır. Islak şartlarda yapılan deneylerde, plastik deformasyon derinliğinin azalmasına karşın matris malzemesinin mikrosertliğinin arttığını tespit etmişlerdir.

Islak kesmede, kopan parçacıkların hızla akmasına bağlı olarak çukur ve boşlukların oluşması nedeniyle yüzey pürüzlülüğünün kötüleştiğini vurgulamışlardır [81].

Kannan ve Kishawy (2006) çalışmalarında kesici takım yanak aşınma hızının analitik bir modelini ortogonal kesme işlemi için geliştirmişlerdir. Hacimsel aşınma kaybı değeri, işleme parametreleri ve takviye özelliklerine bağlı bir eşitlik şeklinde tanımlanmıştır. Yanak aşınma hızı, ortogonal kesmedeki takım geometrisi dikkate alınarak tanımlanmış olup, geliştirilen modelin geçerliliği için Al 6061 matrisli Al_2O_3 parçacık takviyeli kompozitler (% 10 ve % 20 hacimsel oranlarda) aynı işleme koşullarında işlenmiştir. Sonuç olarak, kesici takımında tahmin edilen verilerle, ölçülen yanak aşınma verileri arasında uyumluluk olduğu vurgulanmıştır [82].

Kannan ve Kishawy (2008), yaptıkları çalışmada A356 Al matrisli 12 μm boyutulu % 20 SiC_p takviyeli MMK ve 7075 Al matrisli 15 μm boyutunda % 10 Al_2O_3 takviyeli MMK malzemeler üzerinde kaplamalı sementit karbür kesiciler kullanarak işlenebilirlik deneyleri yapmışlardır. Deneyler; üç farklı kesme hızı (60, 120, 240 m/min), 2 mm kesme derinliği ve 0,15 mm/rev ilerleme miktarında kuru ve ıslak şartlarda yapılmıştır. Kesme kuvvetleri ve yüzey kalitesinin araştırıldığı bu çalışmada ayrıca talaş biçimi ve kesici takım aşınmalarını da incelemiştir. Islak kesme şartlarında, yüksek kesme hızlarında tornalama sırasında takım ömrü artmış, buna karşın yüzey kalitesi kötüleşmiştir. Yüzey kalitesinin bozulmasını, işlenmiş yüzeyden kopan parçacıkların kısmen soğutma sıvısıyla uzaklaştırılması sırasında yüzeyde çukur şeklinde delikler ve boşlukların artmasına neden olması ile açıklamışlardır. Kesme sıvısı uygulamasının yararının olmadığını belirtmişlerdir. Takım aşınmalarının genelde abrasiv aşınma mekanizması ile meydana geldiği ve abrasiv aşınmaların yalnızca takviye parçacıklarının sertliğinden daha fazla sertliğe sahip kesiciler kullanılarak azaltılabileceğini vurgulamışlardır [83].

Uday ve ark. (2007), aşınma direncinin önemli olduğu parçalardaki MMK malzeme uygulanmalarında, işlenmiş kompozit malzeme yüzeylerinin kapsamlı bir analizine gerek olduğunu belirtmişlerdir. Bu analizlerin malzemenin gerilme, sıcaklık,

koroziona karşı direnç kabiliyetini belirleyeceğini ve aynı zamanda malzemenin ömrü ile güvenilirliğini kontrol edeceğini bildirmişlerdir. Bu bilgiler ışığında, Al/SiC/10p ve Al/SiC/30p kompozitler üzerinde, kesici kenarı silicili ve silicisiz geometrili KBN kesici takım kullanarak 0,05-0,2 mm/rev, 0,6-1 mm kesme derinliği ile 40-80 m/min kesme hızlarında tornalama yöntemiyle kesme deneyleri yapmışlardır. Deneyler süresince kesme kuvvetlerini ve işlemeden sonra yüzey kalitesi, mikroyapı ve kalıcı gerilmeleri ölçmüşlerdir. Sonuçta silici geometrili kesicilerin yüzey hasarlarını azalttığı ve kesme kuvvetlerini düşürdüğünü gözlemişlerdir. Alt yüzey hasarları işlenmiş yüzeyin 60 µm -100 µm altında meydana geldiğini ve işlenmiş yüzeye yakın yerlerde tane büyümesi ve dislokasyonların toplanması yüzünden mikrosertliğin arttığını belirtmişlerdir [84].

Özçatalbaş (2003), çalışmasında 150 µm boyutundaki Al tozlarını ortalama tane boyutu 24 µm olan siyah karbon tozları ile harmanlayarak yüksek enerjili karıştırıcı içerisinde farklı sürelerde (7,5-10-15-20 saat) MA işlemine tabi tutmuştur. TM yöntemiyle ürettiği numuneler üzerinde metalurjik ve işlenebilirlik araştırmaları yapmıştır. Kesme deneylerini, 20 m/min'den 150 m/min aralığında değişen kesme hızlarında, 0,14 mm/rev ilerleme ve 1 mm kesme derinliğinde 0,4 mm uç yarıçapında kaplamasız WC kesici takım kullanarak yapmıştır. Kompozit malzemenin kesilmesi sırasında meydana gelen talaşların basit ve yay şeklinde olduğunu tespit etmiştir. Matris malzemesi içindeki Al₄C₃ parçacık miktarının artmasıyla birlikte artan sertliğin, yüksek kesme hızlarında yüzey kalitesini artırırken BUE oluşumunu azalttığını belirtmiştir. MA süresinin artmasıyla meydana gelen homojen parçacık dağılımı ve yüksek sertliğin, özellikle yüksek kesme hızlarında BUE oluşumunu azaltarak işlenmiş yüzeyin kalitesini artırdığını vurgulamıştır. Ayrıca, orta kesme hızlarında ısı yumuşamaya bağlı olarak artan BUE oluşumu, talaşların süresiz tabaka halinde oluşmasına ve yüzey kalitesinin azalmasına neden olduğunu belirtmiştir. Al₄C₃ takviye fazı bakımından yüksek hacim içerikli MMK'lerde, yüksek kesme hızlarında yüzey pürüzlülük değerinin azaldığını tespit etmiştir. Al₄C₃ takviye fazının işleme deneylerinde kayma düzleminde talaş çıkışının çatlak

ilerlemesi şeklinde oluştuğunu ve bu durumun kesme kuvvetlerini düşürerek takım-talaş temas boyu ve deforme olmuş talaş kalınlığını azalttığını vurgulamıştır [85].

Özçatalbaş ve ark. (2002), çalışmalarında, % 17 hacimsel oranda Al_4C_3 partikülleri ihtiva eden, $2,44 \text{ g/cm}^3$ yoğunlukta, 263 HV sertliğinde, mekanik alaşımlama yöntemi ile Al matrisli kompozit malzeme üretilmiştir. Burç biçimli üretilen numunelerin işlenmesi sırasında ani durdurma cihazı kullanılarak talaş oluşum mekanizması incelenmiştir. Düşük kesme hızlarında büyük boyutlarda oluşan BUE sebebiyle işlenmiş yüzeylerden malzeme içine doğru çatlaklar oluşmuş ve yüzey kalitesi kötüleşmiştir. Yüksek kesme hızlarında ise BUE boyutlarındaki azalmayla birlikte işlenmiş yüzeydeki hatalar da azalmıştır. Yüksek kesme hızında işleme sırasında dahi, işlenebilirlik için uygun kavisli talaş biçimi oluştuğunu bildirmişlerdir [86].

Karakaş ve ark. (2006), çalışmalarında ortalama boyutları 37, 33 ve 16 μm olan Al, Cu ve B_4C tozlarından, hacim oranı %80 Al-4Cu matris ve %20 B_4C takviye elemanını oluşturacak şekilde hazırlanan toz karışımlarında, toz metalurjisi yöntemiyle MMK malzemeler üretmişlerdir. Sıvı faz sinterleme yoluyla ürettikleri $50 \times 50 \times 10 \text{ mm}$ boyutlarındaki numuneler üzerinde frezeleme ile talaş kaldırarak, malzemenin işlenebilirliğini değerlendirmişlerdir. Beş farklı kesme hızı (100, 130, 169, 220 ve 286 m/min), sabit kesme derinliği ve iki ilerleme miktarında (1,5 mm/rev ve 0,2 mm/rev) kaplamasız, TiCN/ Al_2O_3 /TiN kaplamalı ve TiN/TiAlN kaplamalı karbür (K20) kesici takımların aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Frezeleme işlemleri sonucunda yaptıkları optik ve SEM mikroskobu çalışmaları, kesme hızının artmasıyla takımlarda oluşan yan yüzey aşınmalarının arttığını ve BUE oluşumunun azaldığını göstermiştir. Ayrıca, bütün kesme hızları için TiCN/ Al_2O_3 /TiN kaplamalı kesici takımın en iyi aşınma direncini sergilediğini tespit etmişlerdir [87].

Çiftçi ve ark. (2004), ergimiş metal karıştırma ve basınçlı döküm yöntemini kullanarak, ağırlıkça % 8 ve % 16 oranında, ortalama 30 μm , 45 μm ve 110 μm ebatlarında SiC parçacık takviyeli kompozitleri üretmişlerdir. İşleme deneylerini,

sabit ilerleme (0,12 mm/rev) ve kesme derinliğinde (1 mm), farklı kesme hızlarında (20, 40, 60, 80 m/min), kaplamasız karbür ve TiC/Al₂O₃/TiCN kaplamalı karbür kesici takımları kullanarak yapmışlardır. Tornalama yöntemiyle gerçekleştirdikleri deneylerde, kesici takım kaplamasının ve kesme hızı değişiminin etkileri ile bu parametrelerin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Deneyler sonucunda, kesme hızı ile birlikte takviye elemanı parçacık boyutu ve takviye oranının takım aşınmasını hızlandıran etkenler olduğunu tespit etmişlerdir. Takım aşınması yönünden kesici takımları incelediklerinde, kaplamalı karbür kesicinin tüm işleme koşullarında en iyi performansı gösterdiğini ancak, kaplamasız karbür takımlarında ortalama yüzey pürüzlülüğü dikkate alındığında düşük kesme hızlarında en iyi performansı sergilediğini bildirmişlerdir. Kesici takımların SEM incelemeleri sonucunda, abrasiv asınma mekanizmasının etkin olduğunu ve yüksek kesme hızlarında kesici kenar bölgesinde kırılmaların meydana geldiğini tespit etmişlerdir [88].

Çiftçi ve ark. (2004), ağırlıkça % 16 oranında ortalama 30 µm, 45 µm ve 110 µm boyutlarında SiC_p takviyeli 2014 Al matrisli kompozitin torna teğahında işlenebilirliğini incelemişlerdir. İşlenebilirlik çalışmalarını, KBN kesici takım kullanarak kuru kesme şartlarında yapmışlardır. Deneylerde, sabit ilerleme miktarı (0,12 mm/rev), kesme derinliği (1 mm) ve 50 m/min'den 200 m/min aralığında değişen kesme hızlarını kullanmışlardır. İşlemeler sonucunda oluşan takım aşınmasını, yüzey pürüzlülüğünü ve BUE oluşumunu incelemişlerdir. Bütün kesme hızı değerlerinde en kötü yüzey 110 µm boyutunda SiC_p takviyeli kompozitin işlenmesi sırasında elde edilmiştir. SiC parçacıklarının büyük olması takım üzerinde daha fazla aşınmaya ve bunun sonucunda kötü bir yüzey elde edilmesine neden olmuştur. Yapılan çalışmada 30 µm ve 45 µm tane boyutlu SiC_p ile takviyeli MMK'ların 150 m/min kesme hızında, işleme deneylerinde kullanılan diğer kesme hızı değerlerine kıyasla, KBN takımlarda daha az yanak ve burun aşınmasına neden olduklarını belirlemişlerdir [89].

Davim (2002), ortalama 20 μm boyutunda SiC_p takviyeli A356/ SiC_p /20 MMK malzemeyi ÇKE ve elmasla kaplanmış sementit karbür (SK) kesici takımlarla işlemiş ve bu kesici takımların performansını karşılaştırmıştır. Elmas kaplanan SK kesici takımlarla deneyler 50, 60 ve 90 m/min kesme hızlarında yapılırken ÇKE kesici takımlarla deneyler 250, 350, 500 ve 700 m/min kesme hızlarında yapılmıştır. Elmas kaplamalı SK kesici takım için takım aşınma kriteri 0,6 mm ve ÇKE kesici takım için ise 0,25 mm olarak alınmıştır. Her iki kesici takımında da artan kesme hızıyla takım aşınması artmıştır. Elmas kaplamalı SK kesici takımında 4,5 dakika sonra 0,6 mm takım aşınması oluşmuş ÇKE kesici takımında ise 0,25 mm değerindeki takım aşınması 45 dakika sonunda oluşmuştur. Araştırmacılar, ÇKE kesici takımın elmas kaplamalı SK kesici takımdan 50 kat daha iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir [90].

Hung ve ark. (1995), yapmış oldukları çalışmada, geleneksel döküm ve toz metalurjisi ile üretilmiş SiC_p takviyeli kompozitlerin işlenebilirlik özelliklerini araştırmışlardır. SiC parçacık takviyeli MMK'ların kaba talaş işlemlerinin karbür kesici takımlarla ve ince talaş işlemlerinin de ÇKE kesicilerle yapılmasının daha ekonomik olduğunu tespit etmişlerdir. Döküm yoluyla üretilmiş kompozitlerin toz metalurjisi ile üretilen kompozitlere nazaran daha zor işlendiklerini belirtmişlerdir. Bunun nedeni olarak da bu yöntemle takviye elemanlarının formunu koruması ve homojen dağılımın elde edilme kolaylığını göstermişlerdir. İşlenebilirlik değerlendirmelerinde kesici takım özelliklerine bağlı olmaksızın işlenen yüzeylerde parçacık kırılmaları ve ara yüzey bağından ayrılarak çıkmış takviye elemanlarının var olacağını vurgulamışlardır [91].

Clark (1994), çalışmasında hacimce % 20 oranında ortalama 15 μm büyüklüğündeki SiC_p takviyeli alüminyum alaşımlı kompozitlerin, çok kristalli elmas (ÇKE) kesici takımlarla işlenebilirliğini inceleyerek, bu kesici takımları tungsten karbür takım (K10) ile kıyaslamıştır. Otomobilin fren diskleri olarak üretilen bu Al-%20 SiC_p MMK'lar üzerinde yapılan tornalama, frezeleme, delme ve boşaltma gibi işlemler sonucunda, takım ömrü ve yüzey kalitesi bakımından en iyi kombinasyonu Syndite CTB025 (kaba taneli) ÇKE takımı göstermiş olduğunu, bununla beraber bazı delme

işlemlerine CTB010 (orta taneli) ÇKE takımında başarılı bir şekilde kullanıldığını belirtmiştir. 0,3 mm/dev ilerleme miktarının altında 400 m/min kesme hızının üzerinde Syndite ÇKE kesici takımla 1 µm ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerinden daha iyi bir yüzey kalitesi elde edildiğini tespit etmiştir [92].

Andrewes ve ark. (2000), yaptıkları çalışmada ortalama 12,8 µm boyutunda SiC_p Al matrisli MMK malzemenin işlenebilirliğini incelemişlerdir. Kompozit malzemenin işlenmesi esnasında, ÇKE ve elmas kaplanmış karbür kesici takımların aşınma karakteristiklerini belirlemeye çalışmışlardır. Bütün kesme deneylerini kuru kesme şartlarında, 1 mm kesme derinliği, 0,1 mm/rev ilerleme ve 190 m/min kesme hızında yapmışlardır. ÇKE kesici takımdaki aşınmanın başlangıçta iş parçası malzemesi içinde bulunan SiC_p 'den kaynaklandığı belirtilmiştir. ÇKE, SiC_p 'den daha sert olduğu için burada oluşan abrasiv aşınmanın mikro-kesmeden ziyade mikro-mekanik deformasyonla ilişkili olabileceğini belirtmişlerdir. Yan yüzey aşınmasının, iş parçası malzemesinin yapışmasını teşvik edeceği ve bu bölgenin üçüncü kesme bölgesinde (takım-iş parçası arayüzeyi) oluşan yüksek basınçtan dolayı çoğunlukla alüminyum filmle kaplanacağını belirtmişlerdir. Alüminyum filmin aşınmış yüzeye yapışması ve daha sonra SiC_p uzaklaştırılmasıyla bir kısım ÇKE parçacıklarının da alüminyum filmle beraber kesici takımdan ayrılarak aşınmayı gerçekleştirdiğini tespit etmişlerdir. Sonuçta, ÇKE kesici takım için toplam işleme zamanını 53 dakika, elmas kaplamalı karbür kesici takım için ise 19 dakika olarak belirlemişlerdir [93].

Quan ve Ye (2003), çalışmalarında kompozit malzemelerin işlenmiş yüzeylerinin yüzey sertliği ve artık gerilmelerin araştırmışlardır. Sertlik ölçümleri neticesinde, SiC parçacıkları ile takviye edilmiş işlenmiş yüzey tabakasındaki sertlik değeri işlenmemiş iç yapıya nazaran daha düşük değerlerde olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca yüzeyin hemen altındaki yapının belli bir şekilde çalışma sertleşmesine maruz kaldığı ve yüzeylerde bası artık gerilmelerinin oluşma eğiliminin daha yüksek olduğu vurgulanmıştır. Büyük işleme hızlarında yapılan çalışmalarda çekme artık gerilmelerin oluşma olasılığının arttığı ve değişik içerikli kompozit malzemelerle yapılan çalışmalarda sertleşmemiş işlenmiş yüzey tabakasının, 10 µm ile muhtelif

değerler arasında değiştiği belirtilmiştir. İri parçacıklı kompozitlerde bu tabakanın daha kalın ve yumuşak olduğu da elde edilen sonuçlar göre ifade edilmiştir [94].

Kannana ve ark. (2008), yapmış oldukları çalışmada sünek matris yapılı, metal matrisli kompozit malzemelerin işlenmiş yüzey tabakasını SEM analizi yöntemiyle incelenerek işlemeden sonraki yüzey sertleşmesi ve kesme kuvvetleri arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Yüzeydeki çatlak oluşumu ve parçacıkların birbiriyle bağlantılarının olmamasının takım ömrünü etkileyen önemli parametreler olduğunu ifade etmişlerdir. Parçacık büyüklüğü ve hacimsel oranının işlenmiş yüzeydeki kusurların en belirgin sebebi olduğu ve bu değerlerin artmasıyla ortalama dislokasyon yoğunluğunun da arttığını vurgulamışlardır. Ayrıca matris malzemesinde oluşan plastik deformasyon mekanizmalarının kesme kuvvetleri ile ilintili olduğunu belirtmişlerdir. MMK malzemelerde, matris malzemesinde oluşan deformasyonun en etkileyici unsurlarının, matris malzemesinin türü, hacimsel oranı ve bunlarla alakalı ortalama dislokasyon yoğunluğundaki artış olduğu ifade edilmiştir [95].

Quigley ve ark. (2003), yapmış oldukları çalışmada işlenmesi zor olan Al/SiC kompozitlerin işlenebilirliğini araştırmışlardır. İşleme deneylerinde kesici takım kaplamalarının boşluk aşınması ve işlenmiş yüzeylerin kalitesi üzerine etkileri incelenmiş olup, TiN kaplamalı üç köşeli kesici uçların boşluk aşınmasına en iyi dayanımı gösterdiği ancak işlenmiş yüzeylerde kötü yüzey kalitesi elde edildiğini belirtmişlerdir. En kötü sonuçlar kaplamasız karbür takımlarla elde edilmiştir. Kesme işlemi esnasında mikromekanik yapı bir “ani durdurma aygıtı” ile işparçası yüzeyine kesilmiş küçük talaş parçalarının yapışması temin edilerek incelenmiştir. Talaş/işparçası örnekleri, SEM analizi ile incelenmiş olup aşınmanın en etkili sebebi olarak kesme mekanizması olduğunu, bunu çekme kırılmasının takip ettiğini vurgulamışlardır [96].

Hung ve ark. (1999), çalışmalarında SiC veya Al₂O₃ parçacık takviyeli alüminyum matrisli kompozit malzemelerin işlenebilirliğini araştırmışlardır. Birikimli takım aşınması modellerinden faydalanılarak, yüzey bitirme işleminin simulasyonu için

kesme şartları incelenmiştir. Kesici takım malzemelerinin, ısıl işlemin ve sıcak izostatik preslemenin işlenebilirliğe etkileri araştırılmış olup karbür takımların kaba işlemlerde, KBN ve ÇKE takımların ise hassas işlemlerde uygun olduğu ifade edilmiştir. KBN ve ÇKE takımların bu malzemelerin işlenmesinde uzun ömürlü oldukları ve yüzeylerinde diğerlerine nazaran en az seviyede aşınma olduğu, ayrıca ısıl işlem sonucu alüminyum matriste elde edilen sertliğin takım ömrünü kısalttığı belirtilmiştir. Bunlara ilave olarak, bu tip kompozit malzemelerin kritik uygulamalarda kullanılmasında, kesme işleminde işlenmiş yüzey boyunca veya hemen altında, kırılmış veya katman şeklinde ayrılmış takviye parçacıklarının, malzemenin yorulma ömrü açısından göz önünde bulundurulması gerektiğini vurgulamışlardır [97].

Davima ve ark. (2006), yapmış oldukları çalışmada % 20 SiC partçacık takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin tornada işlenebilirliği üzerine geliştirilen deneysel fiziki bir modeli uygulamışlardır. İşleme deneyleri ile ÇKE takımlar kullanılarak; talaş sıkışma oranı (R_c), talaş deformasyonu (ϵ), sürtünme açısı (ρ), kesme açısı (ϕ), normal gerilme (σ) ve kesme gerilmesi (τ) gibi değerlerin, değişik kesme hızı ve ilerleme oranı gibi kesme parametrelerine göre değişimi incelenmiştir. Sonuç olarak kesme açısının talaş sıkışma oranıyla azaldığı buna mukabil talaş deformasyonunun talaş sıkışma oranıyla arttığı belirtilmiş, normal gerilmenin kesme gerilmesinden yüksek olduğu ve her iki gerilme değerlerinin de ilerleme oranının artışıyla birlikte arttığı vurgulanmıştır. Ayrıca kesme hızı arttıkça aynı ilerleme oranında normal gerilmenin daha yüksek değerde olduğunu ve kesme hızındaki artışa rağmen kesme gerilmesinin azaldığını belirtmişlerdir [98].

Chinmaya ve ark. (2009), yapmış oldukları çalışmada, 3 boyutlu modelleme yapma imkanı sunan sonlu elemanlar paket programı kullanarak, işleme sonrası parçacık takviyeli kompozit malzemelerin yüzey ve yüzey altında meydana gelen hasar mekanizmalarının kestirimsel olarak tespit etmek üzere, % 20 SiC takviyeli A359 matrisli kompozit malzemeyi deney numunesi olarak kullanmışlardır. Bu çok fazlı model yaklaşımında, partikül ve matris elemanları izotropik özelliklere sahip süreklilik arz eden malzemeler olarak kabul edilmiş ve ölçülen kesme kuvvetlerine

bağlı olarak yüzey altı hasar görünümleri değerlendirilmiştir. Geliştirilen yazılımsal modelleme ile deneysel sonuçların uyum içinde olduğu ve çok fazlı modelle hasar derinliğindeki gerilme ve sıcaklık dağılımının deneysel sonuçlarla % 3 - % 12 arasında farklılık gösterdiği belirtilmiştir. İşleme sonrası yüzeyin hemen altında oluşan tahribat derinliğinin kesme kuvvetiyle artış gösterdiği ve tahribat derinliğinin oluşan kesme kuvvetlerinin bir fonksiyonu olduğu ifade edilmiştir [99].

Pedersen ve Ramulub (2005), yaptıkları çalışmada TiCN/TiN kaplı karbür takımlar kullanılarak SiC partikül takviyeli Mg metal matrisli kompozitlerin işlenebilirliği üzerine bir araştırma yapmışlardır. Bu tip MMK'lerin işlenmesinde ilerleme miktarı, kesme hızı, kesme derinliği ve kesme kenarı açısı değiştirilerek oluşan kesme kuvvetleri, talaş şekli, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, işleme sonrası baskın takım aşınma tipinin takımın yanağında oluşan aşınma olduğu ve büyük kesme derinliklerinde takım aşınma oranının azaldığı gözlenmiştir. İşlenmiş yüzeylerin pürüzlülük değerlerinin ise 0,2 µm -3 µm arasında değiştiği belirtilmiştir [100].

Mannaa ve Bhattacharayya (2003), yaptıkları çalışmada rombik formdaki SK kesici takımlarla SiC/Al metal matrisli kompozitlerin işlenebilirliğinde kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliğinin, işleme esnasında oluşan kesme kuvvetleri ile işlenmiş yüzey kalitesine etkisini araştırmışlardır. Çalışmada hem kesme kuvvetlerinin hem de ilerlemenin bütünleşik etkisinin boşluk aşınmasına etkisi de incelenmiş olup ayrıca kesme hızı, kesme derinliği ve ilerleme miktarının takım aşınması ve BUE oluşumu üzerine etkileri de analiz edilmiştir. Sonuç olarak Al/SiC-MMK'lerin işlenmesi sırasında yüksek hız ve düşük kesme derinliklerinde BUE oluşmadığı, uygun kesme hızı aralığının 60 m/min -150 m/min olarak tespit edildiği belirtilmiştir. Bu kesme hızı aralığında kesme kuvvetlerinin kesme hızından daha çok etkilendiği, takım talaş açısının artmasıyla düşük kesme hızlarında BUE oluşumunun arttığı ve ilerleme miktarının kesme hızıyla karşılaştırıldığında, yanak aşınmasına daha az etkisinin olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca rombik SK takımların daha pahalı olan ÇKE veya KBN takımlara göre bu tip işlenmesi güç malzemelerde kullanılabileceği vurgulanmıştır [101].

Iulianoa ve ark. (1998), çalışmalarında Al_2O_3 -Al 6061 MMK' lerin, yüksek hızlarda tornalama ile işlenebilirliğinin araştırılmasında, farklı boşluk açlarına sahip elmas kaplı karbür takımlar kullanılmıştır. İşlemlerde, takviye elemanı partiküllerin kesme düzlemleri boyunca yığıldığı ve oluşan talaşları katmanlarına böldüğünü ifade etmişlerdir. Ayrıca takım yüzeyinde ki sert kaplamanın, kesme düzlemleri arasındaki mesafeyi, azalan sürtünme katsayısından dolayı, artırdığı ve talaşın daha eşyapılı ve düzenli oluştuğu ifade edilmiştir. Kesme bölgesindeki bölgesel kuvvetlerin ve ısıl yüklerin kesici takımın yüzeyindeki kaplamayı kesme kenarına paralel bir şekilde doğrusal olarak aşındırdığı ve ilerleme miktarı yükseldiğinde bu aşınmasının azaldığı belirtilmiştir. Araştırmacılar, elmas kaplı kesici takımlarda yüksek aşınma direncinin, takımın aşınmaya karşı davranışını iyileştirdiğini ve aşındırıcı metallerin işlenmesinde mükemmel tercihler olacağını bildirmişlerdir [102].

Shetty ve ark. (2009), yaptıkları çalışmada hacimsel olarak % 15 SiC takviyeli Al6061-SiC MMK' leri KBN takımlarla işleyip, Taguchi optimizasyon yöntemiyle analiz etmişlerdir. Kesme hızı, kesme derinliği, ilerleme, soğutucu sıvı püskürtme çapı ve basıncının, takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvveti, ilerleme kuvveti ve tepki kuvvetine etkisi araştırılmıştır. Çalışmada kesme sıvısı olarak buhar kullanılmış olup buhar basıncının yüzey pürüzlülüğüne, takım aşınmasına, kesme, ilerleme ve tepki kuvvetlerinin oluşumuna etkisi sırasıyla % 80,22 - % 77,28 % 67,20 - % 58,32 - % 67,14 olduğu araştırmacılar tarafından belirtilmiştir. Buhar basıncı ve buharın püskürtüldüğü nozul çapının fiziksel etkisinin, incelenen işleme parametrelerinin artışı yönünde en fazla etkiyi yaptığı belirtilerek, uygun buharlı yağlama yöntemi seçilerek yüksek kalitede işlemenin gerçekleştirilebileceği vurgulanmıştır [103].

Wilk ve Staniewicz (2008), çalışmalarında Al_2O_3 ve Si_3N_4 parçacık takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin elmas taşlarla taşlanması araştırmışlardır. Deneyler sonucunda, reçine bağlı elmas taşlarda yüzey kalitesinin oldukça arttığı, metal bağlı elmas taşlarda taş aşınmasının çok küçük düzeylerde olduğu belirtilmiştir. Ayrıca AlSi9Mg alaşımının takviye elemanı bulunmayan yüzey

tabakasının taşlanması ile Al-SiC MMK' lerin taşlanması karşılaştırıldığında taşlama taşının yüzey bozulmasının fazla olduğu ifade edilmiştir [104].

Karnik ve ark. (2009), yaptıkları çalışmada MMK 'lerin tornalanmasında, kesme şartları ve işlenebilirlik arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Bu çalışma ile tepki yüzey yöntemini (TYT) kullanarak, tezgahta oluşan kesme kuvveti ve özel kesme kuvvetlerine, kesme hızı ve ilerleme miktarının etkilerini belirleyen ikinci dereceden bir matematik model geliştirmeyi amaçlamışlardır. % 20 SiC parçacık takviyeli Al alaşımı (A 356/20/SiCp-T6) ÇKE takım kullanılarak işlenmiş ve matematik modelin yeterliliğini kontrol için varyans analizi uygulanmıştır. Parametrik incelemeler sonucunda, ilerleme miktarındaki artışla birlikte tezgah gücü ve kesme kuvvetleri artarken özel kesme kuvvetlerinin azaldığını belirlemişlerdir [105].

Ding ve ark. (2005), yaptıkları çalışmada ÇKBN ve ÇKE takımların Al-SiC MMK' lerin işlenmesini araştırmışlardır. ÇKBN takımlarla yapılan işlemlerde takım aşınmasının taneler arası kırılma ve takım üzerine yapışan talaş ile yakından alakalı olduğu, soğutma sıvısının kullanılması ile takımın yanak yüzeyi ile işlenmiş yüzey arasında aşınmanın arttığı belirtilmiştir. Bu durumun işleme bitiminde takımda çentik aşınmasına dönüştüğü ve işlenmiş yüzeylerde kötü yüzey kalitesi ile sonuçlandığı gözlenmiş olup, ÇKE takımların ise yüksek aşınma ile kırılma dayanımı davranışı gösterdiği ve işparçası malzemesinin daha düşük düzeyde takıma yapıştığı belirtilmiştir [106].

2.3. Literatür Araştırmasının Değerlendirilmesi

2.3.1. Metal matrisli kompozitlerin üretimi ve özellikleriyle ilgili çalışmaların değerlendirilmesi

Yapılan literatür araştırmasında, metal matrisli kompozitlerin üretiminde, katı hal yöntemlerinden birisi olan toz metalurjisinin diğer yöntemlere göre daha yaygın

olarak kullanıldığı görülmüştür. Sıkıştırma işleminden önce uygulanan mekanik alaşımlama sürecinin, tozların homojen dağılımı üzerinde olumlu etki yaptığını ve üretilen MMK'in sertliklerinin arttığı tespit edilmiştir. Kullanılan tozların boyutlarını küçülmesiyle mekanik özelliklerinin geliştiği, genel olarak 10 µm - 100 µm boyutundaki tozların kullanıldığı görülmüştür. Mikroyapı incelemelerinde parçacık dağılımlarının oldukça homojen olduğu, gözenekliliğin ise parçacık boyutuna bağlı olarak değiştiği belirtilmektedir. TM yöntemiyle üretilen MMK'lerde sertlik, çekme mukavemeti, aşınma direnci, sıcağa karşı dayanım gibi değerinin artmasıyla çapraz kırılma mukavemetinin azaldığı ifade edilmektedir. Bu yöntemde optimum yoğunluk ve en iyi mekanik özelliklerin elde edilmesinde, sinterleme sıcaklığı ve sürelerinin etkisi belirlenerek farklı uygulamalar yapılmıştır. Yapılan araştırmalarda matris malzemesi ile takviye elemanı arasındaki uyumun en önemli parametre olduğu vurgulanmakta ve yapılan çalışmaların kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini geliştirerek kullanım alanlarını daha da genişletmeyi hedeflediği belirtilmektedir.

MMK 'lerin üretiminde yaygın olarak kullanılan diğer yöntemler ise sıvı hal üretim yöntemleridir. Bu yöntemler içerisinde, metalin ergitilmesi ve içerisine takviye elemanlarını ilave edilmesi suretiyle yapılan, döküm işlemleri önemli bir yer tutmaktadır. Son zamanlarda infiltrasyon yöntemleri giderek yaygınlaşmaktadır. Sıvı hal yöntemlerinin birbirlerine göre avantaj ve dezavantajlarının olduğu belirtilmektedir. Ergitme yöntemleriyle MMK üretiminde, parçacık takviyeli kompozit üretiminde daha iyi sonuçların alındığı buna karşılık elyaf takviyeli kompozitlerin üretimine çok uygun olmadığı görülmektedir. MMK üretiminde infiltrasyon yöntemlerinin araştırıldığı çalışmalar basınçlı infiltrasyon, basınçsız infiltrasyon ve vakumlu infiltrasyon yöntemleri ile gerçekleştirilmektedir. Her yöntemde de; T-H oranı, parçacık tane boyutu, infiltrasyon sıcaklığı ve süresi, basınç

ya da vakum değeri, sıvı matrisin kimyasal bileşimi, takviyenin ve matris elemanın özellikleri gibi parametreler infiltrasyonu etkileyen üretim değişkenleri olarak ele alınmaktadır. Artan basınç ve vakum değerlerinin infiltrasyon mesafesini arttırdığı ve kompozitlerin gözenek miktarında azalma olduğu belirtilmiştir. Alüminyum matrisli kompozitlerde sıvı matrisin Mg içeriği infiltrasyon davranışını olumlu etkilediği birçok çalışmada ifade edilmektedir.

MMK malzemelerin üretimleri esnasında artan tanecik boyutu ve azalan takviye fazının yüzde hacim oranı ile infiltrasyonun kolaylaştığı, artan takviye-hacim oranı ile MMK'ların sertliklerini arttığı belirtilmektedir. Ancak aynı şartlarda gözenek miktarının ve taneciklerin topaklanmasının arttığı bununla birlikte homojen dağılımın azaldığıda ifade edilmektedir. Artan infiltrasyon sıcaklıklarında sıvı matrisin yüzey gerilimi azalarak matris malzemesinin takviye elemanını daha iyi ıslattığı ve infiltrasyon süresini bir miktar azalttığı vurgulanmaktadır. Al matrisli seramik takviyeli kompozitlerde sıvı matrise Mg ilavesinin ıslatabilirliği arttırdığı belirtilmiştir.

MMK üretiminde, matris malzemesi olarak genellikle Al kullanıldığı, takviye elemanının ise çoğunlukla SiC, Al₂O₃ ve MgO seramik esaslı malzemelerden seçildiği görülmüştür. Vakum infiltrasyon çalışmalarında; 400 mmHg - 600 mmHg arasındaki vakum değeri, 700 °C - 850 °C arasındaki sıcaklık değerleri uygulanarak istenilen sonuçlar elde edilmiştir.

Sıvı hal yöntemleriyle üretilen MMK'lerde sertlik değerlerinin artmasıyla ÇKM değerinin azaldığı ifade edilmiştir. Kompozit malzemedeki gözenek oranının mekanik özellikleri doğrudan etkilediği, bunda üretim parametrelerinin infiltrasyon davranışını etkileyerek gerçekleştirdiği birçok çalışmada ortak kanaat olarak belirtilmiştir.

2.3.2. Metal matrisli kompozitlerin işlenebilirlikleriyle ilgili çalışmaların değerlendirilmesi

MMK malzemeler üretim işleminin ardından kullanılacakları alanlara göre çeşitli yöntemler kullanılarak şekillendirilmektedirler. Bu işlemler talaş kaldırmadan yapıldığı gibi çoğunlukla bir talaşlı işleme yöntemi kullanılarak yapılmaktadır. Kompozitlerin işlenmelerinde, tormalama, frezeleme, delme ve taşlama gibi doğrudan talaş kaldıran yöntemlerin yanında elektroerozyon (EDM) ve su jeti ile işleme gibi yöntemlerde kullanılmaktadır.

MMK malzemelerde takviye elemanını oluşturan seramik esaslı malzemelerin çok sert oluşu, işlenebilirlikte karşılaşılan en önemli sorun olarak ortaya çıkmaktadır. Günümüzde kullanılan kesici takım malzemelerinin çok az bir kısmı, kompozit malzemelerin içerisindeki seramik elemanları işleme yeteneğine sahiptir. Yapılan çalışmalarda genellikle, kübik bor nitrür (KBN) ve çok kristalli elmas (ÇKE) kesici takımların kullanıldığı belirtilmektedir. MMK malzemelerin işlenebilirliğinin değerlendirilmesinde daha çok kesici takımın performansı ve ömrü araştırılmıştır. İşleme deneylerinde; kesme kuvvetleri, kesme hızı, ilerleme miktarı, talaş derinliği, takım aşınması, takım ısınması, takım geometrisi, işlenen malzemenin yüzey kalitesi gibi parametreler üzerinde çalışılmıştır.

MMK malzemenin üretim yöntemlerinin, işlenebilirlik üzerinde önemli etkilerinin olduğu sonucuna varılmıştır. Katı hal yöntemleriyle üretilen parçacık takviyeli MMK malzemelerin işlenmesinde, daha az sertliğe sahip takımların kullanılabilmesi ancak son bitirme işlemlerinde ÇKE takımların kullanılmasının gerekli olduğu belirtilmiştir. Kesici takım seçiminin, kompozit malzeme içerisindeki takviye elemanının cinsi ve hacimce oranı dikkate alınarak yapılmasının önemi vurgulanmıştır. Talaşlı işlemler sırasında meydana gelen takım aşınmalarının en önemli sebebi olarak takviye elemanlarının sertliği gösterilmiştir. Takviye elemanlarının genellikle koparak matris malzemesinden ayrıldığı ve takım ucunda yığılmalara neden olduğu birçok çalışmada ifade edilmiştir. Ayrıca kopan takviye

parçacıklarının işlenen yüzeye yapışması veya boşluklar oluşturmasının da yüzey kalitesini olumsuz yönde etkilediği belirtilmektedir.

Kesici takımların SEM incelemeleri sonucunda abrasiv aşınma mekanizmasının etkili olduğu, kesme hızının artmasıyla takım aşınmasında arttığı ifade edilmektedir. İşlemede kullanılan soğutma sıvısının kesici takım aşınmasında herhangi bir etkisinin olmadığı ancak, yüzey kalitesini iyileştirdiği tespit edilmiştir. Talaş kaldırma sırasında oluşan yüksek sıcaklıklar sonucunda malzemenin yüzeyinde ve takım ucunda kalıcı deformasyonlar olduğu hatta kırılmalara neden olduğu belirtilmektedir. Yapılan çalışmalarda, kesme hızının ve kesici kesme açısının, kesme kuvvetlerine önemli etkisinin olmadığını, kesme kuvvetinin ilerleme miktarı ve kesme derinliğinin artması ile arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca kesme hızı, kesme derinliği ve kesici kenar açısının yüzey pürüzlülüğünü çok az etkilediği, asıl etkili parametrenin ilerleme miktarı olduğu bildirilmiştir.

Yapılan işlenebilirlik çalışmalarından genel olarak bir sonuç çıkartıldığında, kesici takım performansı açısından en iyi takımın ÇKE, daha sonra KBN olduğu söylenebilir. Ayrıca düşük kesme hızlarında ve kaba talaş işlemlerinde sementit karbür (SK) kesici takımların kullanılabileceği ve daha ekonomik olacağıda ifade edilmektedir.

2.3.3. Genel değerlendirme

Literatürde yer alan çalışmalar genel olarak ele alındığında, kompozit malzemelerin üretimiyle ilgili çalışmalarda, ağırlıklı olarak katı hal yöntemlerinden toz metalurjisinin daha çok yer aldığı görülmektedir. Özellikle, MMK malzemelerin kararlı yapı sergilemesi istendiğinden, TM yönteminin avantajları değerlendirilmiştir.

MMK üretim yöntemlerinden sıvı hal yöntemleri de oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. İnfiltrasyon yöntemleri ile MMK üretimi, TM yönteminden sonra ikinci sırada değerlendirilebilir. İnfiltrasyon yöntemin uygulamada basit olmasının yanında, her malzemede istenilen homojeniteyi sağlayamaması bu yöntemin

dezavantajı olarak söylenebilir. Literatürde yer alan çalışmalarının çoğunluğunun basınçlı infiltrasyon yöntemi ile MMK üretimi olmasını, daha homojen yapı elde edebilmek için yapılmış araştırmalar olarak değerlendirmek mümkündür.

MMK malzeme üretiminde, genel olarak Al ve alaşımı matris elemanları tercih edilmiştir. Takviye malzemesi olarak en yaygın kullanılan malzemenin ise SiC olduğu yapılan literatür araştırmasından görülmektedir. Magnezya (MgO) takviyeli MMK üretimi, diğer takviye malzemelerine göre çok fazla araştırılmadığı görülmektedir. Bu çalışmada, MgO takviye malzemesi kullanılarak, vakumlu infiltrasyon yöntemi ile büyük kesitte MMK üretilmiş olması, çalışmanın orijinalliği açısından önem arz etmektedir.

MMK malzemelerin işlenebilirlikleri ele alındığında da genellikle Al matrisli ve SiC kompozitler üzerine yapılan çalışmalar literatürde çoğunluğu oluşturmaktadır. İşleme deneyleri farklı yöntemlerle gerçekleştirilmekle beraber, tornalama yöntemi daha fazla araştırılmıştır. Daha çok ÇKE ve KBN takımlar kullanılmakla beraber SK takımlar da işleme deneylerinde yer almaktadır. Literatür sonuçlarına bakıldığında en iyi performansın ÇKE, daha sonra KBN takımlarla elde edildiği görülmektedir. Ancak, SK takımların fiyat avantajı açısından ön işlemlerde kullanılması da tavsiye edilmektedir.

İşleme deneylerinde elde edilen kesme kuvvetleri değerlendirilecek olursa, ilerleme kuvveti ve radyal kuvvetin, asıl kesme kuvvetinin yaklaşık olarak % 50'si kadar olduğu söylenebilir. Kesici takımlarda, takım aşınmalarını abrasiv aşınma mekanizması ile açıklandığı ve genellikle takım uç kısmında yığıntı talaş (BUE) gözlendiği ifade edilmektedir. Takım aşınmalarının en önde gelen sebebi olarak MMK malzeme içerisindeki sert fazdaki takviye malzemesi ve takviye malzemesinin oranı gösterilmektedir.

Literatürden çıkartılan önemli bir sonuç da, MMK malzemelerin işlenmesinde soğutma sıvısının kullanımının yüzey kalitesini iyileştirdiği ve yüzey pürüzlülüğü

üzerindeki en etkili unsurların, işlemedeki ilerleme miktarı ve kompozit malzeme içerisindeki takviye elemanı olduğudur.

İşlemede meydana gelen kesme kuvvetlerinin ise talaş derinliğine ve ilerleme miktarına bağlı olarak değişim gösterdiği belirtilmektedir.

Özellikle seramik takviyeli MMK'ların işleme maliyetlerinin azaltılması ve yüzey kalitesinin iyileştirilmesi amacıyla farklı kesici takımlarla işleme özelliklerinin optimum değerlerinin tespit edilmesi gerekmektedir. Ayrıca, yapılan işlenebilirlik deneyleri sonucunda elde edilen verilerin, Vakumlu İnfiltrasyon yöntemiyle üretilen kompozit malzemeler üzerinde gerçekleştirilen ikincil işlemlere örnek teşkil edeceği düşünülmektedir [16].

3. KOMPOZİT MALZEMELER

3.1. Kompozit Malzemenin Tanımı ve Genel Özellikleri

Geleneksel mühendislik malzemeleri olarak adlandırılan metal, seramik ve polimer malzemelere ilave olarak kompozit malzemeler de ayrı bir grup mühendislik malzemesi olarak tanımlanmaktadır [107]. Kompozit malzemelerin birden fazla tanımı olmakla beraber, “iki veya daha fazla metal veya metal olmayan ya da biri metal diğeri metal olmayan malzemenin iyi özelliklerinin bir başka malzeme de bir araya getirilmesi ile oluşturulan yeni özellikteki malzemelere kompozit adı verilmektedir” ifadesi yaygın olarak kullanılan tanımıdır.

Bir başka tanımlama ise “aynı veya farklı gruptaki malzemelerin en iyi özelliklerini yeni ve tek bir malzeme de toplamak amacıyla, birbiri içerisinde çözünmeyen ve birbirlerinden farklı şekil ve/veya malzeme kompozisyonuna sahip iki veya daha fazla makro bileşenin karışımından veya birleşmesinden oluşan bir malzeme sistemi” şeklinde yapılmaktadır [16]. Uygulamada, kompozit malzeme üretiminde genellikle aşağıdaki özelliklerden birinin veya bir kaçının geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu özelliklerin başlıcaları;

- Mekanik dayanım, basınç, çekme, eğilme, çarpma dayanımı,
- Yorulma dayanımı, aşınma direnci,
- Korozyon direnci,
- Kırılma tokluğu,
- Yüksek sıcaklığa dayanıklılık,
- Isı iletkenliği veya ısı direnci,
- Elektrik iletkenliği veya elektriksel direnci,
- Akustik iletkenlik, ses tutuculuğu veya ses yutuculuğu,
- Rijitlik,
- Ağırlık,
- Görünüm

şeklinde sıralanabilir [108].

Teknolojik gelişmelerin temelinde malzeme alanındaki ilerlemeler ve yeni buluşlar etkili olmaktadır. Günümüzde malzeme bilimi tek bir dal olmayıp, metaller, ametaller, organikler, inorganikler, polimerler, kompozitler gibi alt kollara ayrılmıştır. Kompozit malzemeler bu gruplar içerisinde en önemlilerinden biri olup çok geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Son yıllarda geleneksel malzemelere göre daha üstün özelliklere sahip kompozit malzemelerin kullanım ihtiyacı artmakta ve pek çok çeşit kompozit malzeme üretilmektedir.

3.2. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Günümüzde üretilen kompozitler ve üretim yöntemleri çok çeşitli olduğundan ayrıca bir sınıflandırma yapılmıştır. Kompozit malzemeler değişik biçimlerde sınıflandırılmakla birlikte, genellikle kullanılan matris malzemesi ve takviye elemanının şekline ve cinsine göre sınıflandırmak mümkündür.

3.2.1. Matris malzemesine göre kompozitler

Kompozitler, üretiminde kullanılan matris malzemelerine göre üç gruba ayrılmaktadır:

- Polimer matrisli kompozitler
- Seramik matrisli kompozitler
- Metal matrisli kompozitler

Polimer matrisli kompozitler matris malzemesi polimer olan kompozit çeşididir. Polimer matrisli kompozit malzemeler 1940'lı yıllardan itibaren havacılık sektöründe kullanılmak üzere geliştirilmeye ve üretilmeye başlanmıştır. Çelik ve alüminyum alaşımları gibi geleneksel mühendislik malzemelerin yerine daha düşük ağırlıklı fakat sertlik , aşınma ve kırılma dayanımı gibi mekanik özellikleri geliştirilmiş, aynı zamanda daha esnek malzemelerin üretilmesi amaçlanmıştır. Bu kompozit türü,

düşük yoğunluk, ekonomiklik, kolay üretilebilirlik, mekanik özelliklerinin iyi olması ve yalıtkanlık gibi özelliğinden dolayı endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır.

Polimer matrisli kompozitlerde kullanılan plastik matrisler, Termoset ve Termoplastik olmak üzere iki çeşittir. Bu plastik malzemelerin ısıya karşı davranışları birbirinden farklıdır. Polimer matrisli kompozitlerde, matris malzemesi için en çok kullanılan malzeme termoset esaslı malzemelerdir. Bu malzemelerin üretiminde bir defaya mahsus ısıtılıp biçim verilir, bundan sonra malzemeye tekrar ısı verilip şekil elde edilemezler. Onun için bu malzemelerin geri dönüşümü olmadığından tekrar kullanılamazlar. Termoplastik matrisler termoset plastik matrislerin aksine geri dönüşüm olan malzemelerdir. Bu malzemelere üretimin sonunda da ısıtma soğutma yapıp tekrar hazır hale getirilebilir. Isıtma, soğutma işlemlerin de termoplastik matrislerin sadece fiziksel özellikleri değişir, kimyasal özelliklerinde bir değişiklik olmaz [109]. Kompozit malzemelerin sıcaklık dayanımını büyük oranda matris malzemesi belirler. Plastik esaslı kompozitlerin ısı dayanımlarının düşük olması onların bir dezavantajıdır [4].

Seramik matrisli kompozitlerde, Al_2O_3 , SiC, Si_3N_4 , B_4C gibi seramik özellikli matris malzemeleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Seramik malzemeler, yüksek sıcaklığa dayanıklı ve hafif oldukları için genellikle yüksek sıcaklıkta çalışması gereken parçalar için kullanılırlar. Sert ve kırılğan malzemeler olan seramik malzemeler, çok düşük kopma uzaması gösterirler, düşük tokluğa sahiptirler ve termal şoklara karşı dayanıksızdırlar. Bu nedenle liflerle takviye edilirler. Buna karşılık çok yüksek elastiklik modülüne ve çalışma sıcaklıklarına sahiptirler.

Üç çeşit seramik matrisli kompozit malzeme vardır:

- Sürekli fiberli kompozitler
- Süreksiz fiberli kompozitler
- Partiküllü kompozitler

Sürekli fiberlerle takviye edilmiş seramik matrisli kompozit malzemede matris zayıflasa bile fiberler, uygulanan yükü taşımaya devam ederler. Sürekli fiberlerin

tokluklarının diğerlerine göre daha yüksek olması, tercih edilme nedenlerini arttırmıştır. Özellikle iki çeşit fiberin kullanımı, seramik matrisli kompozitlerin üretiminde daha yaygındır. Bunlar; silisyum karbür (SiC) ve alümina (alüminyum oksit) dir. Silisyum karbür, üretim tekniklerine uygun ve elde edilmesi daha kolay olduğu için tercih edilmektedir [110].

Metal Matrisli Kompozit (MMK), ana malzemesi (matris) metal olan kompozit malzeme grubuna verilen genel isimdir. Matris malzemeleri çok çeşitli metal ve metal alaşımı olabilmektedir. MMK'larda en yaygın olarak kullanılan matris malzemesi, düşük yoğunluklu, iyi tokluk ve mekanik özelliklere sahip olan hafif metaller ve alaşımlarıdır [16].

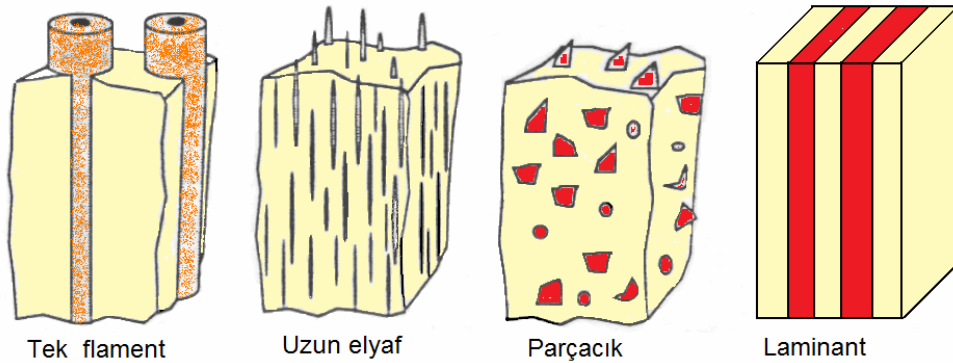
Metallerin ve metal alaşımlarının birçoğu yüksek sıcaklıkta bazı özellikleri sağlamalarına rağmen kırılğan olmaktadır. Fakat metalik fiberler ile takviye edilmiş metal matrisli kompozitler her iki fazın uyumlu çalışması ile yüksek sıcaklıkta da yüksek mukavemet özelliklerini vermektedir. Metal matrisli kompozit malzemelerin takviyesiz metallere ve polimer matrisli kompozitlere göre küçümsenmeyecek avantajları mevcuttur [111]. Bunlar:

- Düşük ağırlık oranında yüksek dayanım,
 - Mükemmel boyutsal tamlık (tekrar üretilebilirlik),
 - Yüksek sıcaklıkta kararlılık (sürünme direnci),
 - Yüksek mukavemet (çekme, basma, yorulma, aşınma ve kayma),
 - Metallerin süneklik ve tokluk, seramiklerin yüksek mukavemet ve yüksek elastik modül özelliklerini birleştirme,
 - İyi korozyon direnci,
 - İyi elektrik ve ısı iletkenlik,
 - Geliştirilebilir montaj kabiliyeti,
 - Radyoaktif dayanıklılık,
 - Çekicilik ve estetik görünüm
- olarak sıralanabilir [16].

3.2.2. Takviye elemanının şekline göre kompozitler

Kompozit malzemeler, özelliklerini daha çok kullanılan takviye elemanlarından kazanmaktadır. Matris malzemesi ile uyumlu bir takviye elemanı sayesinde istenilen üstün özellikleri elde etmek mümkündür. Takviye malzemesi olarak genelde oksit, karbür veya nitrür bileşimleri yaygın olarak kullanılmaktadır [12]. Kompozit malzemelerin üretimlerinde kullanılan takviye elemanları şekline göre dört çeşide ayrılabilir (Şekil 3.1):

- Tek filament
- Uzun ve kısa elyaf (fiber)
- Parçacık
- Laminant (katmanlı)



Şekil 3.1. Takviye elemanının şekline göre kompozit çeşitleri [12]

Uygun matris/takviye elemanı seçiminin, kompozit malzemenin mekanik ve fiziksel özellikleri üzerine etkisi büyüktür. Çünkü kompozit malzeme içerisinde matrisler tarafından yükün takviye elemanına iletilmesinde matris ile takviye elemanı arasındaki ara yüzey bağının da kuvvetli olması ve böylece malzemenin termodinamik dengesinin kurulması gerekmektedir. Ara yüzey bağının kuvvetli olması ise bileşenlerin uyumuna ve matrisin ıslatabilirlik özelliğine bağlıdır. Bunun yanı sıra, üretim tekniği seçimi dışında takviye elemanlarının matris içerisinde homojen dağılımı, matris ve takviye elemanı çiftlerinin uygun seçimine bağlıdır.

Bundan dolayı en uygun matris ve takviye çifti seçilmelidir [112]. Kompozit malzemeleri detaylı olarak belirtmek için kullanılan matris ve takviye elemanını belirterek ifade edilmesi yaygın bir uygulamadır (Al matris, Ti matris, SiC fiber, Al₂O₃ parçacıklı veya Al / SiC kompozitler gibi) [12].

3.3. Kompozit Malzemelerin Avantaj ve Dezavantajları

Kompozit malzemelerin, metallere göre avantaj ve dezavantajları aşağıdaki gibi özetlenebilir [110]:

Avantajları:

- Çatlak ilerlemesi olayı en aza indirilmiştir.
- Titreşim ve darbeleri absorbe etme özelliği sağlanmıştır.
- Kompozitlerden bazıları çok yüksek akma sınırı (akma gerilmesi) değerlerine sahiptir
- Korozyona karşı dayanıklıdır.
- Kopma uzaması metallere göre daha yüksektir.
- Yorulma dirençleri oldukça yüksektir.
- Ağırlıkça daha hafiftir.

Dezavantajları:

- Metallere yapışmazlar.
- Fırınlamadan (pişirmeden) kullanılamazlar.
- Değişik doğrultuda değişik mekanik özelliklere sahiptir.
- Aynı kompozit malzemeler için çekme, basma, kesme, eğilme mukavemet değerleri farklıdır.
- Üretimi nispeten pahalıdır.
- Nem ve hava zerrecikleri, kompozitlerin mekanik ve yorulma özelliklerini olumsuz yönde etkiler.
- Delik delme ve kesme türü işlemler liflerde açılmaya yol açmaktadır.

3.4. Metal Matrisli Kompozitler

Metal Matrisli Kompozitler (MMK), ana yapıyı metalin oluşturduğu ve takviye elemanı olarak da seramik veya refrakter bir takviye elemanın kullanıldığı kompozitlerdir. Bu malzemelerin seçiminde hemen hemen hiçbir sınırlama yoktur. Deneysel çalışmalara bakıldığında çok farklı türlerin kullanıldığı göze çarpar. Son 45-50 yıldır MMK'ler ile ilgili pek çok araştırma yapılmış ve literatürde olumlu şekilde yer almıştır [113,114]. Ancak bunların optimum kullanım şartlarının belirlenmesinde ve pratikte kullanılmasında temel bazı şartlar aranır. Bunları şöyle sıralamak mümkündür;

- Yüksek elastikiyet modülü.
- Yüksek mukavemet.
- Yüksek tokluk ve darbe özellikleri.
- Yüksek elektrik ve termal iletkenlik.
- Isıl şoklar ve sıcaklık değişikliklerine karşı düşük hassasiyet ve iyi sürünme direnci.
- Sürekli mükemmel özellik.
- İyi yüzey dayanımı ve yüzey çatlaklarına karşı düşük hassasiyet.
- Tasarım, üretim, biçimlendirme, birleştirme ve son işleme bakımından mükemmel teknolojik birikim [115,116].

MMK malzemeler, geleneksel mühendislik malzemelerine göre yüksek dayanım, düşük ağırlık oranı, güçlendirilmiş mekanik ve ısıl özellikler ve kolay şekillendirilmelerinden dolayı çok çeşitli uygulamalarda ilgi görmektedir. MMK 'lar, uzay ve havacılık, otomotiv ve demiryolu taşıtları, elektronik ve ısıl sistemler, güç iletimi, eğlence ve spor ürünleri, aşınma dirençli malzemeler gibi endüstriyel alanlarda giderek artan bir ilgiyle kullanılmaya devam etmektedir [111].

MMK'lar rijitlik, hafiflik, yakıt tasarrufu ve dolayısıyla çevreye daha az emisyon yayılması nedeniyle, özellikle otomotiv sektöründe çok yaygın bir şekilde

kullanılmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda çalışma, ısıl genleşme katsayısının düşük, yorulma direnci ve mekanik özelliklerinin çok iyi olmasından dolayı otomobillerin motor parçalarının (motor blokları, biyel kolu, piston, silindir kapağı, valf gövdesi, eksoz parçaları vb.) yapılmasında, özellikle Al-Si alaşımı matrisli, parçacık takviyeli kompozitler kullanılmaktadır. Havacılık ve uzay sanayisinde MMK'ların benzer uygulamalarını görmek mümkündür. Kompresör diskleri, pervaneler, vanalar, jet motoru rotorları ve füze kılavuz elemanları metal matrisli kompozitlerden başarılı olarak üretilmektedir. Titanyum alaşımları daha yüksek sıcaklık direnci nedeniyle uçak motorlarında, özellikle kompresör pervanesi ve disklerinde kullanılmaktadır. Yakın gelecekte metal ve seramik esaslı kompozitlerin jet motorları ve uçak çerçevelerinin üretiminde geleneksel malzemelerin yerini alacağı sanılmaktadır. Diğer yandan spor ve eğlence sektörü incelendiğinde, tenis raketleri ve golf sopalarının yapımında SiC_p/Al kompozitlerin yoğun olarak kullanıldığı görülmektedir. Ayrıca, karbon elyaf takviyeli kompozitler ise, oltalar ve tenis raketleri yapımında tercih edilmektedir [111,117].

3.4.1. MMK'larda kullanılan matris malzemeleri

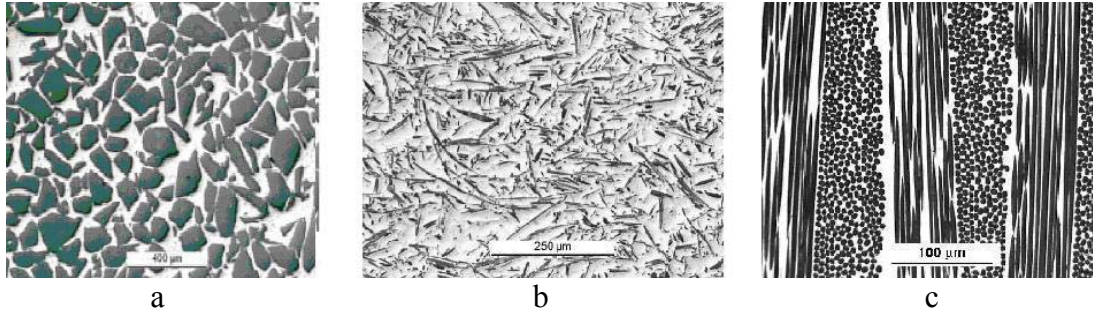
MMK'lerdeki matris malzemelerinin en önemli görevi takviye elemanlarını bir arada tutmaktır. Ayrıca kompozit malzemeye gelen yüklerin homojen bir şekilde takviye elemanlarına aktarılması ve takviye elemanlarının aşınmaya karşı korunması da matris malzemeleri tarafından sağlanmaktadır. Bunların dışında, MMK malzemelerin mekanik özelliklerini ağırlıklı olarak matris elemanı belirlemektedir. MMK'lerde matris malzemesi seçiminde; takviye elemanı ile uyum, hafiflik, yüksek dayanım, korozyon ve ısıya karşı direnç gibi özellikler dikkate alınmaktadır. Metal matrisli kompozitler için hemen hemen bütün mühendislik malzemeleri matris olarak kullanılabilir. Bunların başlıcaları Al, Ti, Mg, Cu, Fe, Co, Mo, ve Ni gibi metaller ile bunların alaşımlarıdır [12]. Bunların içerisinde Al, Ti ve Mg diğerlerine göre çok daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle Al, otomotiv ve havacılık endüstrisinin vazgeçilmez malzemesi durumuna gelmiştir. Son yıllarda, Mg'un da çok hafif bir metal olması sebebiyle özellikle otomotiv endüstrisinde kullanımı artış göstermektedir.

3.4.2. MMK’larda kullanılan takviye elemanları

MMK malzemelerin üretiminde matris malzemesi kadar takviye elemanı da önemli yer tutar. Takviye elemanları matris malzemesi ile uyumlu ve matris tarafından kolay ıslatılabilme özelliğine sahip olmalıdır. Bu elemanlar kompozit malzeme üzerindeki yükü taşıyarak matris malzemesinin dayanımını arttırmaktadırlar. MMK’lerde genellikle seramik esaslı takviye elemanları yaygın olarak kullanılmaktadır. Metal matrisli kompozitlerde yaygın olarak kullanılan takviye elemanları Al_2O_3 , SiC, B_4C , TiB_2 , TiC, WC, W, C ve MgO dur. Kompozitlerde kullanılan takviye elemanları Şekil 2.2’de görüldüğü gibi; tek filament, uzun-kısa fiberler (vişkerler), parçacıklar veya laminant (katmerli) şeklinde olabilirler.

Takviye elemanı seçiminde dikkate alınması gereken hususlar ; elastikiyet modülü, çekme dayanımı, yoğunluk, ergime sıcaklığı, kimyasal kararlılık, ısıl genleşme katsayısı, boyut ve şekil, matris malzemesiyle uyumluluk, maliyet şeklinde sıralanabilir [118].

Doğada bir çok seramik parçacık halinde bulunduğundan, bunlar parçacık takviyeli kompozitler için geniş bir aralıkta takviye potansiyeline sahiptir. Parçacık takviyeli kompozitlerin ; uzun veya kısa fiberlilere göre daha ucuz olması, toz metalurjisi ve döküm gibi üretim teknikleri ve bunu takiben haddeleme, dövme, ekstrüzyon gibi geleneksel ikincil işlemlere uygunluğu, rijitlikleri ve aşınma dayanımlarının yüksek olması gibi avantajları vardır. Uygulamalarda mukavemetin yüksek olması gerektiği durumlarda, kısa fiberler veya vişker katkılı kompozit malzemeler kullanılır. Rijitlik ve mukavemetin en iyi kombinasyonunu ise yüksek maliyete sahip sürekli fiber katkılı metal matrisli kompozitler sağlar [110]. Şekil 3.2’de bu MMK’lerin SEM görüntüleri verilmiştir.



Şekil 3.2. Takviye malzemesinin geometrisine göre metal matrisli kompozitlerin SEM görüntüleri, a- Parçacık b- Kısa fiber c -Sürekli fiber [110].

Parçacık olarak adlandırılan takviye elemanları genelde seramik parçacıklar, elmas tozları, grafit ve karbondan elde edilmiş 1 μm 'den büyük tanelerdir. Çizelge 3.2'de çeşitli parçacık takviye elemanlarına ait bazı teknik veriler yer almaktadır [16].

Çizelge 3.1. Çeşitli parçacık tipindeki takviye elemanlarının tipik özellikleri [16]

Takviye elemanı	Yoğunluk gr/cm^3	Ergime noktası $^{\circ}\text{C}$	Sertlik Mohr	Isı iletkenliği $\text{KCal/sa/cm}^{\circ}\text{C}$	Isıl genişleme katsayısı $20\text{-}800^{\circ}\text{C}$
SiC_p	3,2	2320	9,2	35,83	4,68
Al_2O_3	3,2-3,8	2015	9	2,04	7,9
C	1,6	-	-	4-7	2,5
Grafit	1,6	-	-	104-127	1,8
SiO_2	-	1727	7	1,37	43
WC	-	-	9	-	6,12
TiC	-	-	8-9	14,73	7,38
Zr_2O	-	2600	7-8	0,79	5,5

Magnezya (MgO)

Magnezyum (Mg) % 2'lik oranla tabiatta en çok bulunan sekizinci elementtir. Saf haldeki Mg yalnız başına olduğunda mekanik özellikleri sıradan bir metal olmakla birlikte, alüminyum, çinko, mangan gibi metallerle alaşım yaptığında bu metallere üstün mekalic özellikler kazandırmaktadır.

Magnezyum bileşiklerinden birisi de magnezya adı verilen magnezyomoksit (MgO) tir. Türkiye’de ilk magnezya üretimi 1929 yılında başlayarak 1962 yılına kadar düşük miktarlarda devam etmiştir. 1962 yılından itibaren miktar giderek artmıştır. Ülkemizde KÜMAŞ, doğal sinter magnezya üreticisi olmaya devam etmektedir.

Magnezya bazik özellikteki bir metal oksittir. Magnezya büyük oranda magnezit ve magnezyum karbonatın ($MgCO_3$) söndürülmesinden (kalsine edilmesinden) üretilmektedir. Diğer önemli magnezya kaynakları da deniz suyu, yeraltı tuz yatakları ve tuzlu sularda bulunan magnezyum hidroksittir ($Mg(OH)_2$). Magnezya, çelik yapım proseslerinde kullanılan refrakterlerin en önemlilerinden birisidir. Magnezya’nın önemi onun; yüksek refrakterlik özelliğinden, kabul edilebilir düzeydeki hidrasyon direncinden, yüksek sıcaklık ve bazik ortamlardaki kimyasal kararlılığından kaynaklanmaktadır. $700\text{ }^{\circ}\text{C} - 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’larda kalsine edilmiş magnezya, asitlerin nötrleştirilmesinde ve plastik uygulamalarında, $1000\text{ }^{\circ}\text{C} - 1500\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’larda kalsine edilen magnezya, kimyasal aktivitesinin düşük olmasından dolayı gübre ve hayvan yemi üretiminde kullanılmaktadır.

Ayrıca, $2650\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’un üzerinde kalsine edilmiş magnezya; iyi refrakter özelliği, yüksek korozyon direnci, yüksek ısıl iletkenlik, düşük elektrik iletkenliği, infiraruj ışınlarını geçirgenliği gibi özelliklerinden dolayı refrakter üretimi ve elektrik uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır [119].

Çizelge 3.2. Saf magnezyanın bazı fiziksel özellikleri [12]

Yoğunluk (kg/m^3)	3580
Ergime sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	2850
Isıl genleşme katsayısı ($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	14
Termal iletkenlik (W/m.K)	32 - 60
Özel ısı kapasitesi (J/kg.K)	900-1350

Bunlara ilave olarak, çelik endüstrisinde korozyon direnci yüksek karbon emdirilmiş refrakter tuğla olarak, magnezya sipinel veya krom kombinasyonları şeklinde demir

alaşımları, demir dışı alaşımlar, çimento ve cam sanayinde refrakter tuğla olarak kullanılmaktadır. Dökülebilir ve püskürtülebilir magnezya, çelik transfer uygulamalarında astar malzemesi olarakta kullanılır. Süper alaşım endüstrisi, nükleer enerji ve kimya sanayiinde magnezya krozeler kullanılır. Potaların 2400 °C'da havada, 1700 °C'da indirgeyici atmosferde, 1600 °C'da vakum altında ve 1400 °C'da da hidrojen ortamında kararlı olduğu literatürde görülmüştür.

Magnezya tozları elektrikli ısıtıcılar, bulaşık makineleri ve pişirme fırınlarında kontaktör, dizel motorlarında ateşlemede, subap uygulamalarında takviye elemanı olarak kullanılır. Ektrüze edilmiş magnezya ısıl çift uygulamalarında çevre etkilerden koruyucu örtü olarak kullanılır. Termo mekanik özelliklerinden dolayı fren sistemlerinde takviye elemanı, elektro-optik özelliklerinden dolayı plazma gösteri ekranlarında koruyucu film olarak kullanılmaktadır. Ayrıca ,yüksek saflıktaki magnezya ince yarı iletken filmlerde kullanılır [12].

Silisyum karbür (SiC)

Silisyum doğada en çok bulunan elementlerden biridir. 1824 yılında Berzelius tarafından bulunmuştur yarı metaldir. Koyu gri renklidir ve oda sıcaklığında katı haldedir. Yerkabuğunun yaklaşık % 25,7' si bu elementten oluşur. Silisyum doğada silikat asidi ve tuzları halinde bulunur ve bir çok alanda kullanılır. Oksijenden sonra bileşikleri halinde en fazla bulunan elementtir. Silisyum oksit (SiO₂) doğada kum ve kuartz şeklinde bulunur [120].

Silisyum karbür (SiC) çok sert ve aşındırıcı bir malzemedir. Seramik malzeme grupları içinde; yüksek aşınma direnci, düşük sürtünme katsayısı, yüksek ısıl şok mukavemeti, uygun ısıl genleşme ve iletkenlik katsayısı gibi üstün özellikleri nedeniyle ile gaz tribünlerinde ve aşınmaya maruz otomobil parçalarında kullanımı büyük önem kazanmıştır [121].

Çizelge 3.3. SiC'ün bazı mekanik ve fiziksel özellikleri [16]

Yoğunluk (g/cm ³)	3,2
Elastikiyet modülü (GPa)	410
Sertlik (HBN)	2800
Isıl iletkenliği (W/m.°K)	120
Isıl genleşme katsayısı (10 ⁻⁶ /°C)	4
Kullanım sıcaklığı (°C)	1650

SiC, matris malzemesine kazandırdığı üstün fiziksel ve mekanik özelliklerden dolayı, alüminyum ve alüminyum alaşımlı MMK malzemelerin üretiminde çok yaygın olarak kullanılan seramik bir takviye elemanıdır.

3.5. Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

Metal matrisli kompozit malzemelerin, geleneksel malzemeler karşısında üstün mekanik özellikler sergilemesi, son yıllarda bu malzemelerin üretim teknikleri üzerinde daha yoğun çalışmalar yapılmasına yol açmıştır. Ancak tüm kompozit üretim yöntemleri, geleneksel malzeme üretim yöntemleri ile karşılaştırıldığında, matris ve takviye fazı arasındaki etkileşimler nedeniyle karmaşık oluşuyla dikkat çekmektedir. Metal matrisli bir kompozit malzemenin üretim tekniği; üretilecek parçanın şekline, istenilen mekanik ve fiziksel özelliklere, matrise, takviye elemanı şekli ve türüne göre belirlenir [122].

Metal matrisli kompozit (MMK) malzemelere üstün özellikler kazandırabilmenin yolu, üretimleri sırasında metal ve seramikler gibi farklı iki malzeme grubunun en iyi özelliklerini bir arada toplamaktan geçmektedir. Metaller çoğu zaman yüksek sıcaklıklarda dayanım ve tokluk özellikleri iyi fakat eğilip bükülmeye karşı göstermiş oldukları dayanım özellikleri düşük bir malzeme grubudur. Seramikler ise metallerin aksine eğilip bükülmeye karşı yüksek direnç gösteren, yüksek aşınma dayanımlı fakat darbe direnci düşük kırılmaya meyilli bir malzeme grubudur. Metal matrise, yüksek dayanımlı ve yüksek elastik modüllü seramik parçacıklar ilave edilerek elde edilen bir malzemenin mekanik özellikleri, genellikle bu iki malzemenin özelliklerinin bileşkesi olarak elde edilebilir [123]. Kompozit malzemelerin mekanik

özellikleri matris ile takviye elemanı ikilisinin uyumlu ve iyi bir bağ oluşturmalarına bağlıdır. Bu bağların kalitesi, seçilen üretim yöntemi ile yakından ilgilidir.

Üretim yöntemleri üç ana grup altında toplanabilir [124].

- Sıvı hal yöntemleri
- Katı hal yöntemleri
- İn-situ yöntemler

3.5.1. Sıvı hal üretim yöntemleri

Sıvı hal üretim yöntemlerinde, kullanılacak olan matris malzemesi ergitilerek, takviye elemanı ile herhangi bir yöntemle bir araya getirilmek suretiyle matris ve takviye elemanı arasında bağ oluşturulmaktadır.

Sıvı hal üretim yöntemleri MMK malzemelerin üretilmesinde en ekonomik üretim yöntemi olarak görülmesine rağmen bir takım problemler içermektedir. Bunlar; seramik parçacıkların homojen olmayan dağılımı, aşırı ara yüzey reaksiyonları, parçacıkların matris içinde topaklanması, mekanik karıştırma esnasında parçacık kırılması ve takviye elemanı ile matris malzemesi arasındaki zayıf ıslatma olarak sıralanabilir [118,125]. Bunun yanında sıvı hal üretim yöntemlerinin maliyeti katı hal üretim yöntemlerinin maliyetinden daha düşüktür ve karmaşık şekilli parçaları son şekline yakın geometride elde edilebilmesine imkan sağlar [126]. Sıvı hal üretim yöntemleri, seri ve düşük maliyetli üretim şekli olması sebebiyle MMK'ların üretiminde önemli bir yer işgal etmektedir.

Yaygın olarak kullanılan sıvı hal yöntemlerini aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür:

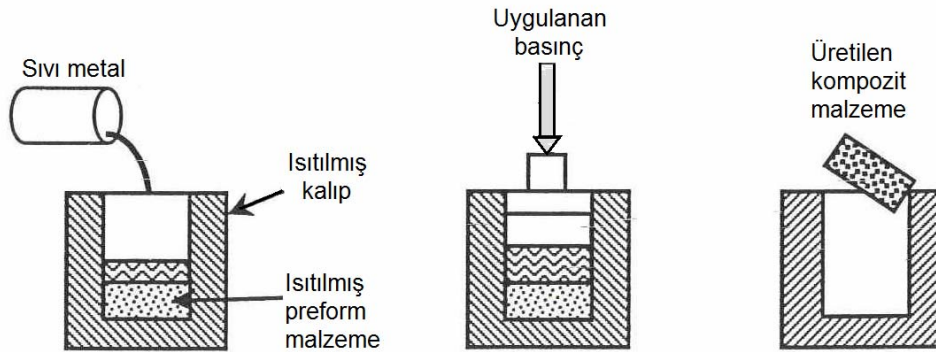
- Sıkıştırılmalı döküm
- Basınçlı döküm
- Yarı katı döküm

- Karıştırmalı döküm
- Püskürtme çökmesi
- İnfiltrasyon

Sıkıştırılmalı döküm yöntemi

Bu yöntemde, ön ısıtma yapılmış metal bir kalıp içerisine yerleştirilen, seramik fiber veya başka bir takviye malzemesinden oluşmuş ön şekil verilmiş (preform) blok malzemeye, 70 MPa - 100 MPa basınç altında ergiyik metal emdirilmekte, böylece sıkıştırılan ergiyik metale yüksek basınç uygulanarak katılaştırılması işlemi yapılmaktadır (Şekil 3.3).

Sıkıştırılmalı döküm yöntemindeki yüksek basınç ve katılaşmadan dolayı, parçalarda gözenek, gaz boşlukları ve çekme gibi döküm hataları yok denecek kadar az görülmektedir.



Şekil 3.3. Sıkıştırılmalı döküm yöntemi işlem basamakları [127]

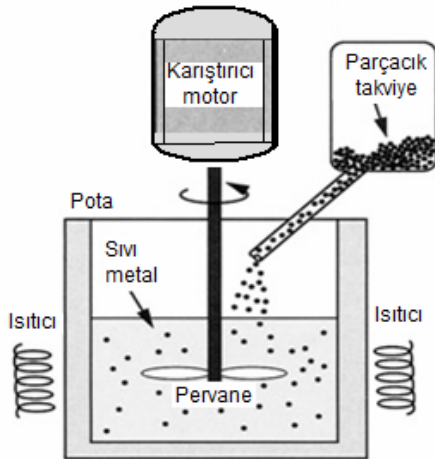
Sıkıştırılmalı döküm yöntemi, yüksek hassasiyetli mühendislik parçalarının üretilmesinde kullanılmaktadır. C, SiC, Al₂O₃ ve paslanmaz çelik fiber gibi çoğu takviye malzemesi, ergiyik metalle uygun bir şekilde ıslanmadıkları için, infiltrasyon yöntemiyle kompozit malzeme üretimi zordur. Buna karşılık, sıkıştırma döküm tekniğinde ergiyik metal, fiber demetlerinden oluşan ön şekil içerisine basınç

yardımıyla emdirilir, böylece absorbe olmuş ve sıkışmış gazlarda dışarı atılır. Sıkıştırma döküm yöntemiyle üretilen kompozit malzemelerin kalitesini etkileyen bazı faktörleri; kalıp ön ısıtma sıcaklığı, uygulanan basınç miktarı, sıkıştırma hızı ve takviyeler arası boşluk olarak sıralayabiliriz.

Yüksek basınç gerektirmesi ve parça boyutunda sınırlamalara neden olması bu yöntemin en büyük dezavantajı olmakla birlikte, pratik kullanımda sıkıştırma döküm yöntemi, kısa zamanda, karmaşık şekilli MMK parça üretimi için en verimli yöntem olarak görülmektedir [122].

Karıştırmalı döküm yöntemi

Karıştırmalı döküm yönteminde, ön ısıtma işleminden geçmiş takviye elemanları, sürekli olarak karıştırılan sıvı metal içerisine ilave edilmektedir. Matris malzemesini oluşturan sıvı metal içerisindeki, takviye elemanı parçacıklarının homojen olarak dağılımı sağlandıktan sonra, sıvı metal kalıplara dökülerek katılaşmaya bırakılmaktadır. Şekil 3.4'te bu yöntemin şematik görünüşü verilmiştir.



Şekil 3.4. Karıştırmalı döküm ünitesi [16]

Bu yöntemle homojen bir yapı elde edilmekle beraber, malzemedeki gözenek ve boşluklar sık sık karşılaşılan problemlerdir. Karıştırma işleminin atmosfere açık

olarak yapılması ergimiş metalin atmosferden gaz almasına sebep olduğundan, karıştırma işleminin koruyucu gaz veya vakum altında yapılması önerilmektedir. Yöntem kolay ve ucuz bir yöntem olmasına rağmen literatürde, çökeltme, topaklanma, segregasyon (karışmama) oluşumu, istenmeyen ara yüzey reaksiyonlarının oluşumu, takviye malzemesinin karıştırma esnasında hasar görmesi gibi sorunların oluştuğu da belirtilmektedir [122].

Yarı katı döküm yöntemi

MMK'lerin üretilmesinde kullanılan bu yöntem değişik isimler ile adlandırılmaktadır. Sıvı metal karıştırma yöntemindeki ıslanabilirlik problemini çözmek için geliştirilen döküm yöntemlerinden biridir. Rheocasting ve Compocasting olarak bilinen döküm yöntemleri kısa fiber veya partikül takviyeli metal matrisli kompozit malzemeler için uygulanan yöntemlerin en ekonomiklerinden biridir. Bu yöntemde, ilk olarak matris malzemesi karıştırma ünitesi bir ergitme fırınının içine yerleştirilip ergime sıcaklığının 40 °C – 50 °C üzerinde ısıtılmakta, sıcaklık homojenize edilmekte ve sıvı metal sıcaklığı kontrollü olarak düşürülmektedir. Alaşım % 40 - % 50 katı hale geldiğinde matris malzemesinin içine takviye elemanı eklenmeye başlanmaktadır. Takviyenin ilavesi esnasında sıcaklık yükseltilmeye başlamakta ve takviyenin tamamı iyi şekilde ıslatılıncaya kadar sıcaklık arttırılarak karıştırma işlemi devam etmektedir. Nispeten düşük viskoziteye sahip karışım doğrudan basit kütük şeklinde döküldüğünde, bu yöntem Rheocasting adını almakta eğer karışım ergime sıcaklığı üzerinde karıştırılarak döküm gerçekleştirilirse Compocasting adı verilmektedir. Karışımın yarı katı olması, karıştırma esnasında parçacık ilavesini kolaylaştırmaktadır [128, 129].

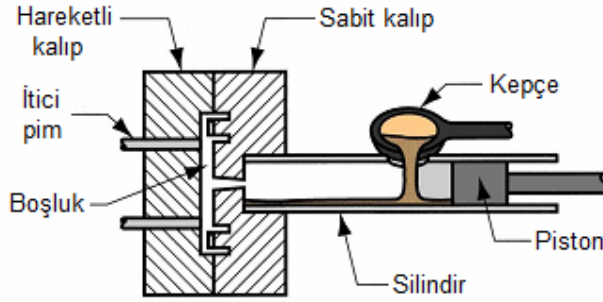
Yarı katı halde dövme, şekil verme, döküm vb. prosesler final şekillendirmenin yapılabildiği yeni tekniklerdir. Bu yöntemle üretilen alüminyum alaşımlarından otomobil jantları, hidrolik fren valfleri, silindirleri ve pistonları gibi birçok otomobil parçaları üretilmektedir [130].

Püskürtme çökmesi

Püskürtme çökmesi (biriktirme) yöntemi, sıvı metalin asal gazlar yardımıyla bir nozul içerisinden basınçla geçirilerek, belirli uzaklıkta bulunan ve aksel hareket ettirilebilen bir biçime biriktirilmesinden ibarettir. Öncelikle püskürtülecek metal, indüksiyon fırınında ergitilir ve potaya basınç uygulanır. Ergimiş metal pota tabanından bir nozul ile püskürtülürken, aynı zamanda parçacıklar atomize edilmiş sıvı, gaz içerisine asal gazlarla enjekte edilerek, önceden ısıtılmış alt katman üzerine çökeltir ve toplayıcı üzerinde katı bir çökelti oluşur [131]. Püskürtülen yüzeyde oluşan bu çökelti hızlı bir şekilde soğutulur. Soğuduktan sonra elde edilen form haddelenmek üzere toplayıcıdan çıkartılır. Bu yöntem, parçacık ve sürekli elyaf takviyeli kompozit malzemelerin üretiminde kullanılmaktadır [132].

Basınçlı döküm yöntemi

Basınçlı dökümde sıkıştırılmalı döküme benzer fakat kullanılan yükler daha düşüktür. Genellikle 10 MPa -15 MPa basınç bu tür dökümler için yeterli görülmekte ve büyük boyutlu parçaların üretilmesi mümkün olmaktadır [133]. Sıvı metalin çok yüksek basınç altında metalden yapılmış bir kalıba doldurulması esasına dayanır. Uygulanan basınç sayesinde fazla miktarda sıvı metalin kalıba çok hızlı bir şekilde doldurulması sağlanır. Katılaşma tamamlanıncaya kadar basınç uygulanmaya devam edilir ve ardından kalıp açılarak parça kalıptan çıkarılarak işlem tamamlanır (Şekil 3.5). Bu yöntem sayesinde çok karışık şekilli parçaların dökümü mümkün olur. Genellikle dökülecek malzemelerin erime sıcaklığı 1000 °C nin altındadır. İşlemler tamamıyla makinalar tarafından gerçekleştirildiği için yüksek üretim hızlarına erişilebilir. Uygulanan basınç 10 kg/cm² - 80 kg/cm² arasında değişir. Basınçlı döküm ile elde edilen parçalara genellikle talaşlı işlemeye lüzum kalmaz. Basınçlı dökümde kurşun, kalay, çinko, alüminyum ve magnezyum alaşımları kullanılır.



Şekil 3.5. Basınçlı döküm yöntemi [134]

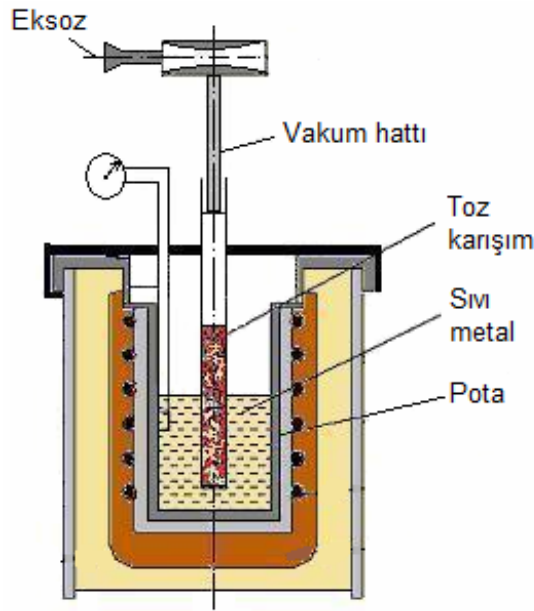
İnfiltrasyon (içsızma) yöntemi

Metal matrisli kompozitlerin üretilmesinde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biriside infiltrasyon (içsızma) yöntemidir. Bu yöntem, vakumlu, basıçlı ve basınçsız olmak üzere üç şekilde uygulanabilmektedir. İnfiltrasyon yönteminde, daha önceden hazırlanmış ve bir kalıp içerisine koyulan ince parçacıklar şeklindeki malzemeye sıvı metal emdirilmektedir. Bu emdirilme işlemi vakum yoluyla veya basınç altında olabileceği gibi normal atmosfer basıncında kendi haliyle de yapılabilmektedir. Genellikle, ön kalıp içersinde yer alan seramik esaslı takviye elemanlarına, sıvı metalin emdirilmesiyle yapılan bir kompozit malzeme üretim tekniğidir. Bu yöntemlerle özellikle magnezyum ve alüminyum alaşım matrisli kompozitler başarı ile üretilmektedir. Bu üretim yönteminde, ön şekil verilmiş (preform) takviye elemanları tane boyutlarına bağlı olarak kalıp içerisinde boşluklu ve gözenekli bir yapı oluştururlar. Matris malzemesini oluşturan sıvı metal, emdirme işlemiyle parçacık halindeki takviye elemanlarını ıslatmak suretiyle aralarında bağ oluşumunu sağlar. Matris ve takviye elemanını birleştirmek için gerekli olan basınç, özellikle takviye elemanının matris malzemesi tarafından ıslatılabilirliğine bağlıdır. Bu yöntemde iyi bir ara yüzey devamlılığı sağlamak için, uygulanan basınç, ergimiş metalin gözenekli seramik içerisine iyi bir şekilde infiltre olmasını sağlayacak seviyede olmalıdır. İnfiltrasyonla MMK üretiminde, uygun şartların yakalanması halinde mekanik özellikleri çok yüksek kompozit malzeme üretimi mümkün olmaktadır [16].

Vakumlu infiltrasyon

Vakum infiltrasyon yönteminde sıvı matris, negatif bir basınç uygulanarak gözenekli takviye içerisine infiltre olmaktadır [135]. Yöntem basit ve oldukça ekonomiktir. Bu yöntemle, özellikle Al matrisli MMK malzemelerin üretimine ait başarılı uygulamalar mevcuttur. Şekil 3.6'da vakum infiltrasyon yöntemine ait düzenek şematik olarak görülmektedir.

Vakum infiltrasyon işleminin atmosfere açık ortamda yapılması, Al alaşımlı sıvı matrisin yüzeyinde oksit tabakası oluşturmakta, bu durum takviye elemanının yeterince ıslatılmasını zorlaştırmaktadır. Bu durumda, sıvı matris içerisine takviye elemanını ıslatmayı arttıracak elementler ilave edilerek infiltrasyon işlemi gerçekleştirilmektedir.

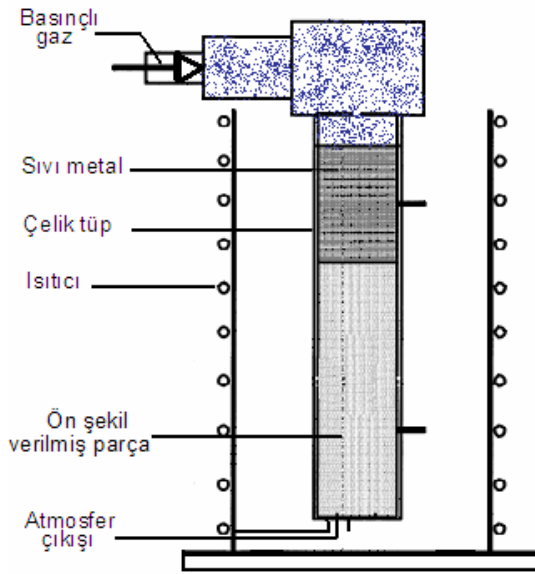


Şekil 3.6. Vakumlu infiltrasyon düzeni [12].

Sıvı metal emdirme yönteminde; parçacık takviyeli kompozit üretiminde, düşük seviyelerde parçacık hacim oranıyla çalışılmıyor olması ve yüksek dayanımlı bir üretim ünitesine sahip olunması gibi dezavantajlar da bulunmaktadır [16, 136].

Basınçlı infiltrasyon

Basınçlı infiltrasyon yönteminde sıvı matris, ön şekillendirilmiş blok parça veya yatak içerisine basınçlı gaz ile iletilerek kompozit malzemeler üretilmektedir [137]. Şekil 3.7’de basınçlı infiltrasyon yöntemi şematik olarak gösterilmektedir. Şekilde çelik tüp içerisine yerleştirilen seramik takviyeye sıvı metal belirli basınçtaki gaz yardımı ile infiltre olmaktadır. İnfiltrasyonu kolaylaştırmak için kalıbın alt kısmında gaz çıkışı bulunmaktadır. Basınçlı infiltrasyon yönteminde infiltrasyon basıncı, takviye-hacim oranı, kalıp ön ısıtma sıcaklığı, takviye parçacık boyutu, infiltrasyon süresi ve sıvı metal sıcaklığı işlem parametreleri olarak ele alınmaktadır [4, 56].



Şekil 3.7. Basınçlı infiltrasyon düzeneği [12].

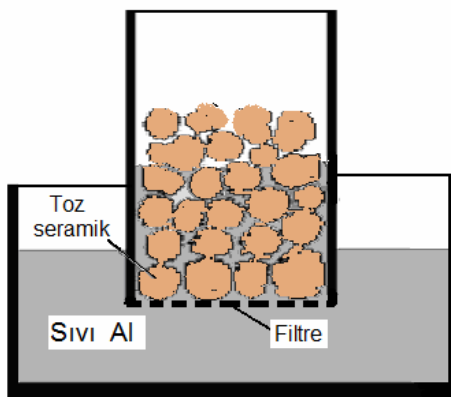
Bu yöntemde vakum destekli yüksek basınç kullanılarak sıvı matris fiber takviyelere başarı ile infiltre olmakta ve kompozitler basınç altında katılaşmaktadır. Ancak yüksek basınç uygulanmasının, zaman zaman fiberlerde deformasyona sebep olduğu belirtilmiştir [1]. Bu durumu ortadan kaldırmak için orta basınçlı infiltrasyon tekniği geliştirilmiş ve fiber takviyelere sıvı Al matris başarı ile infiltre edilmiştir [131].

Basınçlı infiltrasyon yönteminin bazı dezavantajları da vardır. En önemlisi, parçacık takviyeli kompozitlerin üretiminde çok düşük parçacık hacim oranları ile üretim yapılamamasıdır. Ayrıca, 50 MPa - 100 MPa civarındaki basınçlarla çalışılıyor olması nedeniyle üretim düzeneğinin oldukça mukavemetli yapılması gerekmektedir. Bu olumsuzluklarına rağmen sürekli fiber takviyeli metal matrisli kompozitlerin üretiminde kullanılan en uygun yöntem olarak görülmektedir.

Basınçsız infiltrasyon

Basınçsız infiltrasyon yönteminde sıvı metal parçacık takviye içerisine, basınç uygulanmaksızın kendi kendine infiltre olabilmektedir. Basınçsız infiltrasyonda sıvı matrise Mg ilavesi ve azot atmosferi infiltrasyonu kolaylaştırmaktadır. Mg, sıvı alüminyumun seramik parçacıkları ıslatmasını geliştirerek infiltrasyonu sağlamaktadır [138,139].

Şekil 3.8’de basınçsız infiltrasyon yöntemi şematik olarak görülmektedir. Yöntemde sıvı ingot yatak içerisinde yerleştirilen blok parçaya azot atmosferinde sıvı matris infiltre olmaktadır. Sıcaklık, parçacık büyüklüğü, Mg içeriği, takviye-hacim oranı, süre ve seramik takviyenin kaplanması işlem parametreleridir [48].

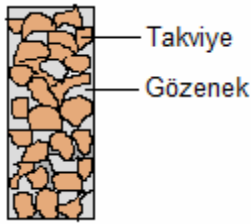


Şekil 3.8. Basınçsız infiltrasyon yöntemi [12].

İnfiltrasyon işlemine etki eden faktörler

Takviye hacim oranı T-H

Kompozit malzeme, takviye malzemesinin matris malzemesi içerisinde dağılımıyla meydana gelir. Kompozit malzeme içerisinde, takviye malzemesinin hacimce miktarına, takviye-hacim oranı ifadesi kullanılmaktadır. İnfiltrasyon yönteminde takviye-hacim oranı infiltrasyon davranışını ve kompozitlerin özelliklerini belirleyen parametrelerden biridir. Kompozitlerin, gözeneklilik, sertlik, çekme dayanımı ve aşınma gibi özellikleri T-H oranı ile doğrudan ilgilidir. Ayrıca infiltrasyon ile kompozit üretiminde T-H oranının önemli bir etkisi vardır. Şekil 3.9'da görüldüğü gibi takviye tozları cam kap içerisine yerleştirildiğinde oluşan hacim; Eş.3.1' de verilen takviye tozlarının hacmi ve gözenek hacminin toplamına eşittir [12].



Şekil 3.9. Takviye tozlarının cam kap içerisinde oluşturdukları dolu hacim ve gözenekler

$$V = V_{\text{takviye}} + V_{\text{gözenek}} \quad (3.1)$$

Takviye tozlarının oluşturduğu hacim Eş.3.2'de görüldüğü gibi takviye ağırlığının özgül ağırlığa bölünmesine eşittir:

$$V_{\text{takviye}} = m / d \quad (3.2)$$

T-H oranı ise Eş.3.3'de görüldüğü gibi takviyenin oluşturduğu hacmin toplam hacime oranına eşittir:

$$\text{T-H oranı} = V_{\text{takviye}} / V_{\text{kompozit}} \quad (3.3)$$

Bir başka ifade ile cam kap içerisinde takviye tozlarının gerçek ağırlığının teorik ağırlığına oranı % T-H oranını vermektedir.

Takviyenin kompozit içerisindeki oranı ise Eş.3.4'de görüldüğü gibi hesaplanır:

$$W_k = W_f \cdot V_f + W_m \cdot V_m \quad (3.4)$$

Burada;

W_k : Kompozitlerin ağırlığı,

W_f : Fiber ağırlığı,

V_f : Fiber hacmi,

W_m : Matris ağırlığı,

V_m : Matris hacmi

dir.

İnfiltrasyon basıncı

İnfiltrasyon yönteminde basınç miktarı, sıvı matrisin blok parça içerisindeki kılcal boşluklardan ilerlemesini ve gözenekleri doldurmasını önemli ölçüde etkilemektedir. İnfiltasyon, önceden belirtildiği gibi takviye parçacıkları arasında matrisin kılcal basınç ile ilerlemesiyle oluşmaktadır. Ancak bu işlemin olabilmesi için matris-takviye uyumu ve gözenek boyları etkili olmaktadır. Bu uygunluğun olmadığı yerlerde kılcal basınca yardımcı olmak üzere infiltrasyona karşı kuvvetleri yenmek için dışardan basınç uygulanması gerekli olabilmektedir [12].

Takviye tane boyutu

Takviye parçacıkları arasında oluşan infiltrasyon öncesi boşluklar, takviye tane büyüklüğüne bağlı olarak infiltrasyonu etkilemektedir. Büyük tane boyutuna sahip takviye elemanları arasında, infiltrasyon öncesi boşlukların büyük olmasıyla sıvı

matrisin bu gözeneklere infiltrasyonu kolaylaşmaktadır. Ancak yapılan çalışmalarda, takviye tane boyutunun büyümesi MMK'larda işlenebilirliği ve yüzey kalitesini olumsuz etkilediği ifade edilmektedir [12].

İnfiltrasyon sıcaklığı

Sıcaklık, infiltrasyon yönteminde en önemli üretim parametrelerinden biridir. Artan infiltrasyon sıcaklıklarında, sıvı matrisin, akıcılığı artarak, takviye taneleri arasındaki gözeneklerden infiltre olması kolaylaşmaktadır. İnfiltrasyon sıcaklığının etkilediği en önemli parametreleri; infiltrasyon süresi, infiltrasyon mesafesi ve sıvı matrisin takviyeyi ıslatabilirliği olarak sıralayabiliriz. İnfiltrasyon işlemlerinde sıcaklık çok önemli bir parametre olduğundan genellikle ergime sıcaklığı nispeten düşük Al, Mg gibi metal ve alaşımları daha çok tercih edilmektedir [12].

İnfiltrasyon süresi

İnfiltrasyonun gerçekleşebilmesi için diğer işlem parametrelerine bağlı olmakla birlikte bir kuluçka süresine ihtiyaç duyulmaktadır [48,50]. İnfiltrasyon süresini birçok parametre etkilemekle beraber; uygulanan basınç veya vakum, sıvı metalin sıcaklığı ve takviyeyi ıslatma kabiliyeti, takviye elemanını parçacık boyutu ve şekli, takviye hacim oranları gibi parametreler daha fazla öne çıkmaktadır [12].

Islatma

Islatma özelliği, sıvı matris ve takviyenin oluşturduğu serbest enerji değişimine bağlıdır. İki elektriksel yüzey birbirine yeteri kadar yaklaştığı zaman fiziksel çekim kuvveti mevcut olur ve bu durum katı bir yüzeyin sıvıyla ıslatılması halinde daha iyi anlaşılır [4].

İki yüzey fiziksel temas halinde olduğu zaman gerçek molekül temas, toplam yüzeyin sadece küçük bir kısmında meydana gelir. Ayrıca katı yüzeyindeki kirlilik ve oksitler kuvvetli bir yapışmaya engel olacaktır [140]. Takviye yüzeyinin etkili

ıslanması için sıvı matris katı yüzeyinin her noktasına temas etmelidir. Bir sıvının katılaşması esnasında yapılan iş Eş.3.5'deki Püpre denklemi ile ifade edilir [141].

$$W_A = \gamma_{sb} + \gamma_{kb} - \gamma_{ks} \quad (3.5)$$

Burada;

W_A : Sıvının katılaşması esnasındaki yapılan iş,

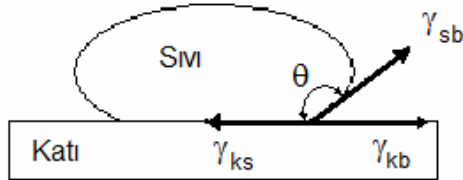
γ_{sb} : Sıvının serbest enerjisi,

γ_{kb} : Katının serbest enerjisi,

γ_{ks} : Sıvı-katı arayüzeyi serbest enerjisi

dir.

Şekil 3.10'da bir sıvı damlasının katı üzerine düşmesiyle oluşan yüzey gerilimleri ve temas açısı şematik olarak görülmektedir.



Şekil 3.10. Sıvı damlasının katı bir yüzeyle temasıyla oluşan yüzey gerilimleri ve temas açısı [12]

Bileşenler arasındaki maksimum bağ, arayüzey serbest enerjisi en aza indirildiğinde ortaya çıkar. Şekil 3.10'da görüldüğü gibi düzgün bir katı yüzey üzerine düşen sıvı damlasının fiziksel durumu, Young denklemi ile ifade edilir [142, 143].

$$\gamma_{kb} = \gamma_{ks} + \gamma_{kb} \cos\theta \quad (3.6)$$

Eş 3.5 ve Eş 3.6 birleştirildiğinde sıvının katılaşma esnasında yapılan iş;

$$W_A = \gamma_{sb} + (1 + \cos\theta) \gamma_{kb} \quad (3.7)$$

denklemleri ile ifade edilir. Böylece sıvı ve katı arasında oluşan bağ, sıvının yüzey gerilimi ve temas açısıyla ilgilidir. Küçük temas açıları iyi ıslanabilirlik, büyük temas açıları ise kötü ıslanabilirliği sergilemektedir.

$\theta = 0^\circ$ tam ıslatma, $\theta = 180^\circ$ ıslatmanın olmadığı $\gamma_{kb} < \gamma_{ks}$ olursa θ , 90° den büyük olacağından ıslatma olmaz. $\theta < 90^\circ$ ise ıslanabilirliğin iyi olduğu söylenebilir [4, 144].

Seramik takviyenin çeşitli metallerle kaplanması, sıvı matrise alaşım elementi ilavesi, ısı işlem uygulanması arayüzey enerjisini ve sıvı matrisin yüzey gerilimini düşürerek ıslatma özelliğini arttırmaktadır [4, 11, 145].

Alaşım

MMK'lerde takviye ile matris malzemesinin uyumu kompozitlerin özelliklerini etkileyen parametrelerden biridir. İnfiltrasyon yönteminde sıvı matrisin takviyeyi ıslatma kabiliyeti, infiltrasyon mesafesini önemli ölçüde etkilemektedir. Al matrisli kompozit malzemelerin infiltrasyonunda birçok araştırmada, sıvı matrisin Mg içeriğinin infiltrasyonu arttıran etki gösterdiği belirtilmiştir [12].

3.5.2. Katı hal üretim yöntemleri

Metal matrisli kompozit üretiminde yaygın olarak kullanılan yöntemlerin başında katı hal üretim yöntemleri gelmektedir. Katı hal üretim yöntemlerinde, matris malzemesine ergime sıcaklığı altındaki bir sıcaklıkta farklı işlemler uygulanarak kompozit malzemeler üretilmektedir. Bu yöntemler sayesinde, sıvı hal üretim yöntemlerine göre mekanik özellikleri daha iyi kompozit üretimi mümkün olmaktadır. Ancak, katı hal yöntemlerinde üretim maliyetleri diğer yöntemlere göre daha fazla olmaktadır.

Katı hal üretim yöntemlerinin başlıcaları şunlardır:

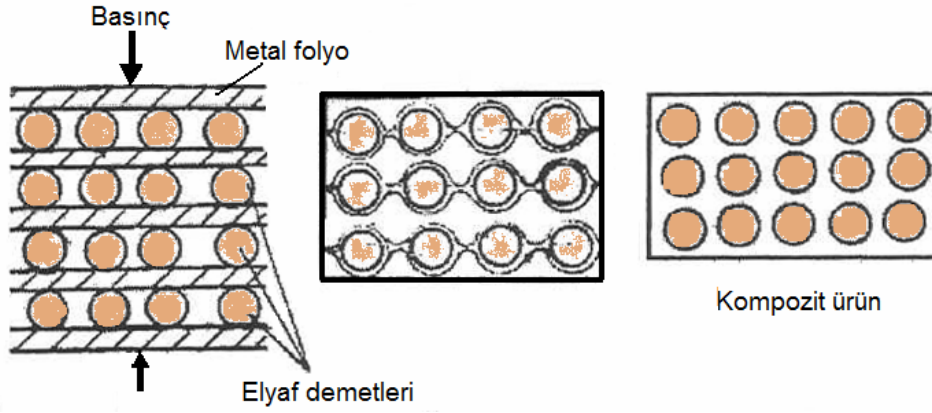
- Difüzyonla birleştirme
- Sıcak haddeleme
- Toz metalurjisi (TM)

Difüzyonlu birleştirme yöntemi

Difüzyonla birleştirme yönteminde, levha veya yaprak şeklindeki matris malzemeleri ile levha veya uzun fiber şeklindeki takviye elemanları üst üste konularak, ergime sıcaklıklarının altında bir sıcaklıkta preslenerek difüzyon yoluyla birleşmeleri sağlanmaktadır. Matris ve takviye elemanlarının birleşecek yüzeylerinin düzgün, temiz ve oksitsiz olması difüzyonla birleşmenin başarısında önemlidir. Matris malzemesi olarak Al ve Ti alaşımları, takviye elemanı olarak da SiC, Al₂O₃, B ve C gibi fiberler kullanılmaktadır. Bu yöntemle, metal matrisli kompozitler metal levha veya istenilen diğer biçimlerde üretilebilir. Bu yöntemin olumsuz yanları ise; malzeme üretim sürecinin uzun olması, yüksek sıcaklık ve basınçlar gerektirmesi nedeniyle üretim maliyetinin yüksek olmasıdır [108].

Sıcak haddeleme

Sıcak haddeleme işlemleri difüzyonla birleştirme işlemine benzer. Bu yöntemde levha halindeki matrisler ile bunların arasına konulan fiberler yüksek sıcaklıklarda haddelenir. Daha sonra basınç kaldırılır ve termal uzamalarda uyumsuzluklardan ileri gelen kalıcı gerilmeleri en aza indirmek için, komple parça, yavaş şekilde soğumaya bırakılır [66]. Bu yöntem ile sadece plaka halinde kompozit malzemeler elde edilebilmekte, karmaşık şekilli parçaların üretimi yapılamamaktadır. Şekil 3.11’de yöntemin şematik gösterilişi verilmiştir. Haddeleme yöntemiyle plaka halinde kompozit malzeme üretiminin diğer sıvı ve katı yöntemlere nazaran daha ekonomik olduğu belirtilmiştir. Ayrıca bu yöntemle, istenilen hacim oranlarında kompozit üretiminin başarıyla gerçekleştirilebileceği de belirtilmiştir. Bu yöntemin difüzyonlu birleştirme yöntemine göre avantajı, takviye elemanlarının süresiz olarak uygulanabilmesidir [146].



Şekil 3.11. Sıcak haddelemenin şematik gösterimi [121]

Toz metalurjisi

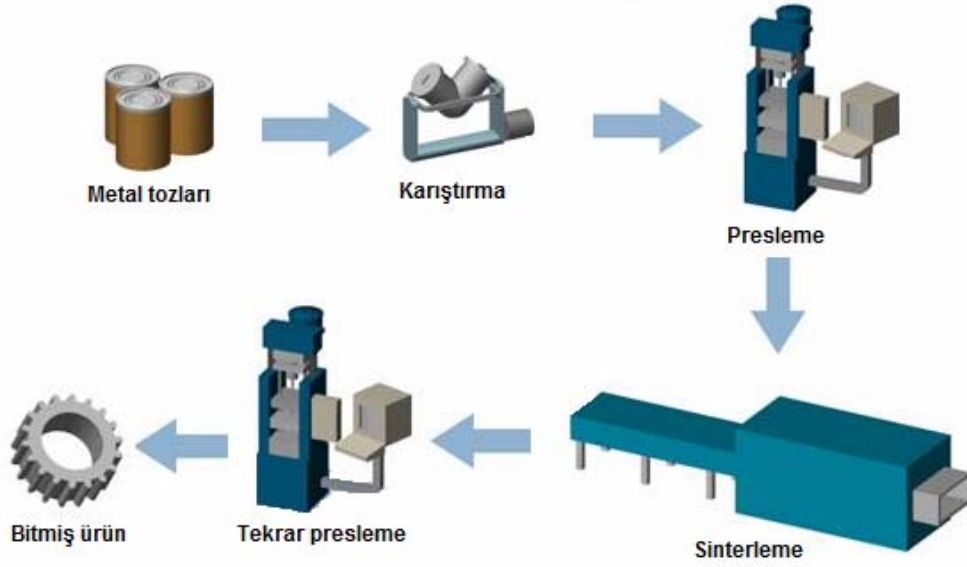
Toz metalurjisi (TM) yöntemi en yaygın kullanılan kompozit malzeme üretim tekniğidir. Bu yöntemle toz halindeki matris ve takviye elemanları birlikte karıştırılarak mekanik olarak alaşımlanır ve istenilen şekli oluşturmak için kalıba konularak preslenir. Preslemeden sonra sinterleme işlemi uygulanır. Sinterleme sonrasında püskürtme veya haddeleme gibi ikincil işlemler son şekil verme için gerekli olabilir [12]. Genelde yüksek kaliteli, karmaşık geometrilere sahip küçük parçaların ekonomik olarak üretilebilmesi, toz metalurjisini cazip kılmaktadır. TM'de kullanılan metal tozları 200 μm 'den küçüktür. Tozların üretiminde kullanılan teknikler metale göre değişmektedir. Başlıca metal tozu üretim teknikleri atomizasyon, doğrudan indirgeme, elektroliz, çöktürme ve öğütmedir. Toplam tüketilen tozun % 60'ından fazlası atomizasyon teknikleri ile üretilir. TM üretiminde kullanılan tozların şekilleri, parçanın biçimlendirilebilmesi, yoğunluğu ve mukavemeti açısından çok önemlidir. Şekil 3.12'de toz metalurjisinde kullanılan toz şekilleri görülmektedir.



Şekil 3.12. Toz şekilleri [147]

TM'nin uygulamaları oldukça geniştir. Sert metaller, takım çelikleri, gözenekli malzemeler ve filtreler, sürtünme elemanları, grafit fırçalar ve mıknatıslar, tungsten lamba filamentleri, dişli çarklar, kendinden yağlamalı yataklar, elektrik kontakları, nükleer güç yakıt elemanları, ortopedik gereçler, ofis makineleri parçaları, fren balataları, akü elemanları ve jet motoru parçaları metal tozlarından üretilen parçalara örnek olarak verilebilir.

TM yöntemi, ilk olarak geleneksel döküm, sıcak ve/veya soğuk presleme ve talaş kaldırma yöntemlerine alternatif olarak geliştirilmiştir. Ayrıca, TM yöntemiyle üretilen parçaların genelde sıvı hal üretim yöntemiyle üretilmiş parçalardan daha iyi mekanik özelliklere sahip oldukları bilinmektedir. Şekil 3.13'te TM yöntemine ait üretim basamakları şematik olarak gösterilmiştir. Düşük sıcaklıklarda çalışılması, takviye elemanının homojen dağılımının sağlanabilmesi, kompozit yapının kontrolünün mümkün olması, takviye elemanlarının daha ucuz olması gibi nedenlerden dolayı özellikle parçacık takviyeli metal matrisli kompozitlerin üretiminde TM yöntemi tercih edilmektedir [148].



Şekil 3.13. Toz metalurjisi yönteminin üretim basamakları [126]

TM teknolojisinin avantajlı yönleri aşağıda özetlenmiştir

- TM parçaları sonraki talaşlı işlemlere ihtiyacı ortadan kaldıracak düzeyde, son şekil veya son şekle yakın olarak seri üretilebilir.
- TM işlemi çok az malzeme ziyan eder (başlangıç tozunun yaklaşık % 97'si mamule dönüştürülür).
- TM parçaları gözenekli metal parçaları imal etmek için belirli bir gözeneklilik seviyesinde yapılabilir (Örneğin; filtreler, yağ emdirilen yataklar ve dişliler).
- Diğer yöntemlerle işlenmesi zor bazı metaller toz metalurjisiyle şekillendirilebilir (Örneğin; ampullerdeki tungsten filamentler TM ile üretilir).
- TM ile yapılan belirli alaşım kombinasyonları ve sermetler, başka bir yöntemle imal edilemezler.
- TM, boyut kontrolü bakımından çoğu döküm yönteminden daha üstündür.
- TM imalat yöntemleri ekonomik üretim için otomatize edilebilir [149].

TM teknolojisinin dezavantajları ise şöyle sıralanabilir

- Yüksek takım ve ekipman maliyetleri söz konusudur.

- Metal tozları pahalıdır.
- Metal tozlarının depolama ve nakliyle ilgili problemler vardır. (Örneğin; zamanla bozulma, belirli metallerde yangın hasarı).
- Metal tozlarının presleme sırasında kalıp içinde paralel olarak akması nedeniyle parça geometrisinde sınırlamalar söz konusudur.
- Parça boyunca yoğunluktaki değişimler, özellikle karmaşık geometriler için bir sorun olabilmektedir [149].

3.5.3. İn-situ işlemler

Bu tür kompozit üretim tekniklerinde malzeme içerisinde farklı fazların oluşturulması ve bu fazlardan birinin veya bazılarının matris; diğerlerinin de takviye elemanı olarak davranması ile kompozit üretimi sağlanır. İn-situ işlemlerde; ötektiklerin yönlü katılaştırılması, tercihli yönlendirilmiş metal oksidasyonu ve ekzotermik reaksiyon işlemi gibi farklı birkaç yöntem kullanılmaktadır.

4.TALAŞLI İMALAT

Bilinen ve günümüz teknolojisinde uygulanan tüm imalat yöntemlerini talaşlı şekillendirme ve talaşsız şekillendirme olmak üzere iki ana grup altında toplayabiliriz; bu iki grup arasındaki fark sadece işlenerek elde edilen ürünün biçim ve kalitesi değildir, teknolojik olarak talaşlı şekillendirme yöntemi döküm, kaynak ve plastik şekil verme yöntemlerinden ayrılır. Makine parçalarının imalinde çok nadir hallerde talaşsız şekillendirme ile bir parçanın son şekli istenen boyut ve şekil hassasiyeti elde edilebilir. Buna karşın, talaşlı şekillendirme ile makine parçalarında gerekli olan yüksek ölçü hassasiyeti, yüzey düzgünlüğü ve şekil tamlığı elde edilebilir.

Talaşlı üretim işlemi en önemli imalat yöntemlerinden biridir. Döküm, dövme, haddeme ve diğer şekillendirme yöntemleriyle üretilmiş mühendislik malzemelerinin kullanıma hazır hale getirilmesi için çoğunlukla talaşlı imalat işlemleri gereklidir. Talaşlı imalat işleminde iş parçasını (yarı mamul; döküm, dövülmüş, haddelenmiş) istenilen geometriye getirmek için üzerindeki fazlalıklar uygun takım tezgahı (torna, freze, matkap) ve kesici takım kullanılarak talaşlar şeklinde uzaklaştırılıp, istenilen boyutlar ve yüzey kalitesi sağlanır. Uzay ve havacılık, otomotiv ve kalıp gibi endüstriyel alanlarda çoğu ürüne son şekli talaşlı imalat işlemleriyle verilir. Tornalama, frezeleme, vargelleme ve delme işlemleri talaşlı imalat işlemlerine örnek olarak verilebilecek işlemler arasında yer alır [150]. Talaşlı imalat işleminde etkin olan kesme hareketi, iş parçasının kesici takım önündeki plastik deformasyonu ve deforme olan bu katmanın talaşa dönüşmesi ile gerçekleşir. Bu yöntem çoğunlukla metalleri şekillendirmek için uygulansa da diğer malzemeler (plastikler, kompozit malzemeler, kaya ve cam) de aynı yöntemle şekillendirilebilir.

Aşağıdaki hususlar dikkate alındığında, talaşlı üretim işleminin en önemli imalat yöntemlerinden birisi olduğu anlaşılır [151]:

- Çok çeşitli malzemeler talaşlı imalat yöntemiyle şekillendirilebilir.

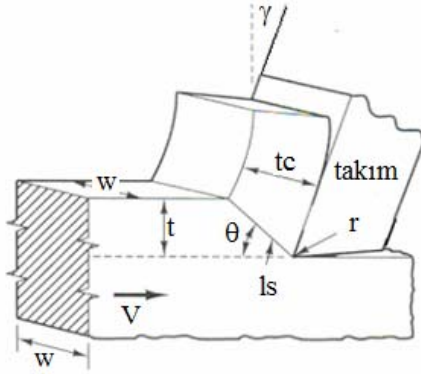
- Polimer ve polimer esaslı kompozit malzemeler talaşlı imalat yöntemiyle şekillendirilebilir.
- Talaşlı imalat işlemi ile düz ve dairesel yüzeyler gibi düzenli geometriler oluşturulabilir.
- Talaşlı imalat işlemiyle iş parçası ölçüleri çok yakın toleranslarda elde edilebilir.
- Aynı zamanda çok iyi yüzey kalitesi de bu yöntemle elde edilebilir.
- Birkaç talaşlı imalat işlemi sırayla uygulanarak hemen hemen bütün karmaşık geometriler elde edilebilir.

Talaşlı üretim işleminde bilinmesi gereken önemli terimler; kesme hızı, ilerleme hızı ve talaş derinliğidir. Kesme hızı, (V) kesilmemiş iş parçası yüzeyindeki bir noktanın kesici takım önünde birim zamanda aldığı yol olarak tanımlanır ve çoğunlukla m/min olarak ifade edilir. İlerleme hızı (f), iş parçası malzemesinin her bir dönüşünde kesici takımın iş parçası eksenine paralel olarak kat ettiği mesafe olup birimi mm/rev'dir. Talaş kalınlığı (a), iş parçasından kaldırılan malzemenin derinliği olup iş parçası eksenine dik yönde ölçülür. Bu üç kesme parametresinin çarpımıyla çoğunlukla metal kesme işleminin verimliliğini ifade eden talaş kaldırma oranı bulunur. Yapılan bu tanımlar tornalama işlemleri için geçerlidir. Diğer yöntemlerde (frezeleme, delme), bu tanımlar kısmi değişiklikler gösterebilir [152].

4.1. Talaş Kaldırma Mekanikliği

Talaş kaldırma işlemi, takım ile parça arasındaki izafi hareketlerin bir sonucudur. Takım ile parça arasında kesme, ilerleme ve yardımcı olmak üzere üç türlü hareket vardır. Kesme hareketi esas talaş kaldırma hareketidir. İlerleme hareketi, parçanın uzunluğu veya genişliği boyunca belirli bir kısmının işlenmesini sağlayan harekettir. Yardımcı hareketler ise, takımın parçaya yaklaşma hareketi, ilerleme hareketi bittikten sonra takımın başlangıç noktasına geri getirme gibi çeşitli ayar hareketlerini kapsar. Genellikle kesme hareketi dönme veya doğrusal, ilerleme ve yardımcı hareketler ise doğrusal hareketlerdir. Bu hareketlerin parça veya takım tarafından yapılması, çeşitli talaş kaldırma yöntemlerini meydana getirir.

Talaşlı imalat işlemi gerçekte üç boyutlu ve oldukça karmaşık olduğu için talaş kaldırma mekaniğinin tanımlanmasında genellikle iki boyutlu ortogonal (dik) kesme modeli kullanılır (Şekil 4.1). Bu model basit olmasının yanı sıra talaşlı imalat mekaniğini yeterli doğrulukta tanımlar [153]. Dik kesme işleminde, kesici takım kenarı iş parçası-takım hareket yönüne göre dik olarak hareket eder. Bu modele göre, iş parçasının kesici takımı zorlamasıyla kayma düzleminde iş parçasının kayma gerilmesi değerinin aşılmasıyla talaş oluşumu gerçekleşir. Talaşlı kaldırma işleminin mekaniği ve talaş oluşumu üzerine yapılan analizlerde genellikle iş parçası olarak metaller dikkate alınmıştır [16].



t: Deforme olmamış talaş kalınlığı
 tc: Deforme olmuş talaş kalınlığı
 w: İş parçası genişliği
 V: İş parçası ilerleme yönü

l_s: Kayma düzlemi uzunluğu
 θ: Kayma düzlemi açısı
 r: Kesici takım uç radyusu
 γ: kesici takım talaş açısı

Şekil 4.1. Dik kesme modeli [153]

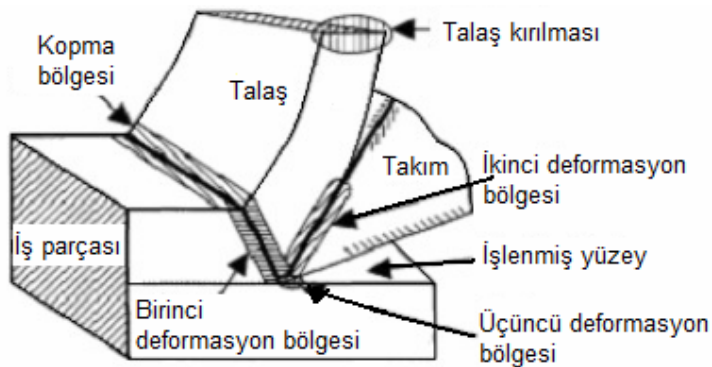
Talaş oluşum mekaniği, tornalama, frezeleme, delme gibi işlemlerde bazı farklılıklar gösterse de esasta aynı prensiplerden meydana gelmektedir. Aslında oluşan talaş, bir kayma işleminin sonucu olarak dar bir bölgede meydana gelmektedir.

Talaş oluşumu plastik deformasyonun önemli derecede rol oynadığı bir işlemdir. Talaşlı imalat işleminde talaş oluşumu, iş parçasının kesici takım önündeki bölgesel deformasyonu ile gerçekleşir [149]. Dik kesme işlemi sırasında oluşan işleme sürecinde üç deformasyon bölgesi oluşmakta olup bunlar Şekil 4.2’de görülmektedir.

Birincisi, iş parçasının kesici takım önünde hareketiyle oluşan kayma düzleminde meydana gelen deformasyon yani birinci deformasyon bölgesidir. İş parçası ve kesici takım arasındaki nispi hareket sonucu iş parçasında oluşan gerilme, iş parçasını birinci deformasyon bölgesinde plastik deformasyona uğratarak talaş oluşumunu gerçekleştirir [154].

İkincisi, sürtünme kuvveti ve takım-talaş teması boyunca meydana gelen basınçtan kaynaklanan takım-talaş ara yüzeyindeki deformasyondan kaynaklanan, ikinci deformasyon bölgesidir. Birinci deformasyon bölgesinde oluşan talaş kesici takımın talaş yüzeyi üzerinden geçerken basınca bağlı oluşan yapışma sonucu ikinci defa deformasyona uğrar ve kesme bölgesinden atılır. İşleme sürecinin anlaşılmasında ikinci deformasyon bölgesinin önemi büyüktür. Takım-talaş ara yüzeyindeki bu bölgenin kalınlığı kesme işleminin analizinde önemli bir faktördür. Bu bölgenin kalınlığı gerilme, gerinim ve sıcaklıktan çok fazla etkilenir. Bu nedenle ikinci deformasyon bölgesi, maksimum kayma gerilmesi, maksimum kayma gerinim oranı ve talaştaki sıcaklığın en yüksek olduğu yer olarak varsayılmaktadır.

Üçüncüsü ise, işlenen yüzey ile kesici takım yan yüzeyinin teması sonucunda oluşan sürtünmenin etkisiyle meydana gelen deformasyondur ki bu da üçüncü deformasyon bölgesi olarak adlandırılmaktadır [154].



Şekil 4.2. Plastik deformasyon bölgeleri [155]

4.2. Talaş Şekilleri

Talaş tabakanın parçadan ayrılma şekli, iş parçasının malzeme özelliklerine ve işleme parametrelerine bağlı olarak farklı şekillerde gerçekleşir. Talaş kaldırma işlemlerinde oluşan talaşlar çok çeşitli olmasına rağmen literatürde, genel olarak aşağıdaki gibi sınıflandırılır:

- Sürekli (akma) talaş
- Süreksiz (kesintili) talaş
- Yığılma kenarlı (BUE) sürekli talaş
- Yarı kesintili (parçalı) talaş

Sürekli (akma) talaş

Sürekli talaş, genellikle sünek malzemelerin, yüksek kesme hızlarında ve düşük ilerleme miktarında işlenmesinde ortaya çıkan talaş şeklidir. Ayrıca, kesici takımın ucundaki sivrilik ve düşük sürtünme değeri iyi bir yüzey kalitesinin oluşmasını sağlamaktadır (Şekil 4.3). Bazen sürekli talaşın aşırı birikmesi problemlere sebep olur. Kesici takım üzerine sarılan yoğun talaş miktarı işlemin durdurulmasını ve talaşın temizlenmesini gerektirir. Bu durum iş parçasını yüzey kalitesini olumsuz etkiler. Günümüzde, talaşlı imalatta kullanılan talaş kırıcılı kesiciler ve kesme sıvılarıyla bu problem en aza indirilmektedir [154].



Şekil 4.3. Sürekli talaş biçimi [154]

Süreksiz (kesintili) talaş

Süreksiz talaş, gevrek malzemelerin düşük kesme hızlarında, yüksek ilerleme miktarlarında ve talaş derinliğinin fazla verildiği işlemlerde meydana gelmektedir. Kesici takım ile talaş arasındaki sürtünme değeri oldukça yüksektir. Dökme demir, bronz gibi gevrek ve kırılğan malzemelerin işlenmesi sonucu, birbiri ardına kırılan talaş şekli meydana çıkar. Kesikli talaşın meydana getirdiği yüzey kalitesi, genellikle kötü olmaktadır (Şekil 4.4). Bunun dışında, talaşın devamlı kesintiye uğraması kesme kuvvetlerini de sürekli değiştirdiğinden, takım ucunun hızlı aşınması ve tezgahta titreşim gibi olumsuzluklara sebep olmaktadır [154].



Şekil 4.4. Kesikli talaş biçimi [154]

Yığıntı talaş (BUE)

Yığıntı talaş (BUE - Built Up Edge), genellikle sünek malzemelerin orta ve düşük kesme hızlarında işlenmesi sonucu ortaya çıkmaktadır. Takım ile talaş arasındaki sürtünme, işlenen yüzey üzerine talaş yapışmalarına neden olur (Şekil 4.5). İş parçası malzemesinin, kesici takımın ucunda birikmesi ile geçici bir talaş yığıntısı oluşur. Bu birikme çoğaldıkça kararsız hale gelir ve kesme gerilmelerinin de tesiri ile kırılarak kesici takımın ucundan ayrılır. BUE işlenen yüzeyi kötü yönde etkileyen faktörlerden bir tanesidir ve kesici ucun geometrisini değiştirerek kaba bir bitirme yüzeyine neden olur [154].



Şekil 4.5. Yığıntı talaş biçimi (BUE) [154]

Yarı kesintili (parçalı-segmentli) talaş

Yarı kesintili talaş, genellikle talaş kaldırması zor olan, az karbonlu imalat çeliği, paslanmaz çelik ve titanyum alaşımları gibi malzemelerin yüksek kesme hızlarında işlenmesi sonucu ortaya çıkan talaş biçimidir. Yarı sürekli testere dişi görünümünde olup takım ucunda talaş sıvanmalarına neden olmaktadır (Şekil 4.6). Talaşın ayrılması sırasında yüksek sürtünme direnci ve ısı oluşur. Bu talaşı şekli genellikle kötü yüzey kalitesine neden olmaktadır [154].



Şekil 4.6. Yarı kesintili talaş biçimi [154]

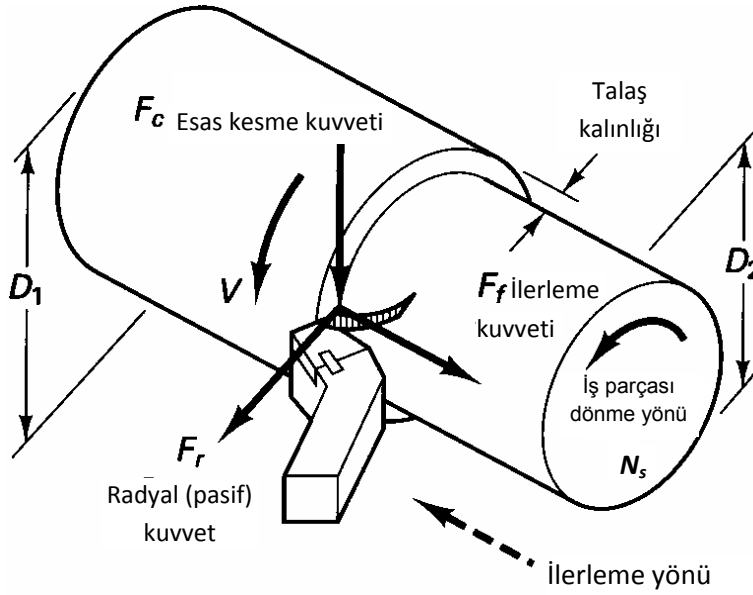
4.3. Talaşlı İmalatta Kesme Kuvvetleri

Kesici takım üzerine etki eden kuvvetler talaşlı imalat işleminde dikkate alınması gereken hususlardan biridir. Talaşlı imalat işleminin bilimsel olarak incelenmesi, kesme kuvvetlerinin bilinmesini gerektirir.

Kesme kuvvetlerinin kesici takım ömrü ve işlenen yüzeyin kalitesi üzerinde de önemli etkileri vardır. Kesme kuvvetleri, işlenen malzemenin cinsi, kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme hızı ve talaş derinliği) ve kesici takım geometrisine göre değişir [156].

Kesme kuvvetlerinin tahmin edilebilmesi için çeşitli hesaplama yöntemleri geliştirilmiştir. Ancak, talaşlı imalat işleminde kuvvetlerin ve gerilmelerin yönlerinin ve büyüklüklerinin doğru olarak bilinmemesi, malzeme özelliklerinin farklı olması ve bunun gibi çeşitli bilinmeyen etkenler nedeniyle yeterli doğrulukta kesme kuvvetlerinin hesaplama yöntemleriyle belirlenmesi mümkün değildir. Bu nedenle kesme kuvvetlerinin ölçülmesi üzerinde çalışmalar yapılmış ve 20. yüzyılın başlarından itibaren bu alanda çalışmalara ağırlık verilerek çeşitli dinamometreler geliştirilmiştir. Geliştirilen bu dinamometreler ile kesme kuvvetleri yeterli doğrulukta ölçülebilmektedir .

Geliştirilen bütün dinamometrelerdeki esas, yük altında kesici takımın elastik sapmasıdır. Şekil 4.7’de tornalama esnasında oluşan üç kuvvet bileşeni görülmektedir.



Şekil 4.7. Tornalama işlemi esnasında oluşan üç kuvvet bileşeni [156]

Burada:

F_c : Kesme kuvveti, kesici uca dik olarak takım talaş yüzeyine etki eder. Bu genellikle üç kuvvet bileşeninin en büyüğüdür.

F_f : İlerleme kuvveti, kesici takım üzerine, iş parçası eksenine paralel etki eder.

F_r : Radyal (pasif) kuvvet, kesici takımı iş parçasından uzaklaştırmaya çalışan kuvvet olup kesici takım ekseninde etki eder. Genellikle en küçük (özel durumlar hariç) kuvvet bileşenidir [156].

Bileşke kuvvet bu üç kuvvetin vektörel toplamı ile elde edilir ve Eş. 4.1 yardımıyla hesaplanır:

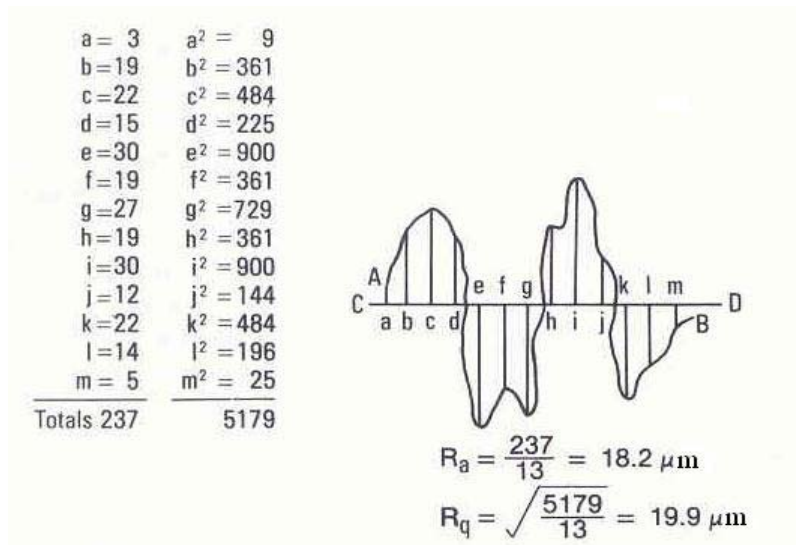
$$F = \sqrt{F_c^2 + F_f^2 + F_r^2} \quad (4.1)$$

Talaş kaldırmada gerekli olan kuvvetlerin, haddeme, dövme gibi diğer metal işleme yöntemleriyle karşılaştırıldığında, oldukça küçük olduğu görülür. Bunun sebebi ise kaldırılan metal tabakasının ince olmasıdır.

4.4. Yüzey Pürüzlülüğü

Kesici bir takımın, iş parçası yüzeyinin bir ucundan diğer ucuna gitmesiyle oluşan pek çok çizikli, düzensiz kısa dalga boyu uzunluklarına pürüzlülük adı verilmektedir. İşlenmiş parçaların yüzey kalitesinin asıl göstergesi yüzey pürüzlülüğüdür ve işlenebilirlik değerlendirmelerindeki en önemli kriterlerden birisidir. Yüzey pürüzlülüğü temelde takım geometrisi (uç radyüsü, kesme kenar geometrisi, boşluk açısı vs.) ve kesme şartları (ilerleme hızı, kesme hızı, kesme derinliği vs.) gibi işleme parametrelerinin yanında malzemenin özelliklerine de bağlıdır [157]. Parçanın kullanım amacı, malzemesi, önceki imalat işlemleri (ısıtma işlemi vb.) son yüzey kalitesine etki eder. Her talaş kaldırma yönteminde elde edilebilecek yüzey kalitesi ve yüzey pürüzlülüğü derecesi farklıdır. Yüzey pürüzlülük değerinin doğru seçimi, malzeme, enerji ve işçilik maliyetlerine doğrudan etki eder. Hatalı seçilen bir yüzey pürüzlülük değeri, çoğu kez parçanın reddedilme gerekçesi olabilir.

Yüzey pürüzlülüğü; aritmetik ortalama değer (R_a) ve kareköklerin ortalaması (R_q) olmak üzere iki metotla belirlenir. R_q pürüzlülük ölçmede büyük sapmaları hesaba kattığı için gerçeğe daha yakın olmakla beraber, R_a daha pratiktir. R_a ve R_q değerlerinin hesaplanması Şekil 4.8’de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. R_a ve R_q değerlerinin hesaplanması [158]

Aritmetik ortalama değer (R_a) aşağıdaki eşitlikle hesaplanır:

$$R_a = \frac{a + b + c + d + \dots}{n} \quad (4.2)$$

buradaki bütün ordinatlar (a, b, c, \dots) mutlak değerlerdir. Kareköklerin ortalaması ile belirlenen yüzey pürüzlülük değeri (R_q) ise aşağıdaki eşitlikle belirlenir:

$$R_q = \sqrt{\frac{a^2 + b^2 + c^2 + d^2 + \dots}{n}} \quad (4.3)$$

Yüzey pürüzlülüğü ölçmekte kullanılan en yaygın cihaz, profilometre adı da verilen yüzey pürüzlülük ölçme aletidir. Cihaz bir izleyici kafa ve bir sinyal yükseltici/kuvvetlendiriciden oluşur. İzleyici kafada uç yarıçapı 0,013 mm olan bir elmas iğne vardır. Yüzeyde izleyici kafa otomatik olarak gezdirilir. Yüzeydeki pürüzlülükten kaynaklanan iğne hareketleri izleyici kafa tarafından elektrik dalgalarına çevrilir. Bu sinyaller yükseltici tarafından büyütülür ve cihaza kaydedilir. Göstergedeki değerler referans çizgisine göre yüzey pürüzlülüğünün aritmetik ortalamasını (R_a) veya düzeltilmiş yüzey pürüzlülük değerlerini (R_q) (ortalamanın karekökü) verir. Yüzey pürüzlülüğü karakteristikleri Şekil 4.9'da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Yüzey pürüzlülüğü karakteristikleri [158]

Talaşlı imalatta yüzey pürüzlülüğü ile yüzey kalitesini gösteren semboller arasında bir bağıntı bulunmaktadır. Çizelge 4.1’de ISO sistemine göre bu bağıntı gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Ra pürüzlülük değerleri ile yüzey kalite sembolleri arasındaki bağıntı [159]

Pürüzlülük derecesi	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12
Ra (μm)	0,025	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,3	12,5	25	50
Sembol	▽▽▽▽			▽▽▽			▽▽			▽		

4.5. Kesici Takım Aşınması

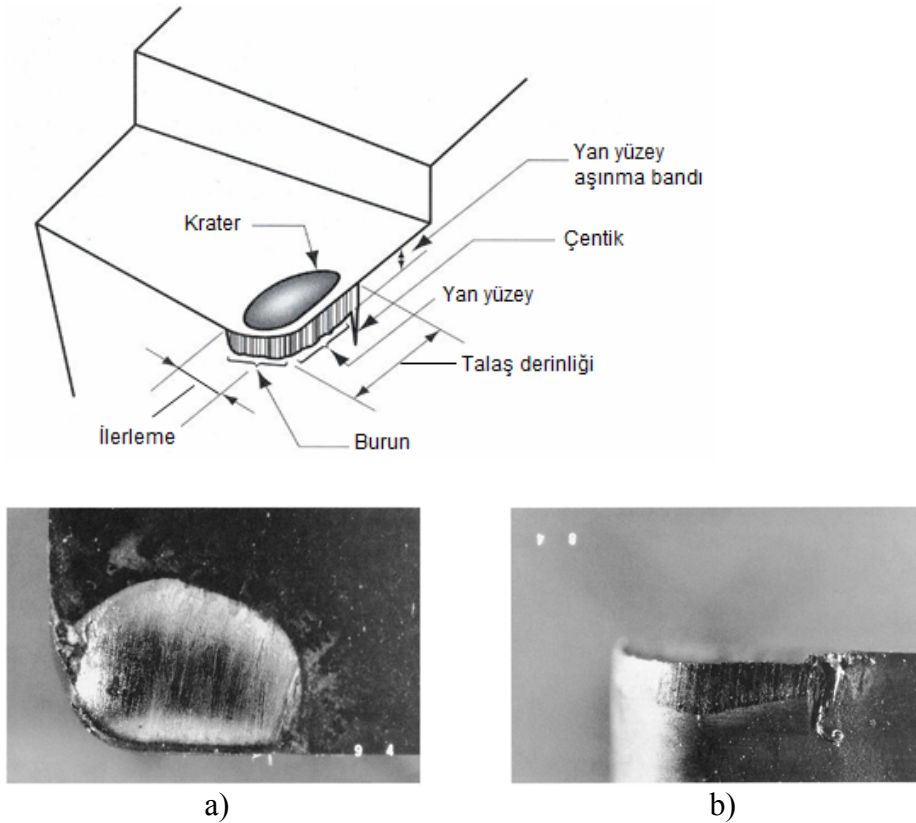
Talaş kaldırma işlemleri sırasında, kesici takımların, belli bir süre çalıştıktan sonra, kesme işlemini gerçekleştiren yüzey veya kenarlarında meydana gelen malzeme kaybından dolayı kesme yetenekleri azalır veya ortadan kalkar. Kesme sırasında etkili olan büyük kuvvetler, titreşim ve vuruntular, yüksek ısı, sürtünme ve gerilmeler sonucunda takım ucunda aşınma veya kırılma gibi geometrik değişiklikler meydana gelir ve kesici takım plastik deformasyona uğramış olur.

Talaş kaldırma işlemi esnasında kesici takımın aşınması anlayabilmek için aşağıdaki etkilerden biri veya birkaçının aynı anda gözlenmesi gerekir [160]:

- Kesme kuvvetlerindeki aşırı yükselme
- Sıcaklık artışı
- Aşırı titreşim
- Yüksek gürültü
- İşlenen malzeme boyutlarındaki değişim
- İşlenen yüzeyin bozulması

Kesici takım; kırılma, plastik deformasyon ve tedrici takım aşınması sonucunda kesme yeteneğini kaybeder. Kırılmalar genellikle takım ucuna gelen ani darbe veya

çok büyük kesme kuvvetleri neticesinde meydana gelir. Kesme işleminin aniden durma veya başlaması gibi tesirler, ani ısı değişiklikler de takımın kırılmasında önemli etkenlerdendir. Yüksek basınç ve kuvvetler, aşırı sürtünme ve yüksek ısınmadan dolayı takım ucunun aşınarak esas geometrisinin değişmesine plastik deformasyon denilmektedir. Bu durumda çıkan talaşın akışı ve biçimi değişerek kesme işlemi zorlaşmaya başlar. Tedrici takım aşınması, genellikle kesici takımın yan yüzü ve talaş yüzeyinde meydana gelir. Talaş yüzeyindeki aşınma “krater aşınması” ve yan yüzeydeki aşınma da “yan yüzey (yanak) aşınması” olarak ifade edilir. Krater aşınması, kesici takım talaş yüzeyinde talaşın hareketiyle oluşan içbükey alandır. Yan yüzey aşınması ise yeni oluşan iş parçası yüzeyi ile kesici takım yan yüzeyinin sürtünmesiyle oluşur [149, 160]. Şekil 4.10’da bu kesici takım aşınmaları gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Kesici takım ucundaki aşınmalar [156,160]
a) Krater aşınması b) Yan yüzey aşınması

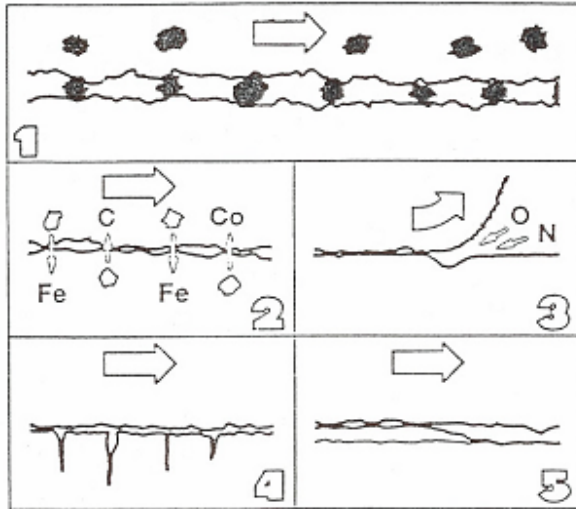
Talaş kaldırma sırasında kesici kenar üzerindeki etkili olan yük faktörlerinin bir sonucu olarak, bazı temel aşınma mekanizmaları metalden talaş kaldırma işlemine etki eder.

Bunlar:

- Abrasyon (aşındırıcılarla) aşınma (abrasiv aşınma)
- Difüzyon aşınma
- Oksidasyon aşınma
- Yorulma ile aşınma (statik veya dinamik)
- Yapışma (adhesyon) ile aşınma (adhesiv aşınma)

şeklinde özetlenebilir (Şekil 4.11).

Takım malzemesinin yüklere karşı direnç kabiliyeti, metal işlemedeki aşınma mekanizmaları tarafından nasıl etkileneceğini tayin eder [151].



Şekil 4.11. Metallerin işlenmesi sırasında temel aşınma mekanizmaları [151]

Abrasyon aşınma

Abrasyon aşınma (aşındırıcılarla aşınma-abrasiv aşınma) çok yaygındır ve buna çoğunlukla (ama tamamen değil) iş parçası malzemesinin sert parçacıkları sebep

olur. Sert parçacıklar iş parçası yüzeyi ile takım arasına geldiğinde taşlama işlemine benzer bir durum oluşur. Kesici kenarın yan yüzeyinde aşınmaya sebep olan uç üzerindeki mekanik yüklerin bir sonucudur.

Kesici kenarın abrasiv aşınmaya karşı direnç kabiliyeti, önemli ölçüde sertliğine bağlıdır. Sert parçacıkların yoğun bir şekilde sıkıştırılması ile oluşan takım malzemesi abrasiv aşınmaya karşı koyabilecektir fakat işleme sırasında oluşan diğer yük faktörleriyle başa çıkacak şekilde donatılmış olmayabilir. Abrasiv aşınma takım talaş yüzeyinde ise krater (çukur) oluşmasına neden olur .

Difüzyon aşınma (atomik yer değişirme)

Difüzyon aşınmasında, talaş kaldırma işlemi sırasında oluşan kimyasal yükler daha etkilidir. Takım malzemesinin kimyasal özellikleri ve takım malzemesinin iş parçası malzemesine olan birleşme eğilimi (kimyasal afiniti) difüzyon aşınma mekanizmasının oluşmasını belirleyecektir. Takım malzemesinin sertliği süreçte çok fazla etkili değildir. Malzemeler arasındaki metalurjik ilişki aşınma mekanizmasının büyüklüğünü tayin eder. Bazı takım malzemeleri bazı iş parçası malzemelerine karşı yüksek birleşme eğilimine sahipken bazıları iş parçası malzemelerinin çoğuna karşı asaldır, birleşme eğilimi yoktur.

Tungstenkarbür ve çelik; birbirine karşı difüzyon aşınma mekanizmasının oluşmasına sebep olan birleşme eğilimine sahiptirler. Bunun sonucu olarak, takımın talaş yüzeyi üzerinde bir çukur (krater) oluşması söz konusudur. Mekanizma daha çok sıcaklığa bağlıdır ve bu sebeple yüksek kesme hızlarında daha büyüktür. Atomik değişim ferrit ve karbonun iki-yollu transferi ile oluşur. Ferrit, çelikten takıma transfer olurken, küçük olan ve demirde harekete hazır karbon talaşa nüfuz eder [151].

Oksidasyon aşınma

Pek çok malzeme için oksitlenme oldukça farklı olmakla beraber metal malzemelerin çoğu için yüksek sıcaklık ve havanın varlığı oksidasyon demektir. Tungsten ve

kobalıtta, talaş tarafından daha kolay kazınıp uzaklaştırılabilen gözenekli oksit filmi şeklinde oluşur. Bununla beraber alüminyum oksit gibi bazı oksitler daha güçlü ve daha serttir. Bazı kesici takım malzemeleri oksidasyon sebebiyle aşınmaya diğerlerinden daha meyillidirler. Özellikle kenarla parçanın ara yüzeyinde, talaş genişliğinin bittiği yerde (talaş genişliğinde), hava talaş kaldırma sürecine katılması imkanı elde eder. Oksidasyon bu bölgede kesici kenarda tipik çentiklerin oluşmasına sebep olur. Ancak bu tür aşınma günümüzün işleme şartlarında nispeten yaygın olmayan bir durumdur .

Yorulma ile aşınma

Yorulma aşınması, genellikle termo-mekanik bir kombinasyondur. Sıcaklık dalgalanmaları ve kesme kuvvetlerinin yüklenmesi ve kaldırılması kesici takımda çatlaklara ve kırılmalara sebep olur. Kesintili kesme etkisi sürekli ısı oluşumu soğumaya ve aynı zamanda kesici kenara çarpmalarla darbelere sebep olur. Bazı takım malzemeleri yorulma mekanizmasına diğerlerinden daha duyarlıdır. Aynı zamanda, kesme kuvvetleri kesici kenarın mekanik dayanımı çok yüksek olduğunda sırf mekanik yorulma ortaya çıkabilir. Bu durum sert veya işlenmesi zor (dayanım sınırı yüksek) malzemelerin oldukça yüksek ilerleme değerleri ile işlenmesinden veya takım malzemesinin yeterince sert olmamasından kaynaklanabilir. Bununla beraber bazı durumlarda plastik deformasyonun hakimiyeti de söz konusudur [151].

Adhezyon (yapışma) aşınması

Bu aşınma aynı zamanda yıpranma aşınması olarakta bilinir. Takımın talaş yüzeyinde daha çok düşük işleme sıcaklıklarında oluşur. Uzun talaş (akma talaş) ve kısa (kopuk) talaş veren iş parçası malzemelerinin hepsinde (çelik, alüminyum ve dökme demir gibi) söz konusu olabilir. Bu mekanizma genellikle kesici kenar ile talaş arasında kenarda yığıntı talaş (BUE) oluşmasına sebep olur. Dinamik bir yapısı vardır. Talaştan birbirini takip eden katmanlar talaş yüzeyine kaynaklanarak sertleşir ve kesici kenarın bir parçası halini alır. BUE tabakası yırtılıp uzaklaşır ve tekrar birikmeye başlayabilir veya kesici kenardan küçük parçaların kırılıp uzaklaşmasına,

kırılmaya sebep olabilir. Bazı iş parçası malzemeleri, örneğin sünek çelikler gibi, bu basınçla kaynamaya diğerlerinden daha fazla eğilim gösterirler. Daha yüksek işleme sıcaklıklarına ulaşıldığında bu durum için şartlar önemli ölçüde ortadan kalkar [151].

Belli bir sıcaklık aralığı, takım ve iş parçası malzemesi arasındaki yakınlık ve kesme kuvvetleri ile oluşan yüklerin kombinasyonu adhezyon aşınması yaratır.

Deformasyonla serleştirilmiş malzemeler (örneğin, östenitik paslanmaz çelikler) işlenirken, talaş derinliğinin maksimum sınırında bu aşınma mekanizması bölgesel aşınmanın hızlanmasına neden olur. Bu durum, en yaygın çentik aşınma tipidir ve aynı zamanda takım malzemesi ile iş parçası malzemesinin yakınlığına da bağlıdır.

Aşınma tipleri

Belirtilen aşınma mekanizmaları nedeniyle meydana gelen aşınma tiplerinin sınıflandırılması, işleme tipi, malzeme için doğru işleme şartları ile takım sınıfının belirlenmesinde ve dolayısıyla kesme işleminin optimizasyonu için önemlidir [151]. Aşağıda kesici takımlarda görülebilen aşınma tipleri verilmiştir.

- Yanak aşınması : Abrasiv aşınma mekanizmasıyla oluşur.
- Krater aşınması : Abrasiv ve difüzyon aşınma mekanizmasıyla oluşur.
- Plastik deformasyon : Yorulma aşınma mekanizmasıyla oluşur.
- Çentik aşınması : Oksidasyon ve yapışma aşınma mekanizmasıyla oluşur.
- Termal çatlaklar : Isıl yorulma aşınma mekanizmasıyla oluşur.
- Mekanik yorulma çatlakları : Mekanik yorulma aşınma mekanizmasıyla oluşur.
- Çıtlama (Çentiklenme) : Yorulma aşınma mekanizmasıyla oluşur.
- Kırılma (Kesici uç kırılması) : Plastik deformasyondan sonra oluşur.
- Yığılma-sıvanma (BUE) : Adhesiv aşınma mekanizmasıyla oluşur.

4.6. İşlenebilirlik

İşlenebilirlik, kesici takımın malzeme üzerinden en iyi performansı göstererek istenilen imalat işlemini yapabilmesi olarak tanımlanabilir. İşleme araştırmalarının genel amacı, en iyi ürün kalitesi ve en düşük işleme maliyetinin oluşmasını sağlayan optimum kesme şartları için iş parçası-kesici takım etkileşimini araştırmaktır.

İşlenebilirlik bir malzemenin takımlama ve işleme süreçleri açısından tasarlanan şekilde (yüzey kalitesi ve tolerans) kolaylıkla kesilebilmesini tanımlamak için kullanılan terimdir. Bir işleme operasyonunda işlenebilirliği ölçmek için talaşların biçiminin yanı sıra ulaşılan takım ömrü, talaş kaldırma oranı, kuvvet bileşenleri, güç tüketimi ve işlenmiş parçaların yüzey kalitesi ve yüzey bütünlüğü dikkate alınır.

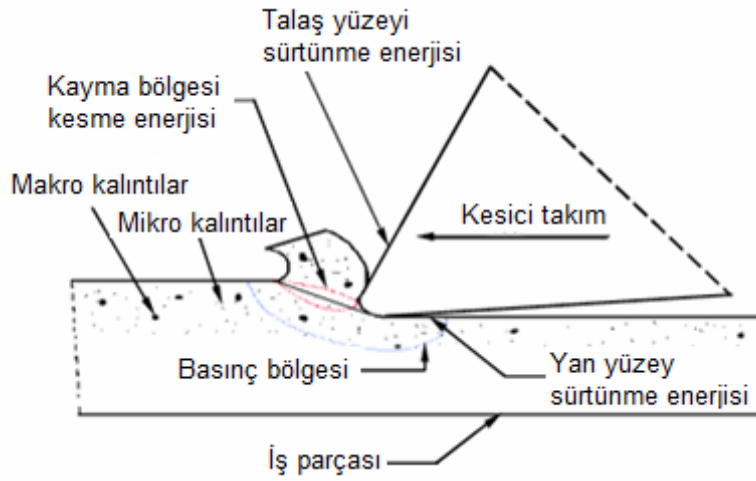
İşlenebilirlik, seçilen kesme şartları, kesici takım geometrisi ve özellikleri, işlenen malzemenin özellikleri ile kesme ortamı, takım tezgahının rijitliği gibi muhtelif faktörlerden önemli derecede etkilenebilmektedir. İşleme verimliliği, işlenen parçaların toleranslar dahilinde ve bütünlüğünü bozmadan yüksek hızda işlenmesini sağlayacak kesici takım, kesme şartları ve takım tezgahı kombinasyonunun doğru seçilmesiyle önemli oranda iyileştirilebilir [161].

İşlenebilirlik, ekseriyetle malzemenin özgül bir özelliği olarak algılansa da, sadece işlenen malzemeye bağlı olmayıp aynı zamanda işleme yöntemi ve işleme parametrelerini de kapsamaktadır [162].

İşlemeyi etkileyen parametreler; kesme hızı, ilerleme miktarı, kesme derinliği, kayma düzlemi açısı ve talaş kalınlığı, kesici takım malzemesinin mikroyapısı, takım geometrisi, takım kırılma direnci, mekanik, fiziksel ve ısıl özellikler ve sıcaklık artışı olarak sıralanabilir.

Malzemelerin işlenebilirliklerini etkileyen malzeme özellikleri sertlik, süneklik, ısıl iletkenlik, pekleşme, malzeme içindeki kalıntılar (inklüzyonlar) ve malzemenin kimyasal bileşimidir. Örnek olarak, sertlik arttıkça kesici takımında abrasif aşınma

artar ve dolayısıyla takım ömrü kısalır. Düşük sertlik ve dayanım genelde iyi işlenebilirlik anlamına gelmekle birlikte sertliği az olan çok sünek malzemelerde yığıntı talaş (BUE) oluşumu gerçekleştiği için yüzey kalitesi kötüleşir ve takım ömrü kısalır. Çok düşük sertlik talaşlı imalat işleminin performansını kötü yönde etkileyebilir [163]. Örnek olarak, nispeten düşük sertliğe sahip düşük karbonlu çeliğin işlenmesinde kötü yüzey kalitesi oluşur ve talaş uzaklaştırılmasıyla ilgili problemlerle karşılaşılır. Şekil 4.12’de işlenebilirliği etkileyen temel faktörler görülmektedir.



Şekil 4.12. İşlenebilirliği etkileyen faktörler [163]

5.MALZEME VE YÖNTEM

5.1.Kompozit Malzemelerin Üretimi

5.1.1.Takviye elemanı magnezya'nın (MgO) hazırlanması

Üretimi yapılan Al matrisli kompozit malzemede, takviye elemanı olarak Kütahya Manyezit İşletmeleri tarafından üretilen magnezya (magnezyumoksit) kullanılmıştır. Temin edilen parçacık magnezyanın kimyasal bileşimi ve bazı fiziksel özellikleri Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5. 1. Deneylerde kullanılan takviye elemanı magnezyanın bileşimi ve fiziksel özellikleri

Magnezya'nın kimyasal bileşimi			
Magnezyumoksit	Demiroksit	Silisyumdioksit	Kalsiyumoksit
%98	0,6	1	0,4
Magnezya'nın fiziksel özellikleri			
Yoğunluk (g/cm ³)			3,58
Ergime sıcaklığı (°C)			2800
Isıl iletkenlik [W/(m·K)]			32-60
Özel ısı kapasitesi (J/kg.K)			900 - 1350

Kalsine edilmiş ve granül halde 500 µm üstü parçacık magnezya, Gazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Malzeme Laboratuvar'ında bulunan, laboratuvar tipi *titreşimli elek*'te elenerek 63 µm, 105 µm, 149 µm ve 210 µm olmak üzere dört farklı tane boyutunda ayrılmıştır.

Magnezya tozlarının küresel olmayan şekilde olduğu görülmüştür. Elde edilen tozların tane büyüklükleri, yine aynı laboratuvarda bulunan, *Tane Boyutu Ölçme Cihazın*'da ölçülerek, elenen tane boyutları doğrulanmıştır.

5.1.2. Matris malzemesi

Matris malzemesi olarak olarak kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri Çizelge 5.2’de verilen % 99,7 saflığında (ETİAL 7) Al alaşımı ve sıvı alüminyum kullanılmıştır. İnfiltrasyon işleminde boru içerisine doldurulan Al parçacıkları da sıvı matris malzemesi ile aynı kimyasal bileşimde olup, 149 μm - 210 μm arasında tane büyüklüğünde ve keskin köşeli parçacıklardan meydana gelmiştir.

Çizelge 5.2. İnfiltrasyon deneylerinde kullanılacak Al sıvı matrisin bileşimi ve fiziksel özellikleri

Matris malzemesi Al'nin kimyasal bileşimi								
Si	Fe	Cu	Mn	Ti	Cr	Ni	Pb	Al
0,1	0,4	0,06	0,165	0,022	0,137	0,2	0,062	Kalan
Matris malzemesi sıvı Al'un fiziksel özellikleri								
Yoğunluk (g/cm ³)								2,70
Ergime sıcaklığı (°C)								660
Brinell sertliği (MPa)								245
Isıl iletkenlik [W/(m·K)]								237

İnfiltrasyon işlemi sırasında, sıvı matrisin boru içerisindeki takviye elemanı MgO’yu iyi ıslatabilmesi için matris elemanı içerisine % 5 oranında ilave edilen magnezyumun kimyasal bileşimi ve bazı fiziksel özellikleri de Çizelge 5.3’te verilmiştir.

Çizelge 5.3. Magnezyuma ait bazı fiziksel özellikler

Magnezyum'un fiziksel özellikleri	
Yoğunluk (g/cm ³)	1,738
Ergime sıcaklığı (°C)	650
Brinell sertliği (MPa)	260
Isıl iletkenlik [W/(m·K)]	156

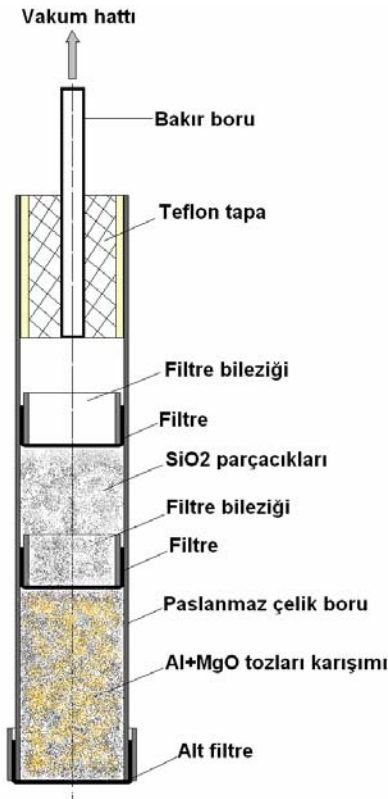
5.1.3. Deney numunelerinin hazırlanması

MMK üretiminde kullanılacak olan takviye elemanı MgO'in tane büyüklüğü 149 μm olarak belirlenmiştir. Vakumlu infiltrasyon yöntemi ile MMK üretiminde kullanılacak olan Al parçacıkları ve MgO tozları tasarlandığı şekilde Çizelge 5.4'te verilen oranlarda ve Eş.(2.4)' teki karışım kuralına göre, % 5, % 10 ve %15 takviye hacim oranı oluşturacak şekilde karıştırılarak, her bir orandan 10 adet olmak üzere toplam 30 adet numune hazırlanmıştır. Bir deney numunesi için yaklaşık 60 cm^3 toz karışımı gerektiğinden toplamda 1800 cm^3 matris ve takviye tozu homojen bir şekilde karıştırılmıştır. Tozların karıştırılması işlemi,her takviye hacim oranı için ayrı ayrı olacak şekilde hesaplanarak, Gazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Malzeme Laboratuvar'ında bulunan, karıştırma (*Turbula*) cihazı kullanılarak yapılmıştır. Karıştırma işlemi her takviye hacim oranı için 20 dakika süreyle, 60 rev/min'de gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 5.4. Numune karışım oranlarının ağırlıkları

T-H oranı	MgO (g)	Al (g)
% 5 MgO	9,83	66,53
% 10 MgO	19,70	58,74
% 15 MgO	29,49	50,71

Vakumlu infiltrasyon deneyinde, 30 mm çapında, 1 mm et kalınlığına sahip, 300 mm boyunda AISI 304 kalitesinde paslanmaz boru kullanılmıştır. Paslanmaz borunun alt kısmına, Şekil 4.1'de görüldüğü gibi, Al-MgO toz karışımının alta dökülmesini engelleyecek şekilde 75 μm göz açıklığına sahip paslanmaz çelik filtre yerleştirilmiştir. % 5, % 10 ve %15 takviye hacim oranlarında hazırlanmış olan toz karışımları 80 mm yükseklik oluşturacak şekilde boru içerisine serbest halde doldurulmuştur. Boru içerisindeki toz karışım üzerine bir filtre daha yerleştirilerek, bilezik yardımıyla bir miktar sıkıştırılmıştır. Daha sonra boru içerisine yaklaşık 70 mm yükseklik oluşturacak şekilde kuru silisyum kumu doldurularak aynı filtreden yerleştirilip sıkıştırılmıştır (Şekil 5.1).



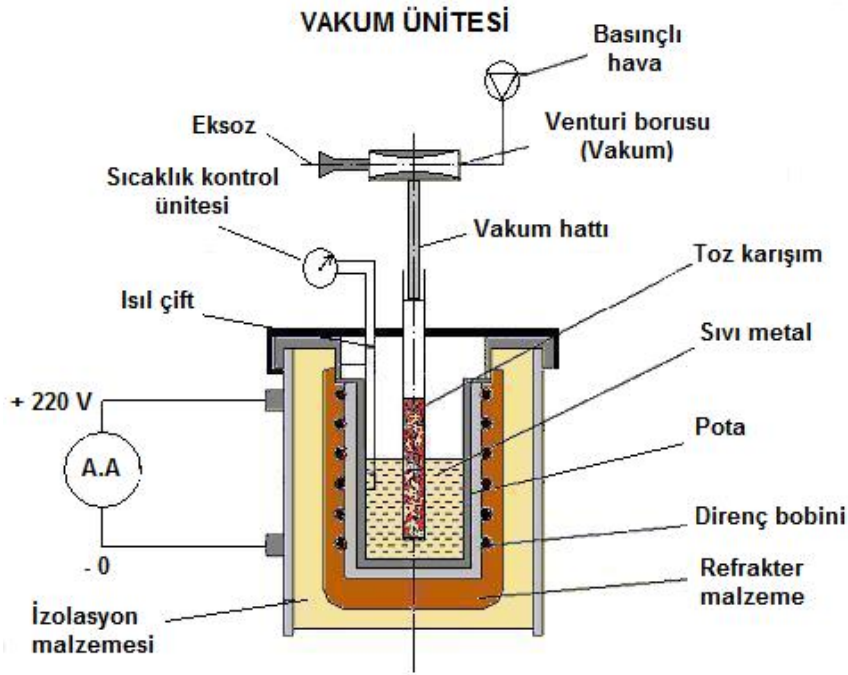
Şekil 5.1. İnfiltrasyona hazır halde doldurulmuş paslanmaz çelik boru

Boru içerisine doldurulan SiO_2 kumu, vakumlama sırasında sıvı matris malzemesinin vakum hattına ulaşarak zarar vermesini engellemek amacıyla taşımaktadır. Aynı şekilde boru içerisine yerleştirilen ilk filtre Al-MgO toz karışımının SiO_2 kumuna karışmasını engellemek için tasarlanmıştır. Üst kısımdaki filtre ise, SiO_2 kumunun vakumlama sırasında emiş borusuna ve vakum ünitesine girmesini önlemek düşüncesi ile yerleştirilmiştir. Son olarak, deney borularının üst kısmına, vakum ünitesinin bakır borusu ile deney borusunun irtibatını sağlamak ve sızdırmazlığı temin etmek amacıyla, ısıya dayanıklı teflon tapalar geçirilerek deney boruları infiltrasyona hazır hale getirilmiştir (Şekil 5.1).

5.1.4. Deneyin yapılması

Vakumlu infiltrasyon deneylerinin yapılmasında, Kırıkkale Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi Döküm Bölümü Atölyesi imkanlarından yararlanılmıştır. Deneyin

yapılmasında matris malzemesi Al'nin ergitilmesinde Çalın ve Çıtak'ın [12] geliştirdiği Şekil 5.2'de görülen ergitme ocağı ve deney düzeneği kullanılmıştır.



Şekil 5.2. Vakum infiltrasyon deney düzeneği

Şekil 5.2' de görülen deney düzeneğinin içerisine, AISI 304 kalitesinde paslanmaz çelikten imal edilmiş, 2 litre sıvı metal alabilecek kapasiteye sahip pota yerleştirilmiştir. Pota içerisine matris malzemesi olan ETİAL 7 kalitesindeki % 99,7 safiyete sahip Al parçaları, tartılarak doldurulmuştur. Ocak yakılarak matris malzemesinin ergitilmesine başlanmıştır. Matris malzemesi Al'nin takviye elemanı MgO'yu ıslatmasını kolaylaştırmak maksadıyla, pota içerisindeki Al'nin ağırlıkça % 5'ini oluşturacak şekilde magnezyum (Mg) ilave edilerek matris malzemesine karışması sağlanmıştır.

Sıcaklığın kontrolü

Matris malzemesi olan Al'nin ergime sıcaklığı 660°C olmakla birlikte, ocak içerisindeki sıvı metalin sıcaklığının 800°C 'a çıkması beklenmiştir. Sıcaklık kontrolü sıvı metale daldırılan, Cr -Ni esaslı ısıl çift (termokupul) ile yapılarak

sıcaklık değerleri elektronik göstergeden takip edilmiştir. Isıl çift ile elektronik sıcaklık göstergesi arasına kontaktör bağlantısı yapılarak, matris malzemesinin sıcaklığı ± 5 °C'da sabit tutulmuştur. Resim 5.1'de sıcaklık kontrol ünitesi ile birlikte deney düzeneği görülmektedir.



Resim 5.1. Sıcaklık kontrol ünitesi ve deney düzeneği [12]

Vakumun uygulanması

İnfiltrasyon deneyinde gerekli olan vakum, 10 bar basınç üretebilen kompresöre bağlanan, ventury prensibi ile çalışan vakum cihazı ile elde edilerek, el ile kontrol edilebilen, akış kontrol valfine bağlı manometrenin göstergesinden ölçülmüştür. İnfiltrasyon deneyleri, 500 mmHg - 600 mmHg vakum değeri aralığında yapılmıştır. Vakum değerleri ± 10 mmHg'da sabit tutulmuştur. İnfiltrasyon esnasında oluşabilecek sıcak havanın vakum ünitesini olumsuz etkilememesi için vakum cihazı ile deney borusu arasındaki bağlantı, 1 m uzunluğundaki 6 mm çapında bakır boru ile sağlanmıştır. Bakır vakum borusu, paslanmaz çelik deney borusunun üst kısmına yerleştirilen, 300 °C'a dayanabilen teflon tapa içerisinden sızdırmazlık sağlanacak şekilde geçirilerek vakum hattı tamamlanmıştır.

İnfiltrasyon işlemi

İnfiltrasyon için hazırlanan, içerisi doldurulmuş deney boruları, pota içerisindeki sıvı metal sıcaklığına ve istenilen vakum değerine ulaşıldığında, sıvı metal içerisine daldırılmaya başlanmıştır. Her deney borusu ile ayrı ayrı olmak üzere 30 adet infiltrasyon deneyi yapılmıştır. Deney işlemleri normal atmosfer şartları altında gerçekleşmiştir.

İlk olarak % 10 takviye hacim oranındaki numune sıvı matris malzemesine daldırılarak, 300 mmHg vakum değerinde, 3 dakika süre ile bekletilerek çıkartılmıştır. Deney borusu 1 saat kendi halinde soğumaya bırakıldıktan sonra içerisi açıldığında infiltrasyonun ve ıslatmanın tam oluşmadığı görülmüştür.

Bundan sonraki deneylerde, sıvı metal içerisine daldırılan deney borularına 5 dakika süre ile yaklaşık 550 mmHg değerinde vakum uygulanmıştır. İlk olarak 700 °C sıcaklıkta, daha sonra 750 °C sıcaklıkta ve son olarakta 800 °C sıcaklıktaki % 5 Mg içeren sıvı matris ile infiltrasyon deneyleri yapılmıştır.

Belirlenen vakum süresi sonunda deney boruları pota içerisinden çıkartılarak, kendi halinde soğumaya bırakılmıştır. Soğuma sonunda açılan borular içerisinden çıkartılan malzemelerin tam infiltre olduğu ve MMK malzemenin istenilen mesafede, başarılı bir şekilde üretildiği görülmüştür.

Boruların içerisindeki kompozit malzemelerin çıkartılması işlemi universal torna tezgahında yapılmıştır. Bu işlem, paslanmaz çelik borunun et kalınlığı kadar talaş kaldırmak suretiyle kompozit malzemenin ortaya çıkarılması şeklinde yapılmıştır.

Yapılan ön değerlendirmede, 149 µm parça büyüklüğündeki takviye elemanı MgO tozları ile % 5, % 10 ve %15 T-H oranlarında yapılan deneylerde, üç T-H oranı için de 550 mmHg vakum ve 800 °C sıcaklık değerlerinin, optimum infiltrasyon kriterleri olduğu kanaatine varılmıştır.

5.1.5. Yoğunluk ve gözeneklilik belirlemesi

Üretilen kompozitlerin yoğunluklarının ölçülmesi Arşimet prensibine göre Eş.5.1’de verilen eşitliğe göre hesaplanmıştır.

$$\text{Deneysel Yoğunluk} = \frac{G_{havada}}{G_{havada} - G_{suda}} \quad (5.1)$$

Burada :

G_{havada} : Kompozitin havada tartılan ağırlığı

G_{suda} : Kompozitin suda tartılan ağırlığı

Kompozitlerin havadaki ağırlıkları tespit edilmiş, daha sonra saf su içerisinde tartılan kompozitlerin ağırlıklarına göre deneysel ve teorik yoğunlukları hesaplanmıştır. Deneysel ve teorik yoğunlukları belirlenen kompozitlerin gözenek miktarları Eş.5.2’deki eşitliğe göre hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 5.5’te verilmiştir.

$$\%Gözenek = \frac{d_{Teorik} - d_{Deneysel}}{d_{Teorik}} \times 100 \quad (5.2)$$

Çizelge 5.5. T-H oranına bağlı gözenek değerleri

Takviye-hacim oranı	%5	%10	%15
Gözenek (%)	1,94	2,14	2,85

5.1.6. Sertlik ölçümleri

Üretilen MMK malzemelerin sertlik ölçümleri Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Bölümü Malzeme Laboratuvarları’nda bulunan *INSTRON WOLPERT* marka GmbH Diastestor 7551 tipi sertlik ölçüm cihazında Brinnell sertlik ölçme yöntemi kullanılarak, 31,25 kg yük altında 2,5 mm çapındaki çelik bilye ile yapılmıştır. Sertlik ölçümlerinden önce numuneler, METKON marka zımparalama makinasında sırasıyla 400#, 800# ve 1200# su zımparaları kullanılarak, yüzeylerinde

herhangi bir çentik, çizik vb. kusurlar kalmayacak şekilde zımparalanmış ve yüzeyleri parlatılmıştır. Her takviye hacim oranı için en az 10 ayrı noktadan ölçüm yapılarak ortalama değerler hesaplanmıştır.

5.1.7. Çapraz kırılma mukavemeti ölçümleri

Vakumlu infiltrasyon yöntemi ile üretilen MMK malzemelerden Çapraz Kırılma Deneyi (ÇKD) için, ASTM-B 312 ve ASTM-B 528-05 standardına uygun olarak, her T-H oranı için, 6,35×12,7×31,7 mm ölçülerinde numuneler hazırlanmıştır. Numunelerin yüzeyleri herhangi bir çentik, çizik vb. kusurlar kalmayacak şekilde zımparalanmış ve parlatılmıştır. Parlatılan numuneler, şematik olarak Şekil 5.3'te gösterilen standart çapraz kırılma deney aparatında kırılma deneyine tabi tutulmuştur. Kırma işlemi 0,05 kN/sn yükleme hızıyla ELE marka hidrolik preste gerçekleştirilmiştir. Presten elde edilen yük değerlerine (P) göre numunelerin çapraz kırılma mukavemetleri Eş.5.3'te verilen standart eşitlik ile hesaplanmıştır [164]:

$$M_{\text{çk}} = 3 \times P \times L / 2 \times h^2 \times b \quad (5.3)$$

Bu eşitlikte;

$M_{\text{çk}}$: Çapraz kırılma mukavemeti (MPa)

P : Deney parçasının kırıldığı anda ölçülen yük (N)

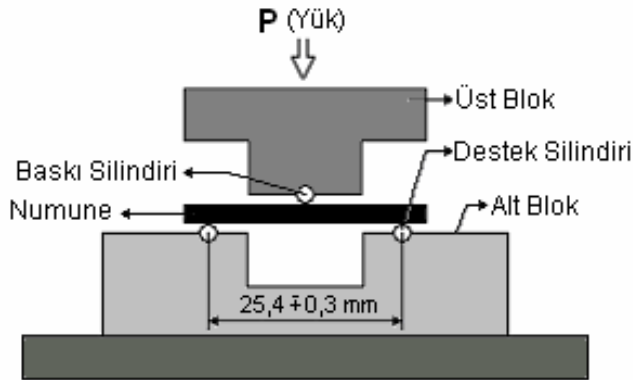
L : Destekler arası uzaklık (25,4 ± 3 mm)

h : Deney parçasının yüksekliği (6,35 mm)

b : Deney parçasının genişliği (12,70 mm)

dir.

Hesaplanan ÇKD değerleri Çizelge 5.6'da verilmiştir.



Şekil 5.3 Standart çapraz kırılma deney aparatı [168]

Çizelge 5.6.Çapraz kırılma ölçüm değerleri

Takviye-hacim oranı (T-H)	%5	%10	%15
Kırılma değeri (kN)	165,9	139,7	88,5

5.1.8. Mikro yapı incelemesi

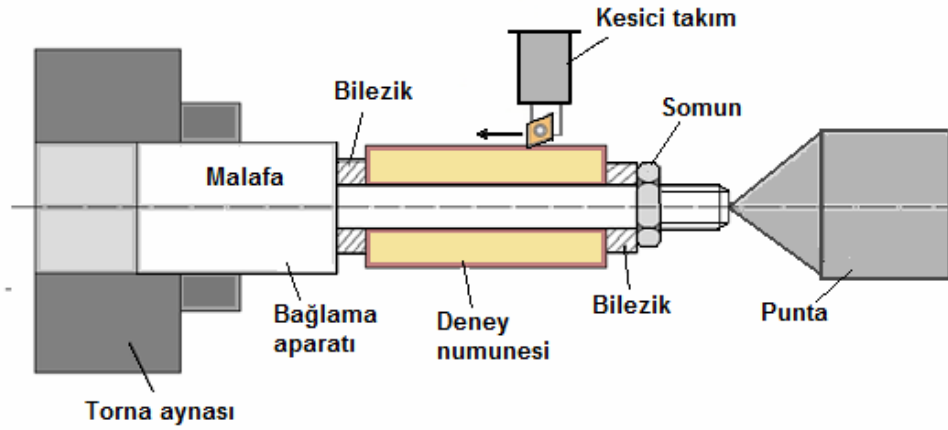
T-H oranına bağlı olarak üretilen (% 5, % 10 ve % 15) MMK'ler Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Bölümü Malzeme Anabilim Dalı Laboratuvarı'nda bulunan JEOL LSM-6060 LV marka SEM (Tarama Elektron Mikroskobu) ile mikro yapı yönünden incelenmiştir. Numunelere genel ve noktasal olarak EDS analizi yapılmıştır. Ayrıca çapraz kırılma sonucu elde edilen kırık yüzeyler SEM tarama elektron mikroskobunda incelenerek matris-takviye davranışları belirlenmiştir. Burada özellikle malzemenin yapısındaki homojenliğe ve takviye malzemesi olan MgO 'in Al matris malzemesi içerisindeki dağılımına bakılmıştır.

5.2. İşlenebilirlik Deneyleri

Vakumlu infiltrasyon yöntemi ile üretilen MMK malzemelerin ticari olarak kullanılabilirliğini belirlemek için işlenebilirlik özelliklerinin incelenmesi bu çalışmanın amaçlarından birini oluşturmaktadır. Kompozit numunelerin işlenebilirlikleri; kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve kesici takım aşınması

yönünden incelenmiştir. Talaşlı işleme deneyleri, kuru kesme şartlarında, bilgisayar sayısal denetimli (BSD) torna tezgahında, dört farklı kesme hızı, üç farklı ilerleme ve sabit kesme derinliğinde yapılmıştır.

Deney borularından çıkarılan MMK numuneler, işleme deneylerinin yapılacağı ilk ölçülere göre işlenmiştir. Hazırlanan numuneler için BSD torna tezgahında kolay, hassas ve kısa zamanda işleme şartları dikkate alınarak bir bağlama aparatı imal edilmiştir. Bağlama aparatına ait şematik görünüş Şekil 5.4’te verilmiştir.



Şekil 5.4. Numunenin bağlama aparatına yerleştirilmesi

5.2.1. Takım tezgahı

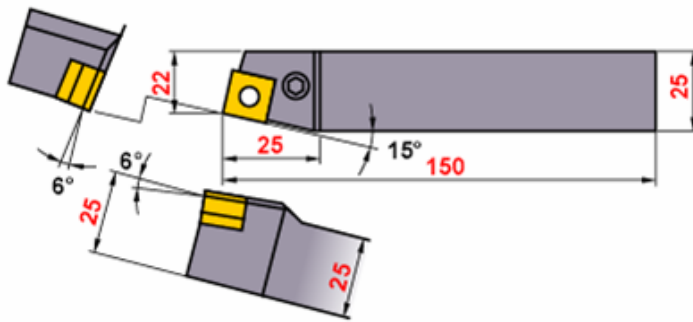
Vakumlu infiltrasyon yöntemi ile üretilmiş olan, 30 mm çapında ve 80 mm boyundaki kompozit malzemelerin işleme deneyleri, Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makina Bölümü Talaşlı Üretim Anabilim Dalı, CNC Laboratuvarı’nda bulunan JOHNFORD TC 35 marka, Bilgisayar Sayısal Denetimli (BSD) Torna Tezgahı’nda yapılmıştır. Bu tezgaha ait teknik özellikler Çizelge 5.7’de verilmiştir.

Çizelge 5.7. JOHNFORD TC 35 BSD torna tezgahının teknik özellikleri

En fazla parça bağlama boyu (mm)	1200
X ekseni (mm)	250
Z ekseni (mm)	600
Tezgah Gücü (kW)	10
Devir sayısı (rpm)	4000
Hidrolik ayna çapı (mm)	250
Hassasiyet (mm)	0,001
Takım taşıma kapasitesi (adet)	12

5.2.2. Takım tutucu

İşlenebilirlik deneylerinde, BSD tezgahının kesici takım bağlama başlığına ve dinamometre kesici takım bağlama yerine uygun olarak seçilmiştir. Talaşlı işleme deneylerinde, ISO 3685 standardında [165] belirtilen özelliklere ve deneylerin yapılacağı şartlara uygun olarak Mitsubishi Carbide marka *PSBNR 2525 M12* kodlu takım tutucu kullanılmıştır. (Şekil 5.5)



Şekil 5.5. Mitsubishi Carbide PSBNR 2525 M12 kodlu takım tutucu [165]


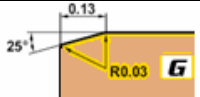
5.2.3. Kesici takımlar

Talaşlı işlenebilirlik deneylerinde aşağıda verilen, üç ayrı kaliteye sahip kesici takım kullanılmıştır:

- Sandvik marka, sementit karbür SK, (C)
- Mitsubishi Carbide marka, kübik bor nitrür, KBN, (CBN)
- Mitsubishi Carbide marka, kaplamalı kübik bor nitrür, KBN K, (CBN C)

Kesici takımların ISO kodları, yapı ve geometrik özellikleri ile teknik bilgileri Çizelge 5.8’de verilmiştir.

Çizelge 5.8. Kullanılan kesici takımların özellikleri [160, 165, 166]

Kesici Takım Kodu	Kalite Üretici Kodu	Ana karbür yapısı	ISO geometri Tanımlama kodu	Kesici takım geometrisi
SK (C)	Sandvik 432 H1P	WC-TiCTaC Bağlayıcı: Co	SNMA120408	0° 
KBN (CBN)	Mitsubishi MB8025	KBN Bağlayıcı: TiN, Al ₂ O ₃	SNGA120408G2	 Honlanmış
KBN K (CBN C)	Mitsubishi MBC010	KBN Bağlayıcı: TiN, Al ₂ O ₃	SNGA120408GS2	 Honlanmış

5.2.4. Kesme parametreleri

İşlenebilirlik deneyleri, seçilen kesici takımlarla, üç takviye hacim oranına ait numuneler üzerinde, kuru kesme şartlarında, BSD torna tezgahında, dört farklı kesme hızı, üç farklı ilerleme ve sabit kesme derinliğinde yapılmıştır. Toplamda 108 adet talaşlı işleme deneyi gerçekleştirilmiştir. Kesme hızları, kesici takım üreticilerinin önerileri ve literatürdeki çalışmalar dikkate alınarak belirlenmiştir. Kesme derinliği ve ilerleme hızları ise ISO 3685’te belirtildiği gibi kesici takım uç yarı çapına bağlı olarak, gereken değer aralığında olacak şekilde seçilmiştir. Seçilen kesme parametreleri ve seviyeleri Çizelge 5.9’da verilmiştir.

Çizelge 5.9. İşlenebilirlik deneylerde kullanılan kesme parametreleri ve seviyeleri

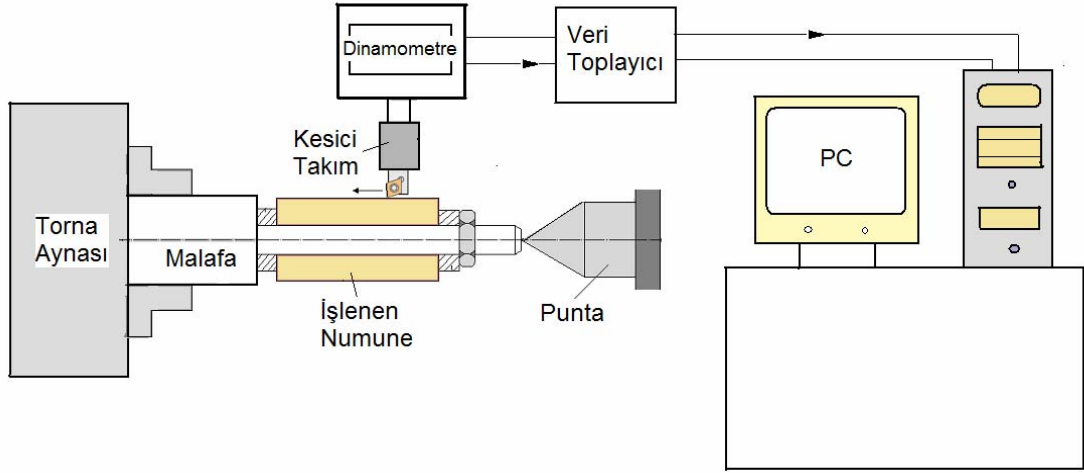
Kesme derinliği (a), mm	İlerleme hızı (f), mm/rev	Kesme hızı (V), m/min
1	0,075 - 0,15 - 0,225	150 - 200 - 250 - 300

5.2.5. Kesme kuvvetlerinin ölçülmesi

İşleme deneylerindeki kesme kuvvetlerinin ölçülmesinde, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Bölümü Talaşlı Üretim Anabilim Dalında daha evvel DPT projesi kapsamında temin edilmiş, üç kesme kuvveti bileşenini (F_z , F_y ve F_x) aynı anda ölçme kapasitesine sahip kristal esaslı kuartz KISTLER 9257B tipi dinamometre kullanılmıştır. Bu dinamometrenin teknik özellikleri Çizelge 5.10'da verilmiştir. Kesme kuvvetleri, her bir deneyde talaş kaldırma süresince ölçülmüştür. Sonuçların grafik olarak elde edilmesi için, yine bir Kistler ürünü olan *Dynoware* isimli bilgisayar yazılımı kullanılmıştır. Bu program yardımıyla kesme kuvvetlerinin üç bileşeni için kesme süresince elde edilen kuvvet değerlerinin ortalamaları alınmıştır. Kesme kuvvetlerini ölçen deney düzeneğinin şematik gösterilişi Şekil 5.6'da verilmiştir.

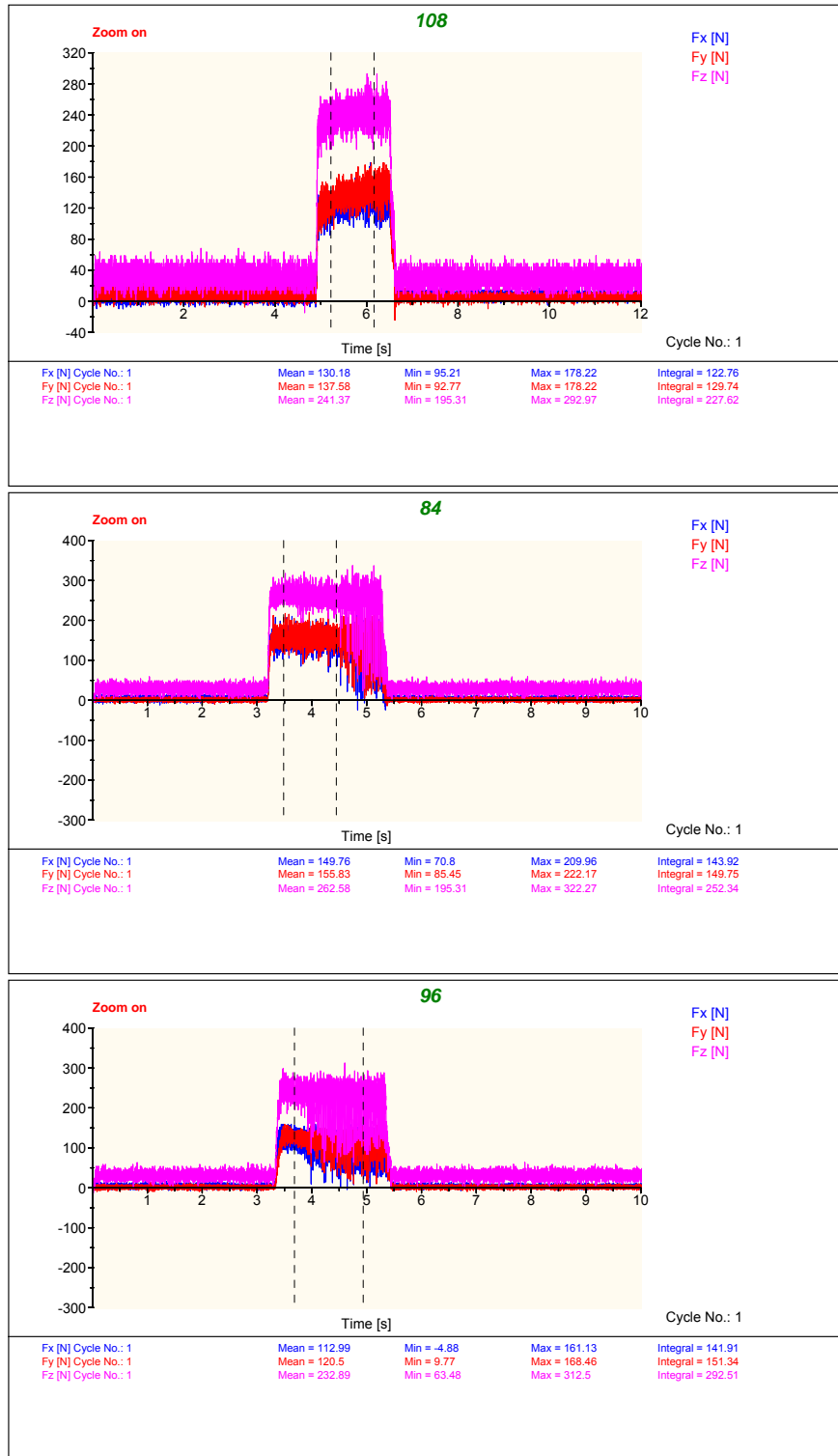
Çizelge 5.10. KISTLER 9257B tipi dinamometrenin teknik özellikleri

Kuvvet aralığı (kN)	(F_x , F_y , F_z)	-5...10
Tepki verme (N)		< 0,01
Hassasiyet (pC/N)	F_x , F_y	-7,5
	F_z	-3,5
Doğrusallık		%1 FSO
Histerezis		% 0,5 FSO
Doğal frekans f_0 (x,y,z) (kHz)		3,5
Çalışma sıcaklığı (°C)		0...70
Kapasitans (pF)		220
20°C'daki yalıtım direnci (Ω)		> 1013
Topraklama yalıtımı (Ω)		> 108
Koruma sınıfı		IP 67



Şekil 5.6. Kesme kuvvetleri ölçme deney düzeneği

Kistler *Dynoware* yazılımı kullanılarak elde edilen her deney için, kesme kuvveti bileşenlerindeki değişimi gösteren ve dinamometreden alınmış örnek grafiklerden biri Şekil 5.7’de verilmiştir



Şekil 5.7. Kesme kuvvetlerinin ölçülmesinde dinamometreden alınmış örnek grafik

5.2.6. Yüzey pürüzlülüklerinin ölçülmesi

İşlenen kompozit numunelerin yüzey pürüzlülüklerinin ölçülmesinde Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makina Bölümü Talaşlı Üretim Anabilim Dalında bulunan Mahr Perthometer M1 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ölçme cihazının teknik özellikleri Çizelge 5.11’de verilmiştir. Ölçüm işlemleri ISO 4288’e uygun olarak yapılmıştır [166]. Pürüzlülük ölçümünde örnekleme uzunluğu 0,25 mm ve ölçüm uzunluğu 1,75 mm seçilmiştir. İşlenen her bir bölgeden üçer yüzey pürüzlülüğü ölçümü yapılmış ve bunların aritmetik ortalaması alınarak ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri belirlenmiştir.

Çizelge 5.11. Mohr Perthometer M1 yüzey pürüzlülüğü ölçme cihazının teknik özellikleri

Model	M1
Tarama hızı	0,5 m/sn
Tarama kuvveti	0,75 mN
İğne uç yarı çapı	2 μ m
Ölçüm aralıkları	100 -150 μ m
Profil çözünürlüğü	12 mm
Filtre	Gausion
Örnekleme uzunluğu (Cut-off length)	0,25 - 0,8 - 2,5 (mm)
Ölçme uzunluğu (L)	1,75 - 5,6 – 17,5 (mm)
Ölçülen parametreler	Ra, Rz, Rmax

5.2.7. İşlenebilirliğin değerlendirilmesi

Vakumlu infiltrasyon yöntemi ile üretilen, % 5, %10 ve %15 magnezya (MgO) parçacık takviyeli Al matrisli kompozitlerin işlenebilirlik deneylerinden sonra, kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve kesici takım aşınmalarına ait sonuçlar değerlendirilmiştir. İşlenebilirlik sonuçlarının değerlendirilmesi SK, KBN ve KBN K takımlar için ayrı ayrı yapılmıştır.

Kesme kuvvetleri, Fz, Fx ve Fy (karşılığı olarak Fc, Ff ve Fr) olmak üzere, üç ayrı bileşende; 1 mm sabit kesme derinliğinde, 20 mm ilerleme boyunda, 0,075 mm/rev -

0,15 mm/rev - 0,225 mm/rev ilerleme değerlerinde ve 150 m/min - 200 m/min - 250 m/min - 300 m/min kesme hızlarındaki ölçümlerin sonuçları garafiklere aktarılmış ve değerlendirilmiştir. Deneyler iki kez tekrarlanmış ve her iki deney sonucu ölçülen değerlerin ortalaması alınmıştır.

Yüzey pürüzlülük ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesinde de kesme kuvvetlerindeki gibi SK, KBN ve KBN K takımlar için ayrı ayrı olmak üzere üç farklı ilerleme ve dört ayrı kesme hızı değerinde elde edilen sonuçlar grafiklere aktararak değerlendirilmiş olup ayrıca çizelge olarak da verilmiştir. Ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra), ölçümleri işleme yönünde, çevresel olarak üç farklı bölgeden yapılmış, iki deney tekrarı için altı değerin aritmetik ortalaması alınarak değerlendirilmiştir.

Kesici uçlarındaki aşınma davranışlarını değerlendirmek üzere elde edilen SEM görüntüleri incelenmiştir. % 5 MgO, % 10 MgO ve % 15 MgO kodlu numunelerin işlenmesinde kullanılan SK, KBN ve KBN K kesici takımların, 150 m/min kesme hızı ve 0,225 mm/rev ilerleme parametrelerinde kullanılan uçlarına ait aşınma davranışları SEM görüntülerinden faydalanmak suretiyle değerlendirilmiştir.

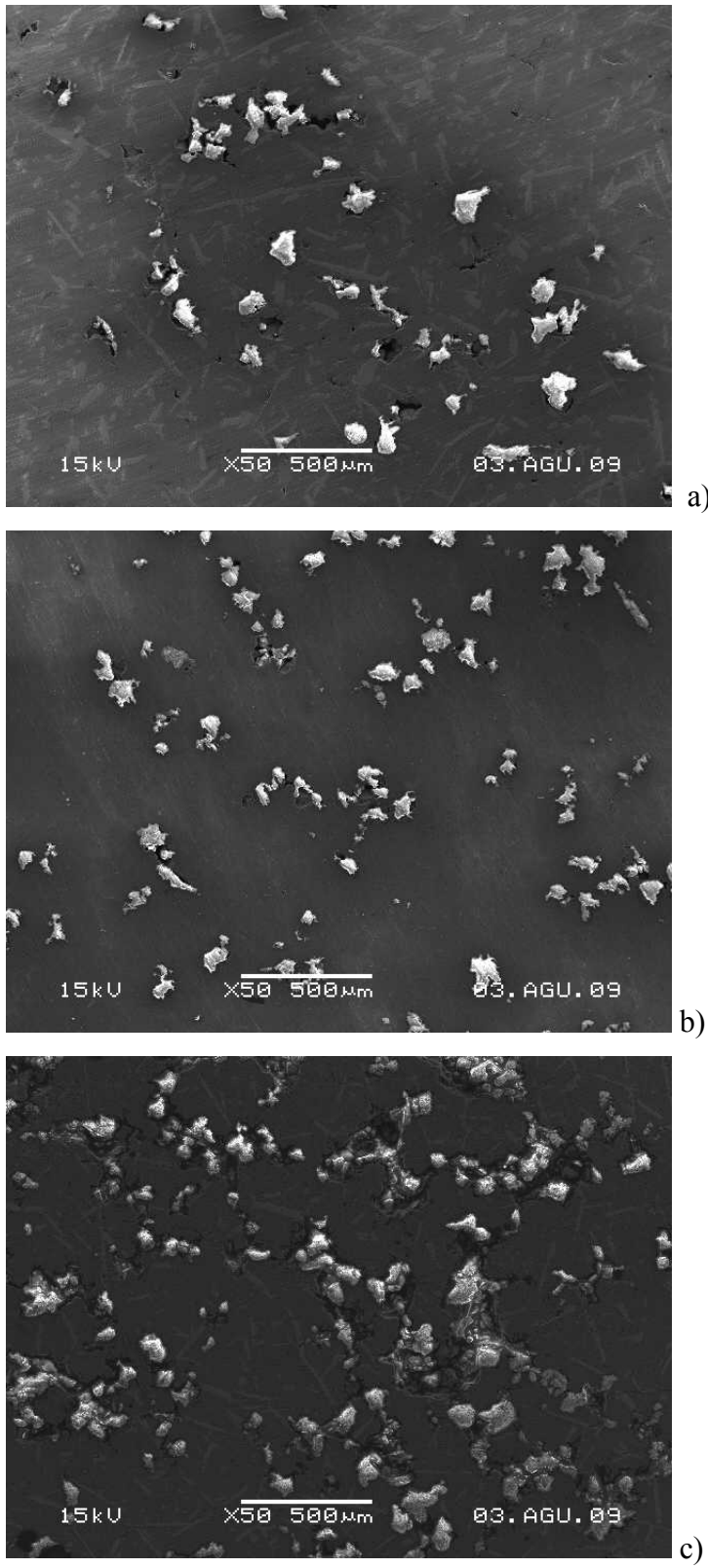
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

6.1. Üretilen MMK Numunelere Ait Sonuçların Değerlendirilmesi

6.1.1. Numunelerin mikroyapı özellikleri ve takviye hacim (T-H) oranının MgO parçacık dağılımına etkisi

Bu araştırmada Al matrisli ve magnezya (MgO) parçacık takviyeli kompozitler vakum infiltrasyon yöntemi ile üretilmiştir. Kompozitlerin mikroyapı incelemeleri taramalı elektron mikroskopunda (SEM) yapılmıştır. 149 µm boyutundaki MgO parçacıklarına, 550 mmHg vakum altında, 750 °C sıcaklıktaki, % 5 Mg içeren sıvı Al matris 5 dakika süreyle infiltre edilmiştir.

% 5, % 10 ve % 15 T-H oranındaki kompozitlerin SEM görüntüleri Resim 6.1'de verilmiştir.



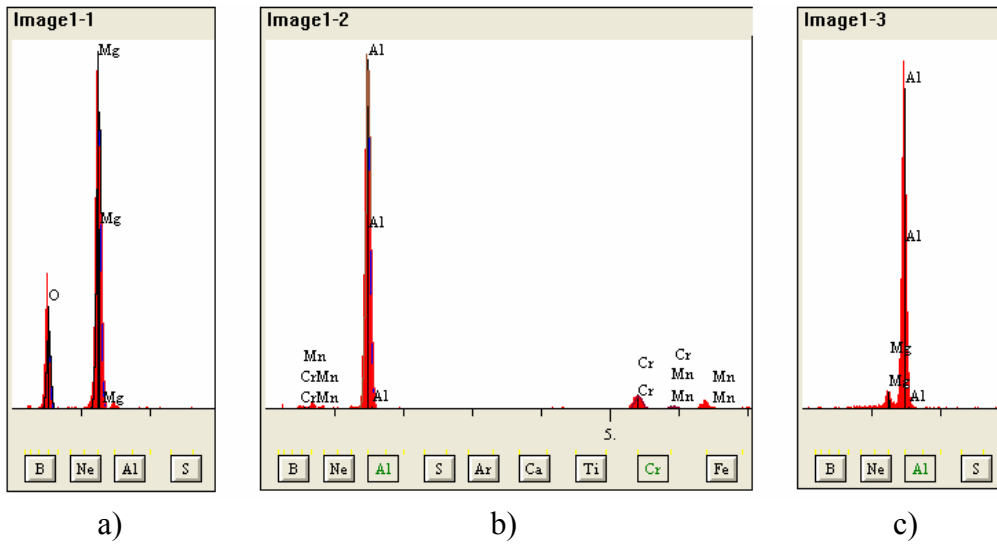
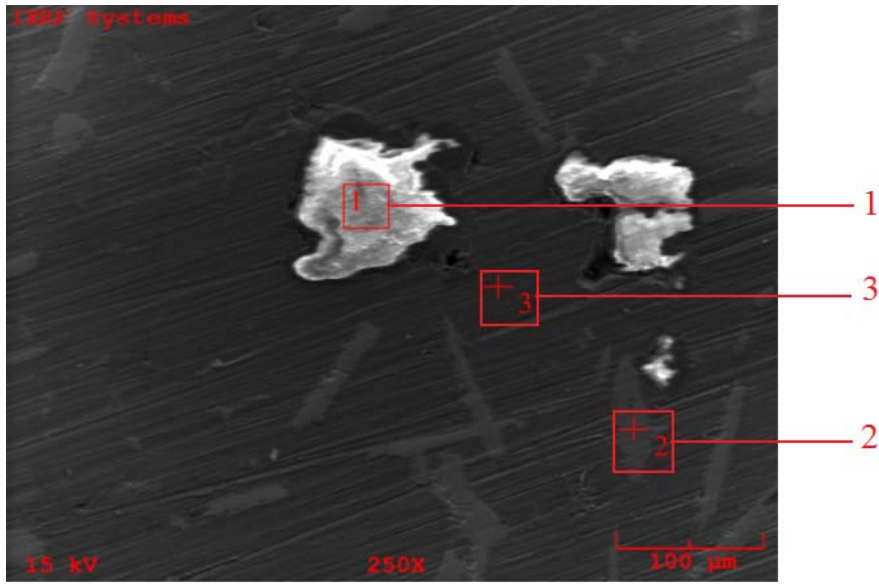
Resim 6.1. T-H oranına bağılı olarak 550 mmHg vakumda, 800 °C sıcaklıkta ve 5 dakika sürede üretilen kompozitlerin mikroyapıları
a) % 5 MgO b) %10 MgO c) %15 MgO

Tarama Elektron Mikroskobu (SEM) görüntüleri incelendiğinde; takviye-hacim oranının artmasıyla, MgO parçacıklarının üretilen kompozitlerin içerisinde, homojen dağılımının da arttığı görülmektedir. % 5 MgO takviyeli kompozitte takviye elemanın homojen dağılmadığı görülmektedir. Bu duruma düşük takviye-hacim oranlarında blok parça içerisinde bulunan Al tozlarının fazla olması ve Al tozlarının ergimesiyle takviyeyi sürüklemesi sebep olmaktadır. En az homojen dağılımın % 5 T-H oranına sahip numunede olduğu, % 10 T-H oranında biraz daha iyileştiği, % 15 T-H oranında ise istenilene yakın bir homojenlikte parçacık dağılımının olduğu görülmektedir.

Ayrıca, deneyler sırasında Al ve MgO parçacıklarının karıştırılması işlemi ideal şartlarda yapılmasına rağmen MgO parçacıklarının özgül ağırlıklarının Al tozlarına göre fazla oluşu ve MgO parçacıklarının infiltrasyon borusu içerisinde tabana doğru hareket etme eğiliminin, parçacıkların tam homojen olarak karışmalarını engellediği sonucuna da varılabilir.

Bunların dışında, numuneler üzerinde farklı bölgelerden yapılan EDS analizleri ile kompozit içerisindeki, Al matris malzemesi ve MgO takviye elemanı incelenmiştir.

Şekil 6.1'de % 5 MgO T-H oranlı kompozitin mikroyapısı ve farklı bölgeden alınan EDS analiz sonuçları verilmiştir.



Şekil 6.1. % 5 MgO T-H oranlı, 550 mmHg vakumda, 800 °C sıcaklıkta ve 5 dakika sürede üretilen kompozitin üç farklı bölgeden alınan EDS analiz sonuçları
a)1. Bölge analizi b) 2. Bölge analizi c) 3. Bölge analizi

EDS analizleri incelendiğinde: 1 nolu bölgedeki parçacığın takviye elemanı MgO olduğu görülmektedir. 2 nolu bölgede iğnemiş şekilli ayrı bir faz tespit edilmiştir. Bu bölgedeki malzemenin, büyük oranda matris malzemesi olan Al olduğu ancak bir miktar Cr içerdiği anlaşılmaktadır. Sıvı matris içerisinde tespit edilen Cr'nin sebebi olarak; matris malzemesi Al'nin ergitildiği Cr Ni esaslı paslanmaz çelik potadan etkilendiği görülmektedir. Buna uzun süreli çalışmanın sebep olduğu söylenebilir. 3

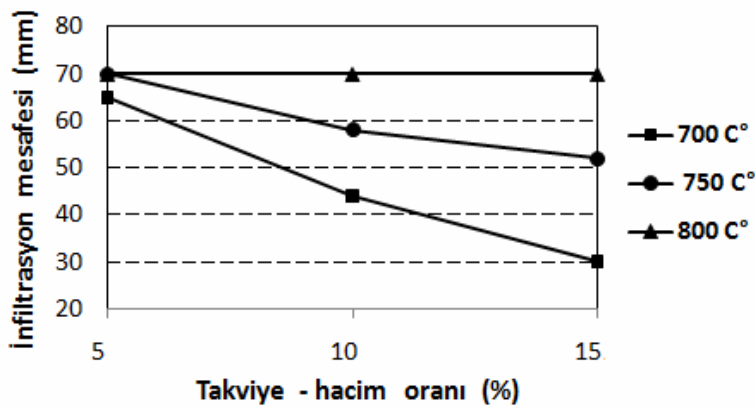
nolu bölgedeki malzemenin ise matris malzemesi Al olduğu ancak içerisinde bir miktar Mg bulunduğu görülmektedir. Bu Mg'nin, ıslatmayı kolaylaştırmak üzere sıvı matris içerisine ilave edilen % 5 oranındaki Mg'dan kaynaklandığı belirlenmiştir.

6.1.2. Takviye hacim oranının infiltrasyon mesafesine etkisi

% 5, % 10 ve % 15 takviye hacim oranına sahip, 149 μm boyutundaki MgO tozları ile, 550 mmHg vakumda, % 5 Mg içeren sıvı matrisle, 5 dakika süre ile, 700 $^{\circ}\text{C}$, 750 $^{\circ}\text{C}$ ve 800 $^{\circ}\text{C}$ sıcaklıklarda infiltrasyon deneyleri yapılmıştır. Kompozitlerin takviye hacim oranı ve sıvı matris sıcaklığına bağlı infiltrasyon mesafeleri Çizelge 6.1 ve Şekil 6.2'de görülmektedir.

Çizelge 6.1. 550 mmHg vakumda, 5 dakika sürede, farklı sıcaklıklarda yapılan deneylerde, MgO T-H oranına bağlı infiltrasyon mesafeleri

% MgO	İnfiltrasyon sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)		
	700 $^{\circ}\text{C}$	750 $^{\circ}\text{C}$	800 $^{\circ}\text{C}$
	İnfiltrasyon mesafesi (mm)		
5	65	70	70
10	44	58	70
15	30	52	70



Şekil 6.2. 550 mmHg vakumda, 5 dakika sürede, 800 $^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta yapılan deneylerde, MgO T-H oranına bağlı infiltrasyon mesafesinin değişimi

Çizelge 6.1 ve Şekil 6.2’de görüldüğü gibi 149 µm takviye tane boyutundaki % 5 takviye hacim oranındaki tozlarla 700 °C sıcaklıkta 65 mm, 750 °C, 800,°C sıcaklıklarda yapılan deneylerde 70 mm infiltrasyon mesafesi elde edilmiştir. T-H oranının % 10’a çıkmasıyla 700 °C sıcaklıkta 44 mm infiltrasyon mesafesi elde edilmiştir. 750 °C sıcaklıkta yapılan infiltrasyon deneylerinde 58 mm infiltrasyon sağlanmıştır. % 15 takviye hacim oranındaki tozlarda 700 °C sıcaklıkta 30 mm infiltrasyon sağlanırken, sıcaklığın 750 °C’a çıkmasıyla infiltrasyon mesafesi 52 mm’ye yükselmiştir. Bütün takviye hacim oranlarında istenilen infiltrasyon mesafesi 800°C sıcaklıkta elde edilmiştir.

Çizelge 6.1 ve Şekil 6.2’de görüldüğü gibi bu sonuçlar bir çok sistemde olduğu gibi MgO-Al sisteminde de sıcaklığın önemli bir parametre olduğunu göstermektedir. Deney sonuçlarına bakıldığında takviye-hacim oranının azalmasıyla infiltrasyon mesafesinin arttığı, sıvı matris sıcaklığının artmasıyla da infiltrasyon mesafesinin arttığı gözlenmiştir. Buna, sıcaklığın artmasıyla blok parça içerisinde bulunan alüminyum tozlarının ergiyerek, sıvı matrisin blok parça içerisine daha kolay infiltre olduğu söylenebilir.

Ayrıca sıcaklığın artmasıyla sıvı alüminyum matrisin yüzey gerilimi azaldığından kılcallık kanununa göre infiltrasyon için gerekli kılcal basıncı azaltarak infiltrasyonu artırıcı etki yaptığı ifade edilebilir.

Benzer olarak Çalın-Çıtak [14] MgO - 0,5Al sisteminde, Chong S.Y., [51] Al/SiC sisteminde, Demir ve Altınkok, [52] Al-Al₂O₃ /SiC sisteminde infiltrasyon sıcaklığının önemli bir parametre olduğunu ve artan sıvı matris sıcaklıklarında infiltrasyon davranışının arttığını belirtmişlerdir. Ayrıca Contreras ve ark., [53] Mg/TiC sisteminin basınçsız infiltrasyonunda bu çalışmadakine benzer sonuçlar elde etmişlerdir.

6.1.3. Takviye hacim oranının gözenek oluşumuna etkisi

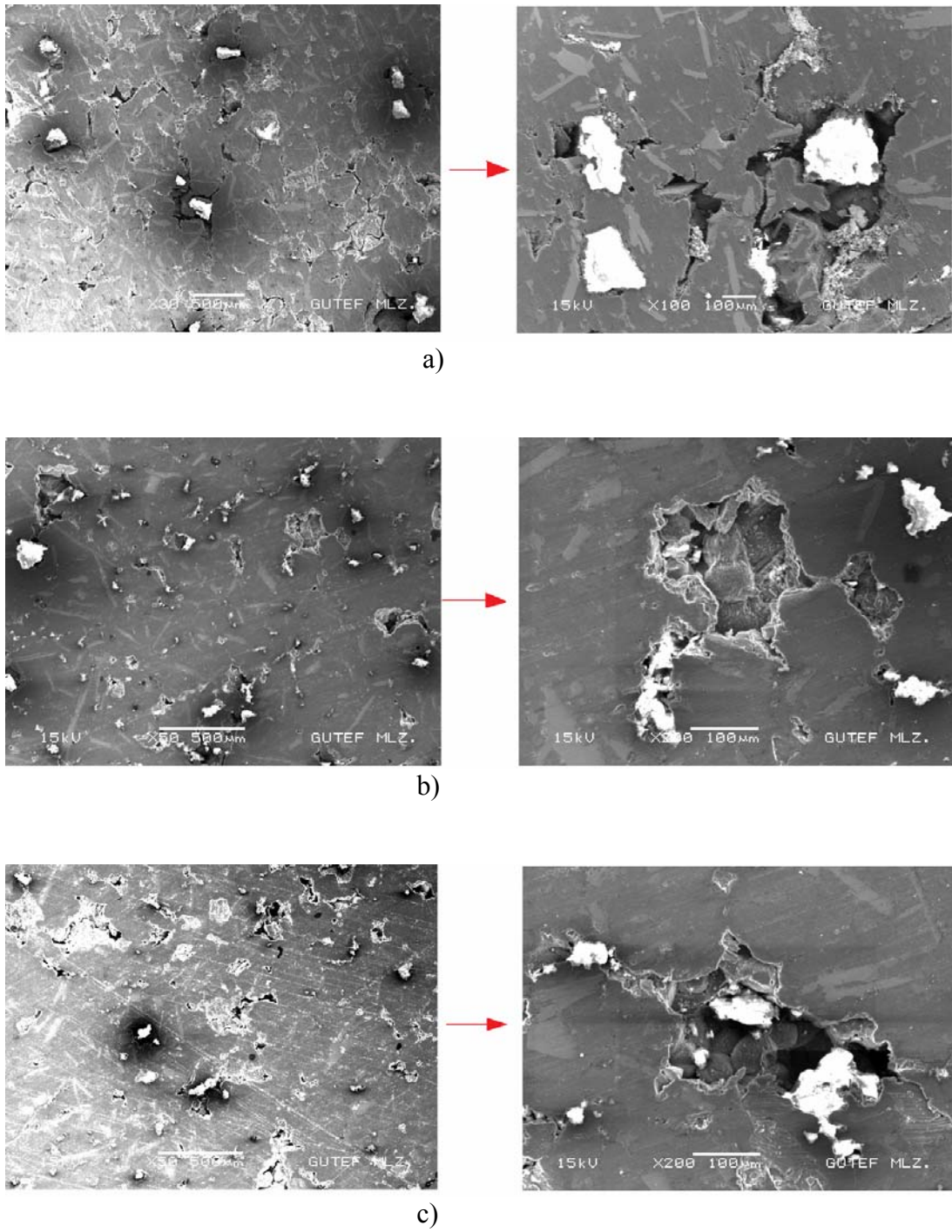
Takviye-hacim oranına bağlı olarak 800 °C sıcaklıkta üretilen numunelerin teorik ve deneysel yoğunluk hesaplamaları yapılarak gözeneklilik ölçüm sonuçları Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.2. 500 mmHg vakumda, 800 °C sıcaklıkta ve 5 dakika sürede üretilen kompozit numunelerin T-H oranına bağlı gözenek değerleri

T- H oranı	%5	%10	%15
% Gözenek (800°C)	1,94	2,14	2,85

800 °C infiltrasyon sıcaklığında üretilen kompozitlerin, % 5 takviye hacim oranında gözenek miktarı % 1,94 olurken, % 10 takviye hacim oranında % 2,14 ve % 15 takviye hacim oranında % 2,85 gözenek miktarları elde edilmiştir. Takviye-hacim oranının artmasıyla üretilen kompozitlerin gözenek miktarlarının arttığı belirlenmiştir. Resim 6.2’de farklı T-H oranlarında üretilen kompozitlerin tarama elektron mikroskopunda çekilen mikroyapıları görülmektedir. Al tozları etrafında oluşan oksit tabakası sıvı matris tarafından kırılmadığından ve sıvı matris bu bölgelere infiltre olamadığından daha gözenekli yapıda bir kompozit üretilmiştir.

Resim 6.2’de görüldüğü gibi gözeneklerin takviye-matris arayüzeyinde olduğu görülmektedir. Artan T-H oranlarında MgO parçacıklarının da artmasının daha fazla gözenek oluşturduğu görülmektedir. Benzer sonuçlar Çalın-Çıtak, Acılar [14,54] tarafından da belirtilmiştir.



Resim 6.2. T-H oranına bağlı olarak 550 mmHg vakumda, 800 °C sıcaklıkta ve 5 dakika sürede üretilen kompozitlerin gözeneklilik görüntüleri
 a) % 5 MgO b) % 10 MgO c) % 15 MgO

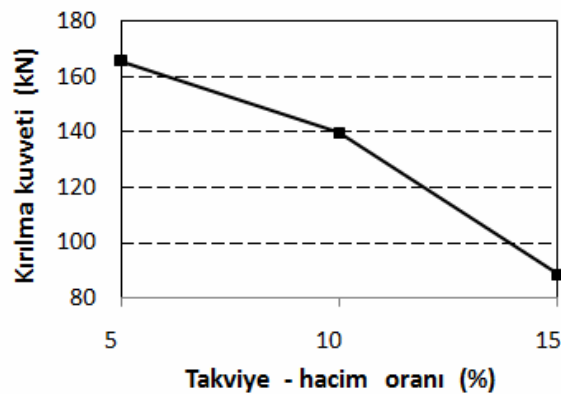
Farklı sıcaklıklarda üretilen kompozit malzemelerde, düşük sıcaklıklarda tozlarla sıvı matris arasında gözenekli bir yapı elde edilmiştir. Sıcaklığın artmasıyla Al tozlarının eriyerek infiltre olan Al ile daha iyi karıştığı ve boşlukları daha iyi doldurduğu görülmektedir. Bu durumun Al tozları etrafında oluşan oksit tabakasının sıvı matris tarafından kırılarak sıvı Al'un gözenekli yapıya kolay infiltre olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu sonuçlara göre gözenekliliğin azaltılmasında; takviye-hacim oranının artması ile sıvı matris sıcaklığının artırılması gerektiği ortaya çıkmaktadır.

6.1.4. Çapraz kırılma deney sonuçlarının takviye hacim oranına bağlı olarak değerlendirilmesi

Çizelge 6.3 ve Şekil 6.3'de, 800°C sıcaklıkta yapılan infiltrasyon deneylerinde üretilen MMK malzemelerde, takviye-hacim oranına bağlı olarak çapraz kırılma deney sonuçları verilmiştir.

Çizelge 6.3. 550 mmHg vakumda, 800 °C sıcaklıkta ve 5 dakika sürede üretilen kompozit numunelere ait çapraz kırılma ölçüm değerleri

Takviye-hacim oranı (%)	5	10	15
Kırılma kuvveti (kN)	165,9	139,7	88,5

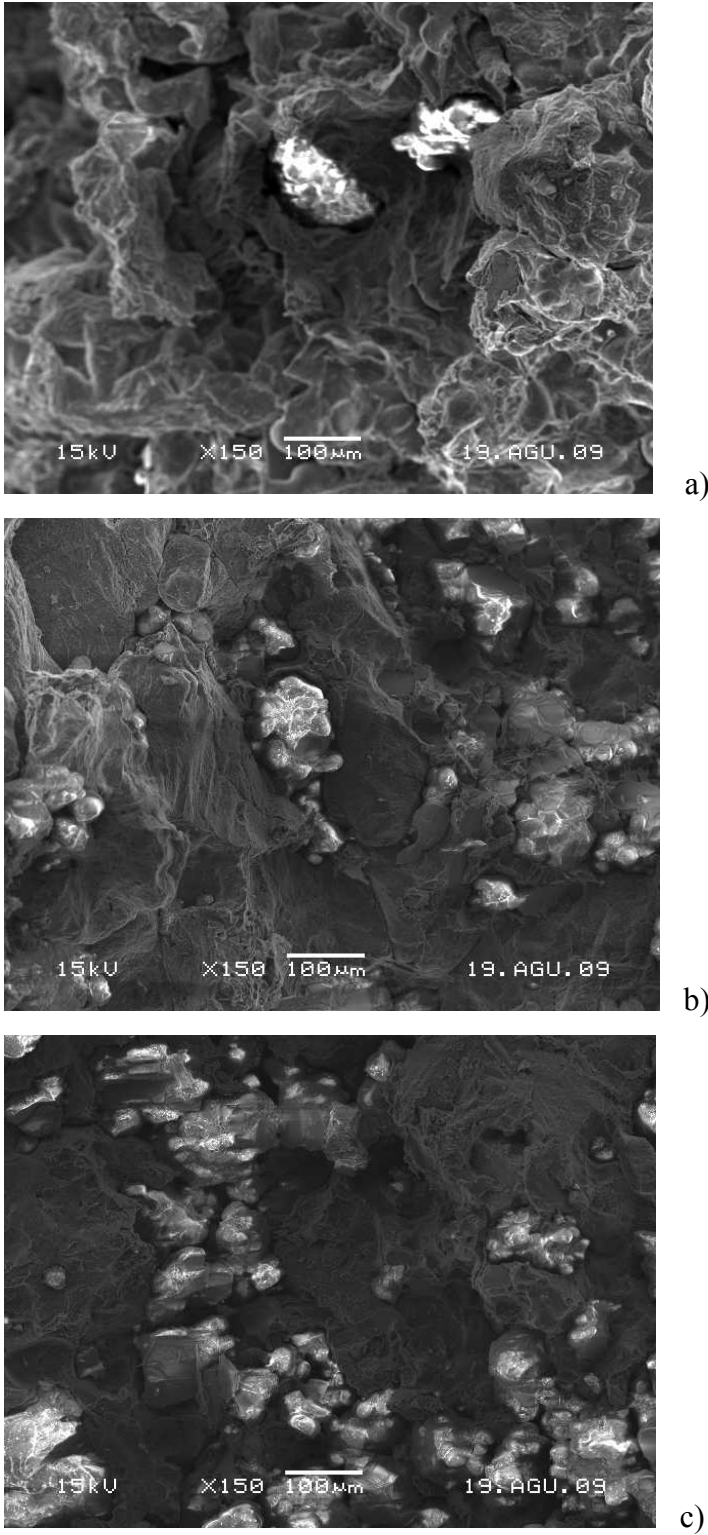


Şekil 6.3. 550 mmHg vakumda, 800 °C sıcaklıkta ve 5 dakika sürede üretilen kompozit numunelere ait T-H oranı ve kırılma dayanımı ilişkisi

Çizelge 6.3 ve Şekil 6.3'e bakıldığında üretilen kompozit malzemelerin, % 5 T-H oranında 165,9 kN, %10 T-H oranında 139,7 kN ve % 15 T-H oranında ise 88,5 kN çapraz kırılma dayanımı değerleri görülmektedir. Çizelge 6.3 ve Şekil 6.3'te görüldüğü gibi takviye hacim oranının artmasıyla kompozitlerin kırılma dayanımı azalmaktadır. Bu durum, Çalın [12] ve Chong'un [51] çalışmalarına benzer olarak artan takviye-hacim oranında MgO parçacıklarının etrafındaki gözeneklerinde artmasından kaynaklanmaktadır. Gözenekler malzemelerin kırılma tokluğunu kötü yönde etkilemektedir. Burada da aynı şekilde artan gözeneklerin kırılma dayanımını düşürdüğü sanılmaktadır. Kompozit içerisinde gözenek miktarının artmasıyla mekanik özellikler olumsuz yönde etkilenmiştir.

Ayrıca, kompozit numuneler içerisindeki takviye elemanı MgO parçacıklarının kırılma esnasında çentik etkisi yaparak kırılma dayanımını olumsuz yönde etkilediği düşünülmektedir. Numuneler içerisindeki MgO oranının artmasıyla, kırılma dayanımının da bu duruma paralel olarak azalmasının ve en düşük kırılma dayanımının 88,5 kN ile % 15 T-H oranlı numunede gerçekleşmesinin ikinci sebebi olarakta takviye elemanını oluşturduğu çentik etkisini söylemek mümkündür.

Çapraz kırılma deneylerinden sonra numunelerin kırık yüzeyleri SEM'de incelenmiştir. T-H oranı % 5, % 10 ve % 15 olan numunelerin kırılma yüzey görüntüleri, Resim 6.3'te verilmiştir.

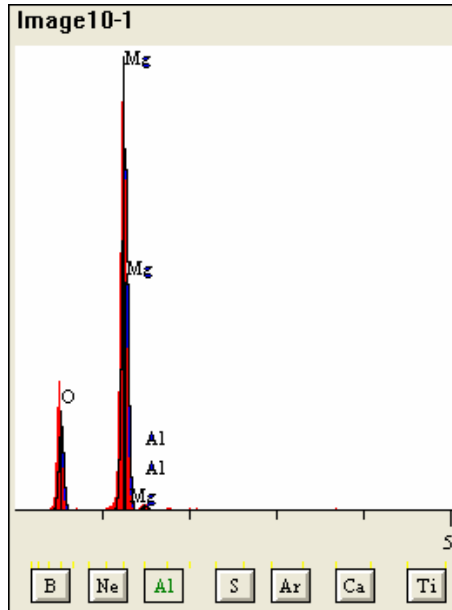
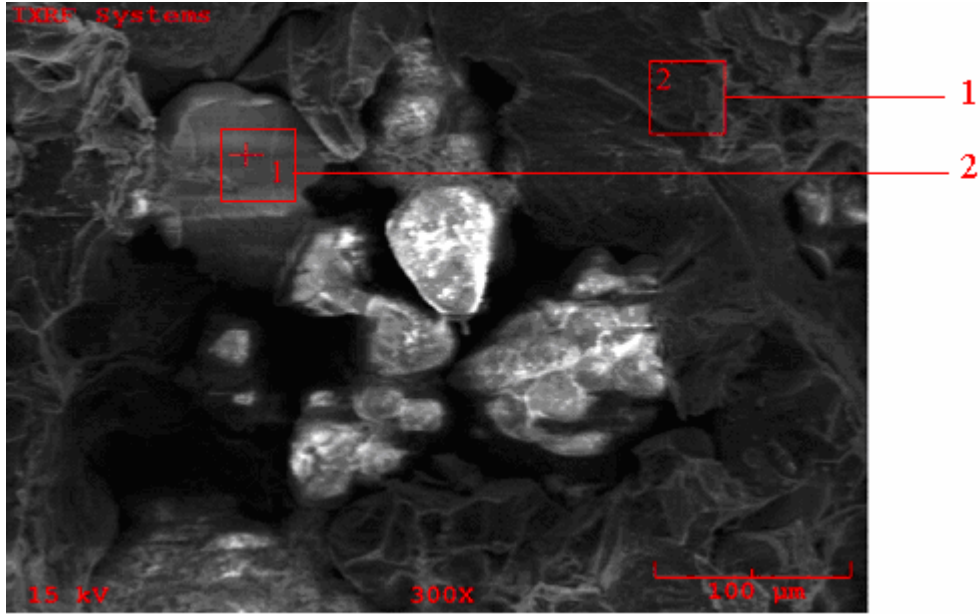


Resim 6.3. T-H oranına bağılı olarak 550 mmHg vakumda, 800 °C sıcaklıkta ve 5 dakika sürede üretilen kompozit numunelerin kırık yüzey görüntüleri
 a) % 5 MgO b) % 10 MgO c) % 15 MgO

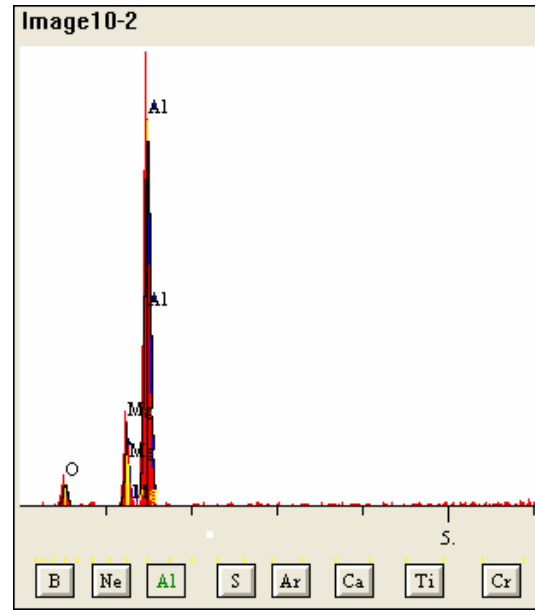
Resim 6.3'deki kırık yüzey görüntüleri incelendiğinde, kırılmanın genelde gevrek kırılma şeklinde geliştiği gözlenmektedir.

Kırılmanın çoğunlukla matris-takviye ara yüzeyinde meydana geldiği bununda ıslatma probleminin yanında matris-takviye ara yüzeyinde yoğunlaşan boşluklardan ve takviye elemanın, kompozit yapı içerisinde oluşturduğu çentik etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir. T-H oranının artmasıyla kompozit malzeme içerisindeki boşluklarda artmıştır. Dolayısıyla boşluklu bir yapının kırılmaya karşı direnci azalmaktadır.

Çapraz kırılma deneyi sonuçlarından da görüldüğü gibi en yüksek kırılma kuvveti % 5 T-H oranlı numunede, en düşük kırılma kuvveti ise % 15 T-H oranlı numunede ortaya çıkmıştır. Ayrıca, kırılan numuneler üzerinde farklı bölgelerden yapılan EDS analizleri ile kompozit içerisindeki, Al matris malzemesi ve MgO takviye elemanı incelenmiştir. Şekil 6.4'de % 15 MgO T-H oranlı kompozitin mikroyapısı ve farklı kırılma bölgelerinden alınan EDS analiz sonuçları verilmiştir.



a)



b)

Şekil 6.4. % 15 MgO T-H oranlı, 550 mmHg vakumda, 800 °C sıcaklıkta ve 5 dakika sürede üretilen kompozitin iki farklı bölgeden alınan EDS analiz sonucu

a)1.Bölge analizi

b) 2.Bölge analizi

EDS analizleri incelendiğinde 1 nolu bölgede görülen ve kırılmış olduğu tespit edilen parçacığın, takviye elemanı olan MgO olduğu anlaşılmaktadır. Bunun sebebi olarak, MgO fazının seramik özelliği taşımasını ve çok sert bir yapıya sahip olmasını

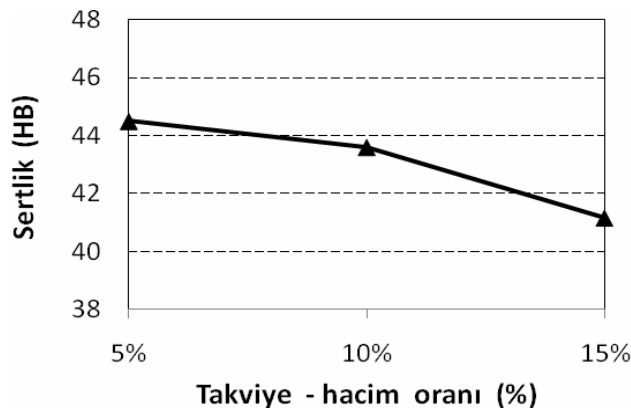
gösterebiliriz. 2 nolu bölgedeki malzeme yapısını, ağırlıklı olarak matris malzemesi Al'nin ve içerisinde bulunan % 5 oranındaki Mg içeriğinin oluşturduğu görülmektedir.

6.1.5. Takviye hacim oranına bağlı sertlik ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi

Vakumlu infiltrasyon deneylerinde üretilen kompozit numunelerin sertlik değerleri Brinnell sertlik ölçme yöntemi ile belirlenmiştir. Çizelge 6.4 ve Şekil 6.5'te MgO T-H oranına göre kompozitlerin sertlik değerlerine ait ortalama ölçüm sonuçları verilmiştir.

Çizelge 6.4. 550 mmHg vakumda, 800 °C sıcaklıkta ve 5 dakika sürede üretilen kompozit numunelere ait HB Sertlik değerleri

T-H oranı (%)	5	10	15
Ortalama sertlik (HB)	44,50	43,60	41,15



Şekil 6.5. 550 mmHg vakumda, 800 °C sıcaklıkta ve 5 dakika sürede üretilen kompozit numunelerin T-H oranı ve sertlik değeri ilişkisi

Çizelge 6.4 ve Şekil 6.5'e bakıldığında üretilen kompozit malzemelerin, % 5 T-H oranında 44,50 HB, % 10 T-H oranında 43,60 HB ve % 15 T-H oranında ise 41,15

HB sertlik ölçüm değerleri görülmektedir. Bu değerler, numune üzerinde rastgele seçilmiş 10 ayrı noktada ölçülen değerlerin aritmetik ortalamasını göstermektedir. Her üç T-H oranındaki numunelerde çıkan sertlik değerlerinin birbirine yakın olduğu en düşük değer ise % 15 MgO H-T oranına sahip numunede ölçüldüğü görülmektedir. Bunun sebebi olarak; numunelerdeki T-H oranlarının birbirine yakın değerlerde olması ve T-H oranının artışı ile gözenek miktarının da artması, ölçümlerde cihaz ucunun çoğunlukla bu gözeneklere denk geldiği, dolayısıyla da gözenekli kısımlardaki boşluklu yapının sertlik değerini bir miktar azalttığı düşünülmektedir. Chong'un [51] çalışmasında da belirtildiği gibi kompozit içerisinde gözenek miktarlarının artmasıyla mekanik özellikler olumsuz yönde etkilenmiştir.

6.2. MMK Numunelerin İşlenebilirlik Özellikleri

Vakumlu infiltrasyon yöntemi ile üretilmiş olan kompozit numunelerin işlenebilirlik deneyleri; kuru kesme şartlarında, BSD torna tezgahında tornalama yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. İşleme deneylerinde kullanılacak olan bağlama aparatına uygun olarak hazırlanan numuneler üzerinde toplam olarak 108 adet işleme deneyi yapılmıştır. Deneyler, ISO 3685'e uygun olarak seçilen; kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği parametreleri kullanılarak yapılmış olup her deney için yeni kesici takım kullanılmıştır. İşlenebilirlik deneylerinin sonuçları; kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve kesici takım aşınması yönünden değerlendirilmiştir.

6.2.1. Kesme kuvvetlerinin değerlendirilmesi

Malzemelerin işlenebilirlik özelliklerinin değerlendirilmesinde bir takım universal kriterler olmamakla beraber talaş kaldırma sırasında oluşan kesme kuvvetleri (veya özgül kesme direnci/harcanan güç) en yaygın kullanılan temel işlenebilirlik kriterlerinden biridir [167]. Bu amaçla işleme deneyleri süresince oluşan kesme kuvvetleri, dinamometre ile ölçülerek kayıt altına alınmış ve her üç kesme kuvveti bileşeni için, kesme kuvvetlerinin düzenli ölçüldüğü bölgenin ortalaması alınarak,

farklı kesme parametrelerine bağlı değişimleri grafiklere aktarılacak suretiyle yorumlanmıştır. Her deney için, kesme kuvveti bileşenlerindeki değişimi gösteren grafikler, Kistler *Dynoware* yazılımı kullanılarak elde edilmiştir. Bu grafiklerdeki kesme kuvveti bileşenlerinin ortalamaları, aynı yazılım yardımıyla, düzenli talaş kaldırma bölgelerinin sınırları işaretlenerek, otomatik olarak kayıt altına alınmıştır.

Kesme kuvvetlerinin sağlıklı ölçülebilmesi için, tasarlanan aparatla takım tezgahına bağlanan ve deney düzeneği ile irtibatlanan numuneler üzerinden; salgı, yalpa ve düzensizliklerin yaratabileceği olumsuzlukların giderilmesi için, yeterli talaş kaldırıldıktan sonra numunelerin hepsi 28 mm ortak çapa getirilip belirlenen kesme parametreleri kullanılarak işleme deneylerine geçilmiş ve kesme kuvvetleri bu aşamada ölçülerek elde edilen verilerin güvenilirliği temin edilmiştir. Kesme kuvvetlerinin ölçümü her bir deney için 40 mm boyda silindirik tornalama işlemi yapılarak gerçekleştirilmiş ve her deney iki kez tekrarlanarak ve tekrarlanan deneylerden elde edilen sonuçların aritmetik ortalaması alınmak suretiyle belirlenmiştir.

İşleme deneyleri sonucunda elde edilen kesme kuvveti bileşenlerinin (F_c , F_f , F_r) ortalama değerleri, işleme şartları ve kesme parametrelerine bağlı olarak, Çizelge 6.5'te toplu halde verilmiştir.

Kesme kuvveti bileşenlerinin değerlendirilmesi

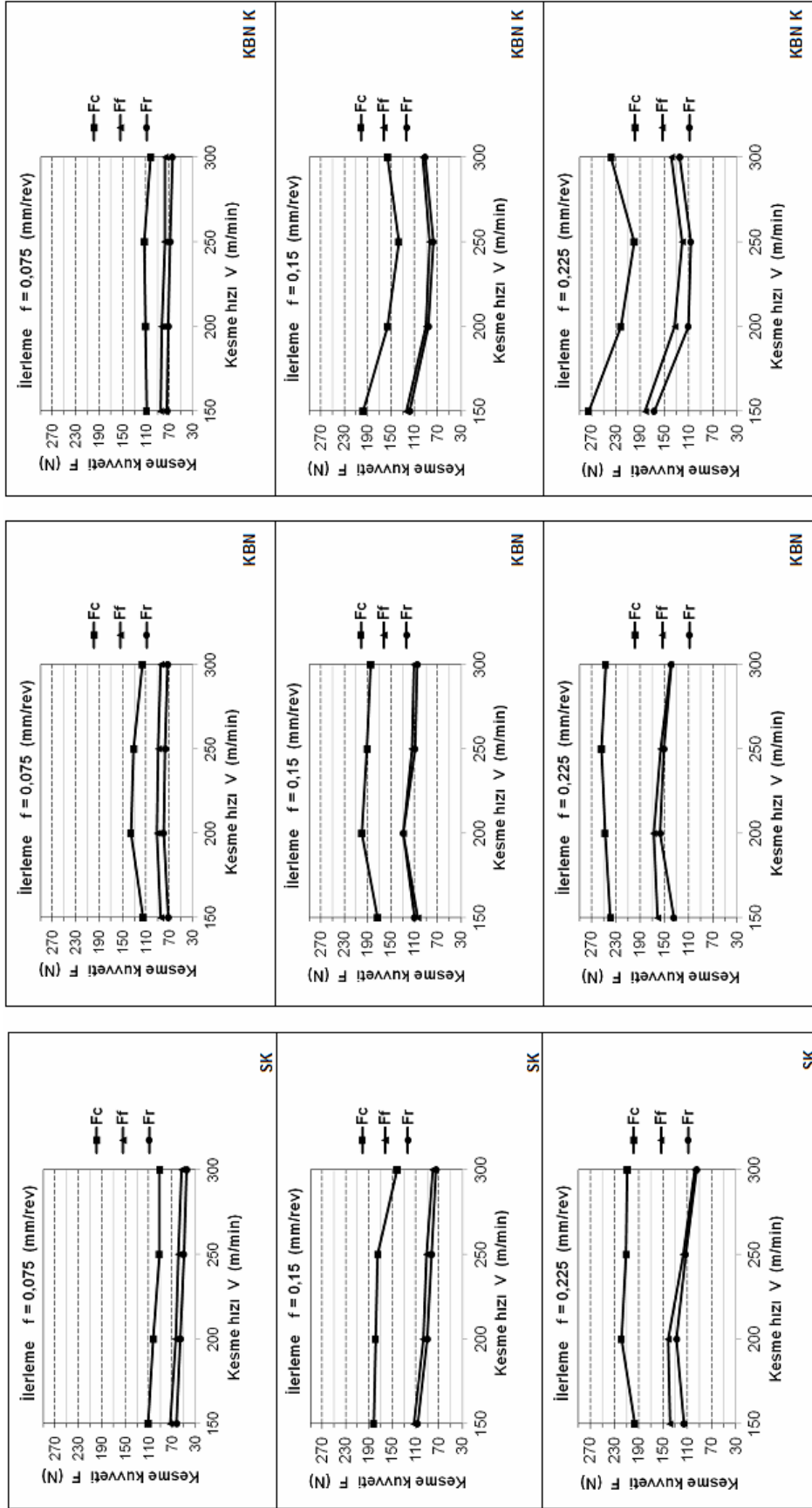
İşlenebilirlik kriteri olarak kesme kuvvetleri değerlendirilirken, öncelikli olarak kesme kuvveti bileşenlerinin birbirleri ile ilişkisi ele alınmış ve farklı T-H oranlarına sahip MMK malzemeler için ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

% 5 MgO takviyeli numuneler için kesme kuvveti bileşenleri

% 5 MgO takviyeli numuneler için kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak F_c , F_f ve F_r 'deki değişimler; SK, KBN ve KBN K kesici takımlar için Şekil 6.6'daki grafiklerde gösterilmiştir.

Çizelge 6.5. İşleme şartları ve kesme parametrelerine bağlı olarak elde edilen kesme kuvveti bileşenlerinin değeri

MgO T-H Oranı	Kesici Takım Kodu	Kesme hızı V (m/min)	İlerleme f=0,075 (mm/rev)			İlerleme f=0,15 (mm/rev)			İlerleme f=0,225 (mm/rev)		
			Fc (N)	Ff (N)	Fr (N)	Fc (N)	Ff (N)	Fr (N)	Fc (N)	Ff (N)	Fr (N)
% 5	SK	150	111	73	62	182	113	107	197	139	116
		200	102	64	56	179	97	90	219	142	128
		250	92	59	50	175	91	83	211	117	113
		300	91	54	45	142	81	75	209	98	95
	KBN	150	115	85	72	173	104	110	239	161	135
		200	136	91	80	200	129	129	248	168	157
		250	131	89	77	191	114	109	254	156	151
		300	116	85	73	185	111	105	247	140	139
	KBN K	150	109	85	74	198	124	118	275	182	167
		200	111	83	72	156	90	86	222	133	111
		250	113	78	69	137	84	78	200	121	107
		300	102	77	65	156	96	92	238	139	125
%10	SK	150	103	70	58	166	104	100	241	137	130
		200	94	65	55	155	95	91	213	108	94
		250	92	57	48	152	97	90	189	87	73
		300	90	46	41	148	89	81	170	73	68
	KBN	150	153	107	90	221	149	140	262	155	149
		200	136	95	82	184	136	119	224	152	136
		250	129	82	80	164	128	112	219	142	128
		300	109	82	79	168	118	91	207	128	118
	KBN K	150	106	78	68	178	122	122	232	120	112
		200	99	78	71	171	108	102	230	111	110
		250	95	71	68	170	105	100	210	106	95
		300	94	70	65	143	94	90	200	105	91
%15	SK	150	114	82	66	199	120	113	251	161	156
		200	98	75	58	188	108	100	246	137	133
		250	97	63	53	186	104	95	241	126	126
		300	93	59	49	149	87	81	198	111	107
	KBN	150	108	84	77	169	98	83	216	159	134
		200	103	76	68	191	116	115	218	128	116
		250	129	83	71	157	95	90	181	100	89
		300	122	75	65	153	82	80	184	96	86
	KBN K	150	101	73	64	196	113	108	203	123	104
		200	120	72	64	172	96	91	221	152	136
		250	119	73	66	169	92	92	215	138	133
		300	118	72	62	156	74	67	188	101	89



Şekil 6.6. % 5 MgO takviyeli MMK numunelerde SK, KBN ve KBN K kesici takım için farklı ilerleme değerlerinde kesme hızına bağlı olarak kesme kuvveti bileşenlerindeki değişimler

Şekil 6.6'ya bakıldığında , genelde kesme hızındaki artışa bağlı olarak, kesme hızının artmasıyla kesme kuvvetlerinin düştüğü, ilerlemedeki artışa bağlı olarak ise, ilerleme miktarı arttıkça kesme kuvvetlerinin arttığı görülmektedir. SK kesici takımlar için 0,225 mm/rev ilerleme değerinde ve KBN kesici takımlar için ise her üç ilerleme değerinde (0,075 mm/rev, 0,15 mm/rev, 0,225 mm/rev) de kesme hızının 150 m/min' den 200 m/min'e çıkmasıyla, kesme kuvvetleri artmış, daha sonra kesme hızının artmasıyla kesme kuvvetleri düşme eğilimine girmiştir. KBN K takımlar için 0,075 mm/rev ilerleme değerinde kesme kuvvetlerinde önemli bir değişiklik gözlenmezken, diğer iki ilerleme değerinde (0,15 mm/rev ve 0,225 mm/rev) kesme kuvvetleri 250 m/min kesme hızına kadar düşme eğilimi seğilerken kesme hızının 250 m/min'den 300 m/min'e çıkmasıyla bir miktar artmıştır.

Genel olarak, kesme hızının artmasıyla kesme kuvvetlerinin düşmesi beklenen bir davranış olup literatürle paralellik arz etmektedir. Bu durumu kesme hızının artmasıyla beraber kesme bölgesinde artan sıcaklığa bağlı olarak plastik deformasyonun ve ısıl yumuşama ile takım-talaş arayüzeyinde sürtünmenin azalmasıyla talaş akışının kolaylaşmasına bağlı olarak açıklamak mümkündür [167, 168].

SK kesici takımlar için 0,225 mm/rev ilerlemede ve KBN kesici takımlar için tüm ilerleme değerlerinde 150 m/min'den sonra kesme kuvvetlerinin bir miktar artması ve sonra düşme eğilimine girmesi, 150 m/min kesme hızının bu kesici takımlar için düşük bir kesme hızı olmasına ve yüksek süneklığe sahip Al matrisin düşük hızlarda yığıntı talaş (BUE) oluşturma eğilimine bağlı olarak açıklamak mümkündür. Çünkü yığıntı talaş kesme kuvvetlerinin beklenmeyen tarzda değişimine sebep olabilmektedir [151]. KBN K kesici takımlar için ise kesme hızının 250 m/min'den 300 m/min'e çıkmasıyla kesme kuvvetlerinde görülen artış eğilimi, yüksek hızlardaki hızlı aşınmanın yarattığı kaplamanın kalkması ve dolayısıyla talaş temas bölgesindeki yüzey bozulmasına atfedilebilir.

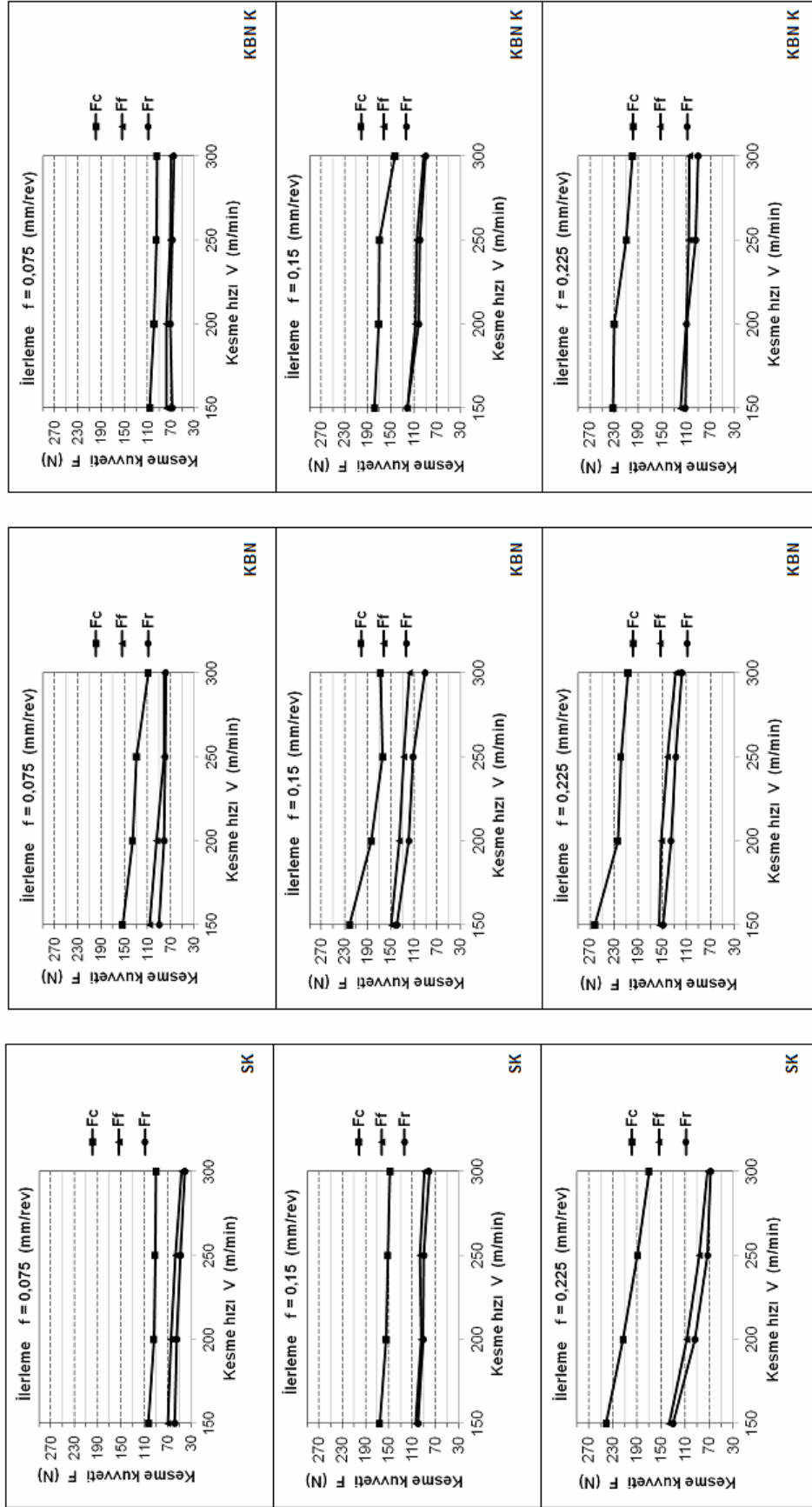
Kesme kuvvetlerindeki düzensizlikler, T-H oranının çok küçük olması sebebiyle, kesici takımın genelde Al matrisle temasta olmasına bağlı olarak da açıklanabilir. Alüminyum, yüksek sünekliği sebebiyle düşük ve orta kesme hızlarında yüksek BUE oluşturma eğilimine sahiptir. Dolayısıyla, BUE'yi engellemek için; keskin kesici kenar formu, pozitif olarak daha büyük talaş açısı ve yapışmayı engellemek için taşlanmış takım talaş yüzeyi tavsiye edilir [151, 160, 169, 170]. Oysaki seçilen takım formu, MMK malzemenin farklı T-H oranlarındaki sert fazı da dikkate alınarak bu özellikte seçilmiştir. Nitekim, artan T-H oranlarında daha düzenli sonuçlar elde edilmiştir.

İlerleme miktarındaki artışla beraber kesme kuvvetlerindeki artma eğilimi talaş kesitindeki artışa bağlı olarak beklenen bir eğilimdir. Kesme kuvvetleri, talaş kesit alanındaki artışla [en genel şekli ile asıl kesme kuvveti (F_c), talaş kesit alanı (A) ile özgül kesme direncinin (k_s) çarpımıdır] doğru orantılı olarak artar [151, 160].

Talaş kesiti de “ilerleme \times kesme derinliği” olarak ifade edildiğine göre, ilerleme miktarındaki artışla kesme kuvvetlerinin artması beklenen bir olgudur. Talaş kaldırma işleminde harcanan gücün belirlenmesindeki en önemli parametre olan asıl kesme kuvvetleri, ileride ayrıca değerlendirilecektir.

% 10 MgO takviyeli numuneler için kesme kuvveti bileşenleri

% 10 MgO takviyeli, Al matrisli MMK numunelerde kesme hızına bağlı olarak, farklı ilerleme miktarları için SK, KBN ve KBN K kesici takımlara ait kesme kuvvetlerindeki değişim Şekil 6.7'deki grafiklerde gösterilmiştir.



Şekil 6.7. % 10 MgO takviyeli MMK numunelerde SK, KBN ve KBN K kesici takım için farklı ilerleme değerlerinde kesme hızına bağlı olarak kesme kuvveti bileşenlerindeki değişimler

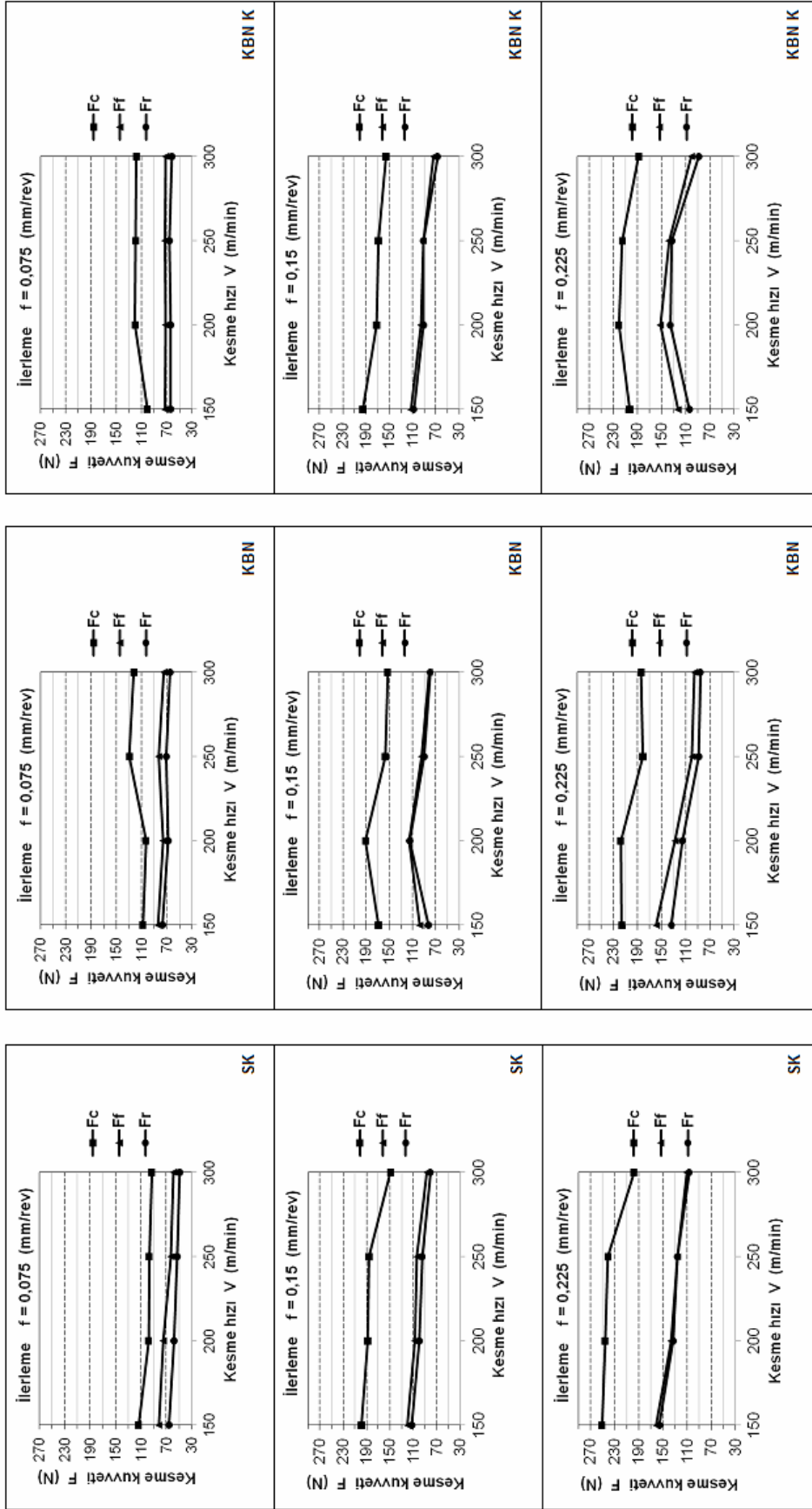
Şekil 6.7 incelendiğinde, MgO takviye için T-H oranının % 10'a çıkmasıyla, işleme şartlarına bağlı olarak her üç takım içinde kesme kuvvetleri daha düzenli bir değişim eğilimine girmiştir. Kesme hızındaki artışa bağlı olarak kesme bölgesinde artan sıcaklıklar plastik deformasyonu ve talaş akışını kolaylaştırmış [16, 167, 168] ve bunun sonucu olarak da kesme kuvvetleri düşme eğilimine girmiştir. Bu durum Al'a göre daha sert olan MgO fazının etkili olmaya başladığının ve BUE oluşma eğiliminin azaldığının bir göstergesidir. Netice olarak BUE eğiliminin kesme kuvvetlerinde sebep olduğu dalgalanmalar ortadan kalkmış ve her üç kesici takım için de kesme kuvvetlerindeki düşme eğilimi paralel bir davranış sergilemiştir.

İlerleme miktarındaki artışla, kesme kuvvetleri, beklendiği şekilde artma eğilimi göstermiştir. Bu eğilim, sebebi daha önce ifade edildiği gibi, kesme kuvvetlerinin artan talaş kesitine paralel olarak artmasıyla [151, 167] açıklanabilmektedir.

Üç farklı T-H oranı için, en kararlı sonuçlar, % 10 MgO takviyeli numunelerde elde edilmiştir.

% 15 MgO takviyeli numuneler için kesme kuvveti bileşenleri

Kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak kesme kuvvetlerindeki değişimin incelendiği deneylerde, %15 MgO T-H oranına sahip numuneler için SK takımlarla elde edilen bulgular Şekil 6.12'de, KBN takımlar için elde edilen bulgular Şekil 6.13'te ve KBN K takımlar için elde edilen bulgular ise Şekil 6.14'te grafiklerle gösterilmiştir.



Şekil 6.8. % 15 MgO takviyeli MMK numunelerde SK, KBN ve KBN K kesici takım için farklı ilerleme değerlerinde kesme hızına bağlı olarak kesme kuvveti bileşenlerindeki değişimler

% 15 MgO takviyeli numuneler için, Şekil 6.8 değerlendirildiğinde, kesme kuvvetleri açısından en kararlı sonuçların SK takımlarda elde edildiği ve artan kesme hızlarıyla kesme kuvvetlerinin düştüğü, artan ilerleme miktarları ile ise yükseldiği görülmektedir.

KBN takımları için en düşük ilerleme miktarı olan 0,075 mm/rev ilerlemede kesme kuvvetlerinde düzenli bir değişim görülmezken, 0,15 mm/rev ilerleme değerinde 150 m/min kesme hızından sonra artan kesme hızıyla kesme kuvvetlerinin düştüğü, 0,225 mm/rev ilerleme değerinde ise normal beklenen seyriyle, artan kesme hızıyla beraber kesme kuvvetlerinin düşme eğilimine girdiği görülmektedir.

KBN K takımlar için ise en kararlı sonuçlar 0,15 mm/rev ilerleme değerinde elde edilmiş, diğer iki ilerleme değerinde ise 150 m/min'lik kesme hızından sonra beklenen düşme eğilimi görülmüştür. 150 m/min'lik kesme hızının KBN ve KBN K takımlar için oldukça düşük bir kesme hızı olması bu gelişmenin sebebi olarak gösterilebilir. Ayrıca kompozit malzemelerde takımın sert ve sünek fazlarla temasının değişmesi, kesme kuvvetlerinde bazı dalgalanmalara sebep olabilmektedir [16, 156]. MMK numunelerinin üretim yöntemine bağlı olarak her ne kadar homojen yapı elde edildiği belirtilmiş olsa da kesme bölgesinde sert fazların fazla olması kesme kuvvetlerinin yükselmesine sebep olurken yine yapıda mevcut boşluklar (porozite) sebebiyle ise de kesme kuvvetleri aniden düşme eğilimine girebilmektedir. Bu durum, kesme deneylerinden elde edilen, kesme kuvvetlerindeki beklenmeyen dalgalanmaların muhtemel sebebi olarak düşünülmektedir.

Asıl kesme kuvveti F_c ile diğer kesme kuvveti bileşenleri olan, ilerleme kuvveti F_f ve radyal (pasif) kuvvet F_r 'nin ilişkisine gelince; beklendiği şekliyle, tüm işleme deneyleri için, en yüksek kuvvetin asıl kesme kuvveti F_c , daha sonra sırasıyla ilerleme kuvveti F_f ve radyal kuvvet F_r şeklinde gerçekleştiği görülmektedir. Şekil 6.6 - Şekil 6.14'teki tüm grafikler incelendiğinde F_f ve F_r 'deki değişimlerin tamamen F_c 'ye paralel olarak bir değişim sergilediği görülmektedir.

Talaş kaldırma sırasında oluşan kuvvet bileşenlerinin tayini için çeşitli araştırmalar sonucu ortaya konulmuş bazı amprik yaklaşımlar olmakla beraber, bu kuvvetlerin ölçülerek belirlenmesi en etkili yoldur. İlerleme kuvveti F_f ve radyal kuvvet F_r kesin olmamakla beraber, asıl kesme kuvveti F_c ile ilişkilendirilerek yaklaşık olarak hesaplanır. Buna göre $F_f \approx (0,2 \sim 0,3) F_c$ ve $F_r \approx (0,1 \sim 0,2) F_c$ olarak dikkate alınır [150, 151, 167-169]. Ancak geliştirilen bu yaklaşımların hiçbiri işlenen malzemenin ve kesici takımın metalurjik yapısını dikkate almadığından tamamen doğru sonuçlar vermemekte, sadece belli bir yakınlıkta kesme kuvvetlerinin tahmin edilmesine imkan sağlamaktadır [151, 171]. Bazı kaynaklarda da ilerleme kuvvetinin asıl kesme kuvvetinin % 55'ine kadar çıkabileceği vurgulanmaktadır [151, 168, 169]. Nitekin bir araştırmada ilerleme kuvvetinin asıl kesme kuvvetinin % 30 ~ % 51'i arasında değiştiği deneysel olarak ortaya konulmuştur [169]. Yine benzer araştırmalarda radyal (pasif) kuvvetin ilerleme kuvvetinin % 50'si kadar olduğundan söz edilmektedir [16, 162]. Ancak, özellikle radyal kuvvet, kesici geometrisi, yanaşma açısı, işleme biçimi ve sünek malzemelerdeki BUE eğiliminden fazlasıyla etkilenen bir kuvvet bileşeni olup bu faktörlere bağlı olarak değeri artmakta hatta bazı uygulamalarda asıl kesme kuvvetinden dahi büyük değerlere ulaşabilmektedir (Yuvarlak formdaki takımlarda ve vida açma işlemi gibi uygulamalarda tespit edilmiş bir sonuçtur).

Aynı şekilde, takım burun yarıçapındaki artış ve yanaşma açısı radyal kuvvetin artmasına sebep olmaktadır. Sünek malzemelerde artan BUE eğilimi, burun radyusu çevresinde oluştuğunda, yarıçapı büyülterek aynı şekilde radyal kuvvetin de artmasına sebep olabilmekte ve çoğu zaman ilerleme kuvvetinden daha büyük değerlere ulaşabilmektedir [16, 151, 162, 168].

Bu araştırmada da, özellikle radyal kuvvetin büyük çıktığı ve ilerleme kuvvetine çok yakın değerler sergilediği Çizelge 6.1 ve Şekil 6.6 - Şekil 6.14'teki grafiklerde görülmektedir. İlerleme kuvveti ve radyal kuvvetin asıl kesme kuvvetiyle olan ilişkisi, % F_c olarak, Çizelge 6.6'daki tabloda özetlenmiştir.

Çizelge 6.6. İlerleme kuvveti (Ff) ve radyal kuvvet (Fr)'nin asıl kesme kuvveti (Fc) ile ilişkisi (% Fc olarak)

MgO T-H Oranı	Kesici Takım Kodu	Kesme hızı V (m/min)	İlerleme f=0,075 (mm/rev)			İlerleme f=0,15 (mm/rev)			İlerleme f=0,225 (mm/rev)		
			Fc (N)	Ff % Fc	Fr % Fc	Fc (N)	Ff % Fc	Fr % Fc	Fc (N)	Ff % Fc	Fr % Fc
% 5	SK	150	111	65	55	182	62	58	197	70	58
		200	102	62	54	179	54	50	219	64	58
		250	92	64	54	175	52	47	211	55	53
		300	91	59	49	142	57	52	209	46	45
	KBN	150	115	73	62	173	60	63	239	67	56
		200	136	66	58	200	64	64	248	67	63
		250	131	67	58	191	59	57	254	61	59
		300	116	73	62	185	60	56	247	56	56
	KBN K	150	109	78	67	198	62	59	275	66	60
		200	111	74	64	156	57	55	222	60	50
		250	113	69	61	137	61	56	200	60	53
		300	102	75	63	156	61	59	238	58	52
%10	SK	150	103	68	56	166	62	60	241	56	53
		200	94	68	58	155	61	58	213	50	44
		250	92	61	52	152	63	59	189	46	38
		300	90	51	45	148	60	54	170	42	40
	KBN	150	153	70	58	221	67	63	262	59	56
		200	136	69	60	184	73	64	224	67	60
		250	129	63	62	164	78	68	219	64	58
		300	109	75	72	168	70	54	207	61	57
	KBN K	150	106	73	64	178	68	68	232	51	48
		200	99	78	71	171	63	59	230	48	47
		250	95	74	71	170	61	58	210	50	45
		300	94	74	69	143	65	62	200	52	45
%15	SK	150	114	71	57	199	60	56	251	64	62
		200	98	76	59	188	57	53	246	55	54
		250	97	64	54	186	55	51	241	52	52
		300	93	63	52	149	58	54	198	56	54
	KBN	150	108	77	71	169	58	49	216	73	62
		200	103	73	66	191	60	60	218	58	53
		250	129	64	55	157	60	57	181	55	49
		300	122	61	53	153	53	52	184	52	46
	KBN K	150	101	72	63	196	57	55	203	60	51
		200	120	60	53	172	55	52	221	68	61
		250	119	61	55	169	54	54	215	64	61
		300	118	61	52	156	47	42	188	53	47

Genel ortalama	Kesici Takım Kodu	f=0,075 (mm/rev)		f=0,15 (mm/rev)		f=0,225 (mm/rev)	
		Ff (% Fc)	Fr (% Fc)	Ff (% Fc)	Fr (% Fc)	Ff (% Fc)	Fr (% Fc)
	SK	64	54	58	54	55	51
	KBN	69	61	62	59	62	56
	KBN K	73	63	59	57	58	52

Ff ve Fr için literatürde sözü edilen sonuçlar genellikle metaller ve alaşımları için geçerli olan bulguları ihtiva etmektedir. Bu çalışmada incelenen kompozit malzemelerin mikro yapısı, saf metallere veya alaşımlarına göre farklılık göstermektedir. Saf metaller veya alaşımları, daha homojen bir yapı sergilemekte ve gözeneklilik gibi bir problemleri bulunmamaktadır. Oysa ki kompozit malzemelerde, üretim yönteminde bağlı olarak, numunenin tamamında tam homojen bir yapı elde etmek oldukça zordur ve yapıdaki gözeneklilik (porozite) hem mekanik özellikleri hem de işlenebilirlik özelliklerini olumsuz etkilemektedir [16, 156].

Kompozit malzemelerin bu özelliklerine bağlı olarak, kesici takımın yapıdaki sert fazla karşılaşma miktarı kesme kuvvetlerinin beklenmeyen şekilde yükselmesine, gözenekler ise ani kuvvet düşmelerine sebep olmaktadır. Bu çalışmadaki işleme deneyleri sonucunda elde edilen kesme kuvvetlerindeki beklenmeyen sapmaların sebebini MMK malzemelerin bu yapı özelliklerine atfetmek mümkündür.

Günay, M., [16] toz metalurjisi ile üretilmiş SiC takviyeli Al-Si matrisli MMK numunelerde benzer sonuçlar elde etmiş, hatta Fr'nin Ff'in % 50'si kadar olması beklenirken, Fr'nin Ff'den daha büyük çıktığını, yaptığı deneysel çalışmalarla gözlemlemiştir. Bu çalışmada ise Fr değerleri Ff'den daha büyük çıkmamakla beraber Ff'e çok yakın değerler sergilemiştir. Fr değerlerinin beklenenden yüksek çıkmasını benzer şekilde açıklamak mümkündür. Uygulanan yanaşma açısı (75°) ve kesici burun yarıçapı (0,8 mm) Fr'nin büyük çıkmasına sebep olabileceği gibi oldukça sünek yapıdaki Al matrisin işleme sırasında özellikle burun çevresinde BUE oluşturması (Bölüm 6.2.3'teki SEM fotoğrafları), burun yarı çapını daha da büyülterek radyal kuvvetin büyümesine neden olduğu düşünülmektedir.

Yapılan deneysel çalışmalarda, Ff ilerleme kuvvetinin ve Fr radyal kuvvetinin Fc asıl kesme kuvveti ile olan ilişkisi değerlendirilecek olursa (Çizelge 6.6); farklı ilerleme değerlerinde, farklı kesici takımlar için farklı T-H oranlarında Ff'in % 55 ~ % 73 Fc kadar, Fr'nin % 51~ % 63 Fc kadar olduğu görülmektedir.

SK takımlar için % 5 T-H oranına sahip numunelerde 0,075 mm/rev için $F_f = \% 64F_c$, 0,15 mm/rev ilerleme için $F_f = \% 58F_c$, 0,225 mm/rev için $F_f = \% 54F_c$ kadar olduğu görülmektedir. Bu durum, literatürde belirtilen F_f 'in % 55 F_c kadar olabileceği savına yakın gibi görülmekle beraber bir miktar daha yüksek gerçekleşmiştir. F_r değerleride F_f 'e çok yakın değerlerde gözlenmiş olup 0,075 mm/rev için $F_r = \% 54F_c$, 0,15 mm/rev ilerleme için $F_r = \% 54F_c$ ve 0,225 mm/rev için ise $F_r = \% 51F_c$ kadar olmuştur.

KBN takımlar için F_f ; 0,075 mm/rev ilerlemede % 69 F_c , 0,15 mm/rev ve 0,225 mm/rev ilerleme değerlerinde ise % 62 F_c kadar olmuştur. Benzer şekilde F_r ise; 0,075 mm/rev için % 61 F_c , 0,15 mm/rev için % 59 F_c ve 0,225 mm/rev ilerleme için ise % 56 F_c şeklinde gerçekleşmiştir.

KBN K takımlar için F_f ve F_r 'nin F_c ile olan ilişkisine bakıldığında % olarak en yüksek sonuçların bu kesici takımla elde edildiği gözlenmiştir. F_f için; 0,075 mm/rev ilerlemede % 73 F_c , 0,15 mm/rev ilerlemede % 59 F_c ve 0,225 mm/rev ilerlemede % 58 F_c , değerleri elde edilmiştir. F_f için ise; 0,075 mm/rev ilerlemede % 63 F_c , 0,15 mm/rev ilerlemede % 57 F_c ve 0,225 mm/rev ilerleme için % 52 F_c değerleri gözlenmiştir.

F_f ile F_r arasındaki ilişkiye bakılırsa bütün kesici takımlarda ve T-H oranlarının tamamında benzer eğilim göze çarpmakta ve F_r değerleri F_f 'e göre % 2 ~ % 10 daha küçük olmaktadır. F_r değerleri beklenenin ($F_r \approx \% 50F_f$) üstünde gerçekleşmiştir. Bu durumun, daha önce izah edildiği gibi, yavaşlama açısı / burun yarıçapı ve sünek Al matrisin BUE oluşturma eğilimi ile açıklanabilir.

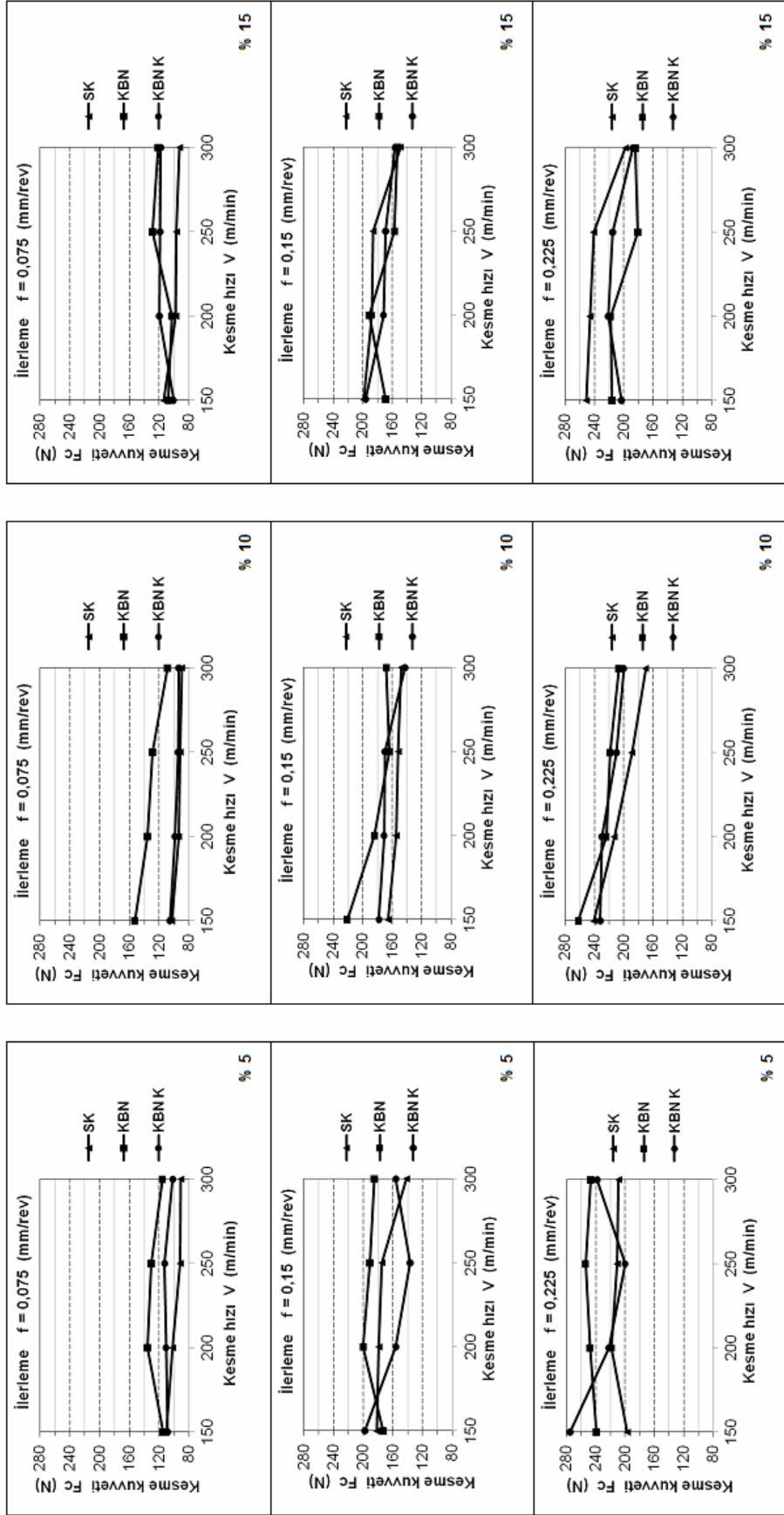
F_f 'in beklenenden ($F_f \approx \% 55F_c$) bir miktar yüksek çıkması ise, kompozit malzemelerde sert fazın matrise göre ilerleme yönünde oluşturduğu daha yüksek tepki kuvvetleriyle açıklanabilir.

Kuvvet bileşenleri açısından en kararlı sonuçlar; kesici takım türü için SK takımlarda, T-H oranı için ise % 10 MgO takviyeli MMK numunelerde elde edilmiştir.

Asıl kesme kuvveti F_c 'nin değerlendirilmesi

Malzemelerin işlenebilirliklerinin değerlendirilmesinde güç sarfıyatı, dolayısı ile harcanan gücün belirlenmesinde en önemli etmen olan asıl kesme kuvveti F_c , çeşitli parametreler dikkate alınarak ayrıca değerlendirilmiştir. Bu amaçla, önce asıl kesme kuvvetleri, farklı T-H oranlarında ki MMK malzemeler için kullanılan kesici takımlar baz alınarak, daha sonra ise ilerleme miktarları baz alınarak değerlendirilmiştir.

% 5, % 10, % 15 MgO takviyeli numunelerde; farklı ilerleme değerleri için, farklı kesici takım malzemelerine göre, kesme hızına bağlı olarak F_c 'nin değişimi, Şekil 6.9'daki grafiklerde toplu olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.9. % 5, % 10, % 15 MgO takviyeli numunelerde; farklı ilerleme değerleri için, kesici takım malzemesi dikkate alınarak, kesme hızına bağlı olarak F_c 'nin değişimi

% 5 MgO takviyeli numuneler için asıl kesme kuvveti Fc'deki değişim

Şekil 6.9'daki % 5 MgO takviyeli numunelere ait grafikler incelendiğinde; 0,075 mm/rev ilerleme için, SK kesici takımlarda artan kesme hızıyla kesme kuvvetleri düşme, KBN kesici takımlarda 150 m/min'den sonraki hızlar için artan kesme hızıyla kesme kuvvetleri düşme, KBN K takımlar için ise 250 m/min kesme hızına kadar, çok olmasa da bir artma ve sonra düşme eğilimi göstermiştir. 0,075 mm/rev ilerleme için en kararlı sonuçlar SK kesici takımla elde edilmiştir aynı zamanda en düşük Fc değerleri SK takımla elde edilmiştir. İlerlemenin 0,15 mm/rev'e çıkmasıyla, yine SK kesici takımlar için artan kesme hızıyla Fc'de düzenli bir azalma gözlenirken KBN ve KBN K takımlar için bazı düzensizlikler söz konusudur. Bu ilerleme değeri için, en düşük Fc değerleri, özellikle 200 m/min ve sonrasındaki hızlar için, KBN K takımlarda elde edilmiştir.

İlerlemenin 0,225 mm/rev'e çıkmasıyla KBN K takımlar, 0,15 mm/rev ilerlemede olduğu gibi 250 m/min kesme hızına kadar düşme eğilimi sergilerken hızın 300 m/min'e çıkmasıyla artış eğilimine girmiştir. KBN takımlarda ise, 250 m/min kesme hızına kadar hafif bir yükselme eğilimi gözlenirken, kesme hızının 300 m/min'e çıkmasıyla düşme eğilimine girmiştir. SK takımlarda ise, 150 m/min'den 200 m/min'e çıkılmasıyla artan Fc, sonraki hızlar için düşme eğilimi sergilemiştir. Genel olarak en düşük Fc değerleri (250 m/min kesme hızı hariç), SK kesici takımla elde edilmiştir.

Artan kesme hızıyla kesme kuvvetlerinin düşmesi beklenmektedir ve bunun sebepleri daha önce izah edilmiştir [16, 151, 156, 167, 168]. Şekil 6.15'deki grafiklere bakıldığında genel olarak bu düşme eğilimi görülmekle beraber, beklenmeyen bazı dalgalanmalar söz konusudur. % 5 T-H oranına sahip numuneler, düşük takviye oranı sebebiyle, genellikle AL matrisin davranışını sergileme eğilimindedir. Al'un yüksek BUE oluşturma eğiliminin kesici takım geometrisini değiştirmesi sebebiyle, Fc'de beklenmeyen / istenmeyen dalgalanmalara sebep olduğu düşünülmektedir.

Bu T-H oranına sahip numunelerde, en kararlı sonuçlar ve 0,075 mm/rev ile 0,225 mm/rev ilerleme değerleri için en düşük Fc değerleri SK kesici takımla elde

edilmiştir. 0,15 mm/rev için ise, ikinci en düşük F_c değerleri yine bu kesici takım ile elde edilmiştir.

% 10 MgO takviyeli numuneler için asıl kesme kuvveti F_c 'deki değişim

% 10 MgO takviyeli numuneler, asıl kesme kuvvetindeki değişim açısından en kararlı sonuçların elde edildiği numuneler olarak görülmektedir. Bu T-H oranına sahip numunelerde, beklenildiği şekilde asıl kesme kuvveti F_c , artan kesme hızıyla düşme eğilimine girmiştir. Butün ilerleme değerleri için en düşük F_c kuvvetleri SK kesici takımlarla elde edilmiştir.

0,075 mm/rev için KBN K kesici takımlar da SK kesici takım ile elde edilen değerlere çok yakın sonuçlar sergilemiştir. İlerlemenin 0,15 mm/rev'e çıkmasıyla, özellikle 200 m/min kesme hızından sonra, her üç takım için de F_c değerleri birbirine yaklaşmış ama yine en düşük F_c değerleri SK kesici takım ile elde edilmiştir. İlerlemenin en yüksek değeri olan 0,225 mm/rev ilerlemede F_c değerleri birbirine çok yaklaşmış olmakla beraber, SK kesici takım ile, özellikle 200 m/min kesme hızı ve sonrasında, düzenli bir düşme eğilimi ile en düşük F_c değerleri elde edilmiştir.

Grafiklerden gözlenen bu bulgular ışığında, fiyat ve elde edilebilirlik açısından da değerlendirildiğinde, pahalı kesici takım alternatifleri yerine daha ekonomik ve kolay elde edilebilir SK kesici takımların tercih edilmesi tavsiye olunur.

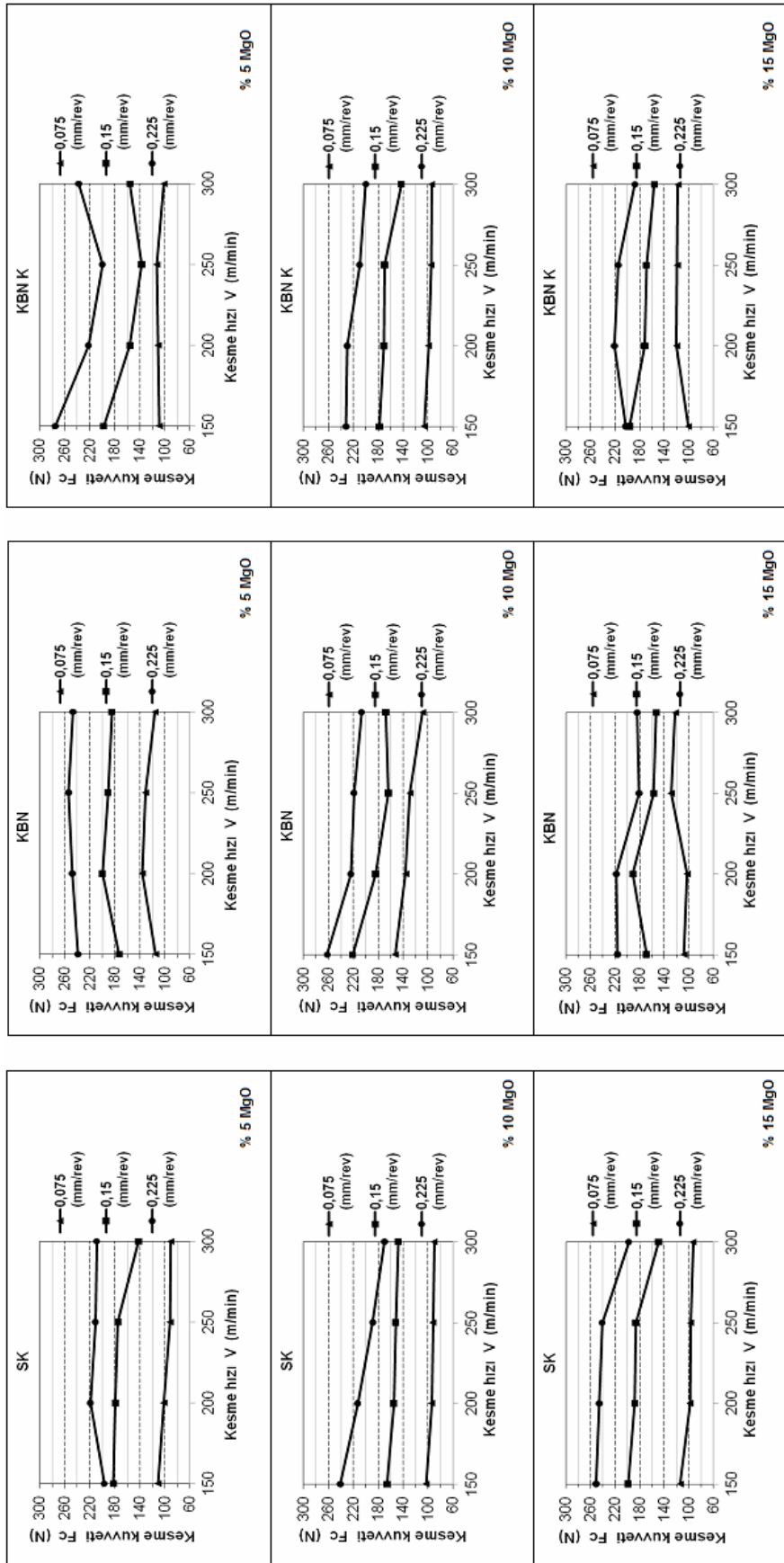
% 15 MgO takviyeli numuneler için asıl kesme kuvveti F_c 'deki değişim

Şekil 6.9'daki % 15 MgO takviyeli numunelere ait grafikler incelendiğinde; tüm ilerleme değerleri için 150 m/min kesme hızında elde edilen kararsız sonuçlar bu kesme hızının uygun olmadığını, muhtemelen sünek malzeme yapısı sebebiyle düşük kaldığını göstermektedir. Yine 0,075 mm/rev ilerleme değeri için özellikle KBN kesici takım, çok kararsız sonuçlar sergilemiştir.

200 m/min kesme hızı ve daha yüksek hızlarda diğer iki ilerleme değeri (0,15 mm/rev ve 0,225 mm/rev) için artan kesme hızıyla beraber F_c , beklenen biçimde, düşme eğilimine girmiştir. Daha evvel en düşük F_c değerlerinin elde edildiği SK kesici takımlarla, bu şartlarda en yüksek F_c değerleri elde edilmiştir. 0,15 mm/rev ve 0,225 mm/rev ilerleme değerleri için, % 15 MgO T-H oranına sahip numunelerde en iyi sonuçlar KBN kesici takımla, ikinci en iyi sonuçlar ise KBN K kesici takımla elde edilmiştir. 0,075 mm/rev için ise en iyi ve kararlı sonuçlar SK kesici takımlardan elde edilmiştir. Kompozit malzemelerin saf metaller veya alaşımlarının yapısından farklı özellikleri, elde edilen sonuçlardaki kararsızlığın temel nedeni olarak düşünülmektedir.

İlerleme miktarının asıl kesme kuvveti F_c üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi

İlerleme miktarı (f), talaş kaldırma işlemlerinde talaş kesitini oluşturan ($A = f \times a$) unsurlardan biridir. Kesme kuvvetleri de artan talaş kesitiyle artmaktadır ($F_c \approx A \times k_s$) [151, 160, 172, 173]. Bunun sonucu olarak artan ilerleme miktarlarıyla kesme kuvvetlerinin artması beklenen bir durumdur. Bu durumu göstermek için bu konu tekrar ele alınmış ve ilerlemenin asıl kesme kuvveti üzerindeki etkisini gösteren grafikler, farklı T-H oranlarına sahip numunelerde kesme hızındaki artışa bağlı olarak, SK, KBN ve KBN K kesici takımlar için Şekil 6.10'da gösterilmiştir.



Şekil 6.10. SK, KBN ve KBN K kesici takımlarda, farklı T-H oranları için, ilerleme miktarı ve kesme hızına bağlı olarak F_c 'nin değişimi

Şekil 6.10'a göre SK kesici takımlarda, % 5 T-H oranına sahip numuneler için ilerlemenin 0,075 mm/rev'den 0,15 mm/rev'e % 100 artışına karşılık asıl kesme kuvveti F_c ortalama olarak % 75 artmış, 300 m/min kesme hızında bu oran % 56'lar civarında kalmıştır. İlerlemenin 0,15 mm/rev'den 0,225 mm/rev'e çıkmasıyla (% 50 artmasıyla) $F_c \approx$ % 20 artış göstermiştir.

SK takımlar için, T-H oranı % 10 çıktığında, ilerlemedeki % 100 artışla $F_c \approx$ % 65, tekrar % 50 artmasıyla ise $F_c \approx$ % 25 artış göstermiştir. T-H oranı % 15 çıktığında aynı kesici takım için ilerlemedeki % 100 artışa karşılık $F_c \approx$ % 80, ilerlemedeki tekrar % 50'lik artışa karşılık ise $F_c \approx$ % 30 artış göstermiştir.

Bu sonuçlar ışığında SK kesici takımlarla MgO takviyeli MMK malzemeler işlenirken ilerlemedeki % 100 artışla asıl kesme kuvvetlerinin ortalama % 70 arttığı, ilerlemenin tekrar % 50 artırılması ile ise asıl kesme kuvvetlerinin yaklaşık % 25 arttığı söylenebilir. Bu durumda ilerlemedeki artışla asıl kesme kuvvetinin lineer olarak artmadığı sonucuna varılabilir.

Şekil 6.19'a bakıldığında, KBN takımlarla % 15 T-H oranına sahip numuneler işlenirken ilerlemedeki % 100 artışla F_c 'nin yaklaşık % 50 , ilerlemenin tekrar % 50 artmasıyla F_c 'nin yaklaşık % 40 arttığı görülmektedir. % 10 T-H oranında ise ilerlemedeki % 100 artışla $F_c \approx$ % 40, tekrar % 50 artmasıyla ise $F_c \approx$ % 25 artmıştır. T-H oranı % 15'e çıktığında, ilerlemenin % 100 artışına karşılık F_c % 20 ~ % 85 arasında değişen bir artış eğilimi sergilemiş, ilerlemenin tekrar % 50 artırılması ile ise F_c 'deki artış %20 ~ %50 arasında olmuştur. KBN takımlarda, % 15 MgO takviyeli numuneler için F_c kuvvetinin ilerlemesiyle olan değişimi oldukça karasız sonuçlar sergilemiştir.

Şekil 6.20'den KBN K takımlar için grafiğe aktarılan sonuçlara bakılacak olursa; % 5 MgO takviyeli numunelerde ilerlemenin % 100 artışıyla $F_c \sim$ % 50 artarken ilerlemenin tekrar % 50 artmasıyla F_c 'deki artışlar yine yaklaşık % 50 artış göstermiştir.

% 10 MgO takviyeli numunelerde ise ilerlemenin % 100 artmasıyla $F_c \approx \% 70$, tekrar % 50 artırılması ile ise $F_c \approx \% 30$ artış göstermiş ve dağılım daha kararlı olmuştur. % 15 MgO takviyeli numunelerde ise ilerlemedeki % 100 artışa karşılık $F_c \approx \% 40$ (150 m/min kesme hızında istisnai olarak % 90), ilerlemenin tekrar % 50 artmasıyla ise $F_c \approx \% 25$ artış (yine 150 m/min kesme hızında istisnai olarak % 3) göstermiştir.

Genel olarak; ilerlemedeki artışla beraber kesme kuvvetlerinin arttığı ancak bu değişimin lineer olmadığı söylenebilir. 150 m/min kesme hızı için elde edilen kararsız sonuçlar ilerleme için yapılan değerlendirmede de gözlenmiş olup, bu kesme hızının düşük MgO takviyeli Al matrisli kompozit malzemeler için uygun olmadığı (düşük) söylenebilir. İlerleme açısından yapılan değerlendirmede de en kararlı sonuçlar % 10 MgO takviyeli numunelerde elde edilmiştir.

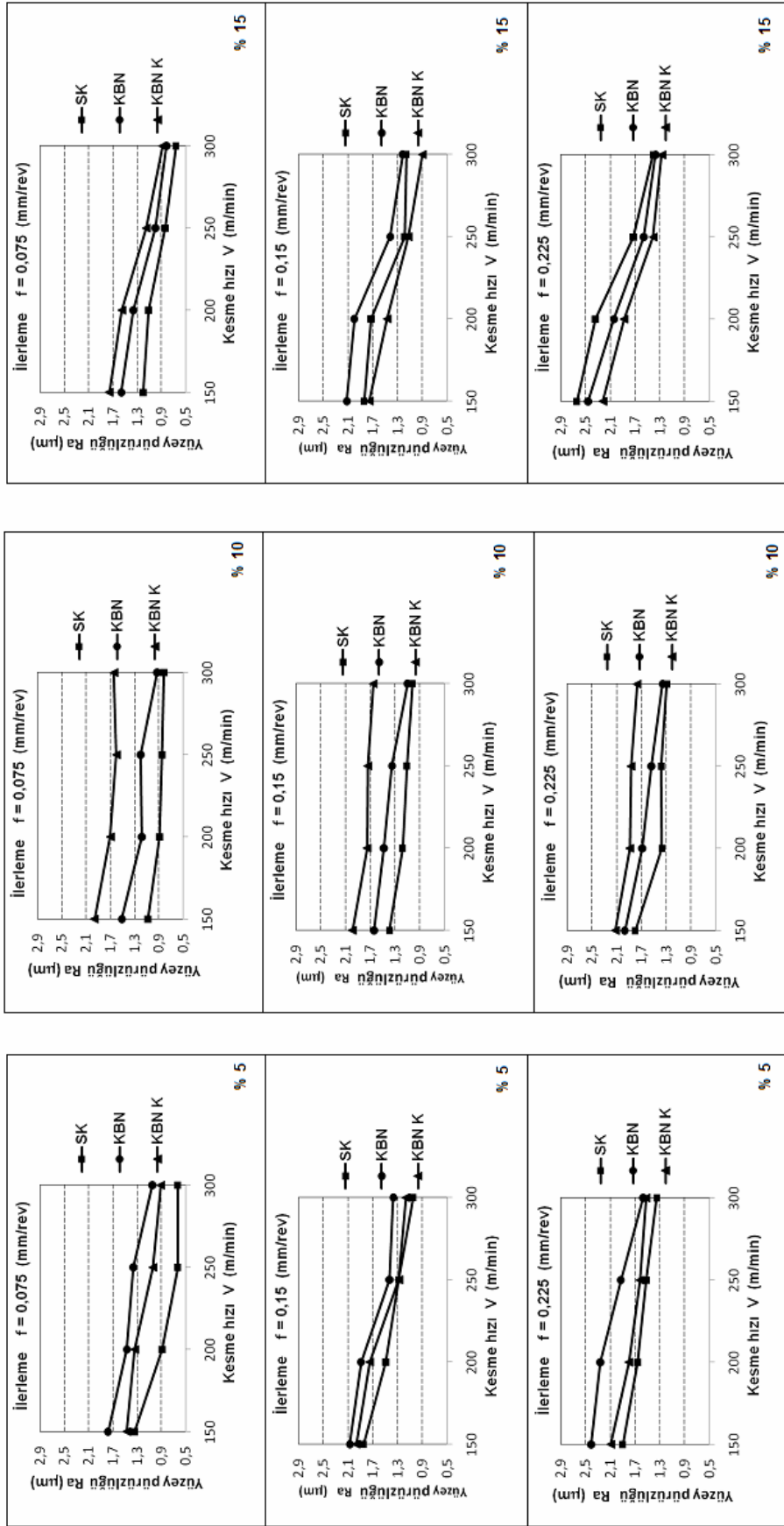
6.2.2. Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi

Malzemelerin işlenebilirlik özelliklerinin değerlendirilmesinde kullanılan en önemli kriterlerden birisi de işlenen yüzeylerin yüzey kalitesidir [151, 160, 167]. Bu sebeple, MgO takviyeli Al matrisli numunelerin işlenebilirliğini değerlendirmek için işlenen yüzeylerin ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (R_a), ölçülmüştür. Yüzey pürüzlülük ölçümleri, işlenen yüzey üzerinden işleme yönünde çevresel olarak rastgele üç farklı noktadan üçer kez ölçülmüş, deney tekrarları ile birlikte toplam altı ölçümün aritmetik ortalaması alınmıştır. Bu ölçümlerden elde edilen sonuçlar; kesici takım malzemesi, kesme hızı, ilerleme miktarı ve T-H oranına bağlı olarak, Çizelge 6.7'de toplu halde verilmiştir.

Çizelge 6.7.T-H oranı, kesici takım malzemesi, kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak işlenen yüzeylerde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülük (R_a) değerleri

Kesici takım malzemesi	Kesme hızı (V) m/min	İlerleme (f) mm/rev	R_a (μm)			
			% 5 MgO	% 10 MgO	% 15 MgO	
SK	150	0,075	1,34	1,08	1,2	
	200		0,89	0,89	1,11	
	250		0,63	0,85	0,84	
	300		0,63	0,82	0,66	
KBN	150		1,78	1,51	1,56	
	200		1,47	1,18	1,36	
	250		1,36	1,2	1,00	
	300		1,05	0,93	0,82	
KBN K	150		1,47	1,96	1,76	
	200		1,34	1,7	1,55	
	250		1,04	1,6	1,15	
	300		0,91	1,64	0,88	
SK	150		0,15	1,85	1,39	1,84
	200			1,49	1,18	1,73
	250			1,28	1,11	1,19
	300			1,05	1,02	1,16
KBN	150	2,07		1,64	2,12	
	200	1,89		1,48	2	
	250	1,43		1,35	1,42	
	300	1,37		1,1	1,22	
KBN K	150	1,97		1,99	1,76	
	200	1,75		1,75	1,47	
	250	1,28		1,74	1,13	
	300	1,17		1,65	0,9	
SK	150	0,225		1,9	1,80	2,64
	200			1,66	1,37	2,34
	250			1,52	1,38	1,73
	300			1,35	1,29	1,41
KBN	150		2,41	1,97	2,46	
	200		2,26	1,69	2,04	
	250		1,93	1,54	1,56	
	300		1,57	1,36	1,37	
KBN K	150		2,09	2,12	2,22	
	200		1,8	1,89	1,88	
	250		1,62	1,87	1,41	
	300		1,52	1,77	1,27	

İşlenen yüzeylerde ölçülen yüzey pürüzlülük değerlerinin kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak değişimlerini kesici takım malzemesine göre karşılaştırmalı olarak gösteren grafikler; % 5 MgO, % 10 MgO ve % 15 MgO takviyeli numuneler için Şekil 6.11'de verilmiştir.



Şekil 6.11. % 5, % 10 ve % 15 MgO takviyeli numuneler için SK, KBN ve KBN K kesici takımlarda, kesme hızı ve ilerlemeye göre (Ra) ortalama yüzey pürüzlülüklerindeki değişim

Şekil 6.11'deki grafikler ortak değerlendirildiğinde ilk göze çarpan eğilim, diğer parametrelerden bağımsız olarak artan kesme hızıyla beraber ortalama yüzey pürüzlülüğünde olumlu yöndeki düşme eğilimidir. Kesme hızının artmasına paralel olarak kesme bölgesindeki sıcaklığın artmasıyla beraber 1. deformasyon bölgesinde plastik deformasyon kolaylaşırken aynı şekilde 2. deformasyon bölgesinde talaş akışı ve talaşın biçimlenmesi kolaylaşmaktadır. Bu durum, beklenen şekilde yüzey kalitesini olumlu etkileyerek yüzey pürüzlülüğünün azalmasına sebep olmaktadır. Ancak kesme hızındaki aşırı artışlar, takımın aşınma sürecine daha erken girmesine sebep olacağından (aşırı yüksek sıcaklıkların kesici takımın sıcak sertliğini olumsuz etkilemesi sebebiyle), kesme hızının belli bir sınıra kadar artırılması yüzey kalitesi açısından olumlu olurken, daha fazla artırılması yüzey kalitesinde tekrar kötülüştürmeye sebep olabilmektedir [16, 150, 151, 160, 162, 167]. Söz konusu grafiklerin tamamında gözlenen artan kesme hızıyla yüzey kalitesinin iyileşme eğilimi, takım üreticileri verilerine [165, 174] bağlı kalınarak seçilen kesme hızı değerlerinin aşırı yüksek olmadığını göstermektedir.

Metallerde ve alaşımlarında gözlenen eğilimlerden farklı olarak kompozit malzemelerdeki sert fazın miktarı, dağılımı ve parçacık büyüklüğü ile porozite kompozit malzemelerde elde edilen yüzey kalitesini olumsuz etkileyebilmekte ve beklenmeyen değişimler de gözlenebilmektedir [16, 156]. Bu çalışmaya konu olan numunelerde, aşırı yüksek olmayan sertlik ve üretim yöntemine bağlı olarak elde edilen homojenite, yüzey kalitesi üzerinde bu şekilde olumsuz gelişmeler gözlenmemesine sebep olmuştur. Yüzey kalitesi artan kesme hızıyla birlikte iyileşme eğilimi sergilerken yine beklendiği şekilde artan ilerleme miktarıyla yüzey pürüzlülüğü değerleri de artarak kötüleşme eğilimi sergilemiştir. T-H oranının % 15'e çıkmasıyla ise kompozit malzemelerde görülen bazı olumsuzluklar ön plana çıkmaya başlamıştır.

Kesici takım malzemelerinin yüzey kalitesi üzerindeki etkileri değerlendirilecek olursa, % 5 MgO T-H oranına sahip numunelerde en düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri SK kesici takımlarla elde edilmiştir. Aynı numuneler için, yüzey kalitesi

açısından ikinci en iyi sonuçlar KBN K takımlarla elde edilirken üç takım arasında en yüksek pürüzlülük değerleri KBN kesici takımlarla elde edilmiştir. Bu durum SK kesici takımlardan beklenmeyen bir performansın göstergesidir. Çünkü özellikle KBN kesici takımlar yüzey kalitesi açısından sergiledikleri üstün performans sebebiyle, özellikle yüksek sertliğe sahip malzemelerin tornalama işlemlerinde, taşlama işlemi ihtiyacını ortadan kaldıracak alternatif bir kesici takım hüviyetindedir [151, 160, 162]. Oysa ki % 5 T-H oranına sahip bu numunelerde yüzey kalitesi açısından en kötü performansı sergilemişlerdir. Bu durum, işlenen numunelerin yüksek sünekliğine bağlı olarak açıklanabilir. Düşük T-H oranında Al matrisin yüksek sünekliği sebebiyle KBN takımlarda beklenen performans alınamamıştır.

% 5 T-H oranına sahip numunelerde SK takımların KBN ve KBN K takımlardan daha iyi sonuç vermesi iki sebebe bağlı olarak açıklanabilir. Bunlardan ilki, çalışma şartlarının getirdiği sınırlamalar (kullanılan takım tezgahının en yüksek devir sayısı) sebebiyle seçilen kesme hızı aralıklarının KBN ve KBN K takımlar için düşük kalması, SK takımlar için ise çok daha uygun değerlerde olmasıdır. Dolayısı ile SK takımlar için uygun seviyedeki kesme hızı değerlerinde diğer takım malzemelerinden daha iyi sonuçlar alınmıştır.

İkinci sebebi ise takım geometrisine bağlı olarak açıklamak mümkündür. SK kesici takımlar ISO'ya göre "SNMA120408" formunda KBN ve KBN K takımlar ise "SNGA120408" formunda takımlardır (bkz. Bölüm 5.2.3, Çizelge 5.3). Aynı karakteristik unsurları taşıyan iki formun kullanılmasındaki üçüncü karakter olan M ve G farkı takıma ait tolerans grubundaki farklılıklardır. Kare biçimli kesici takımda kesici kenar uzunluğunu tanımlayan ölçüye ait toleransları ifade eden bu kodlardan M için tolerans $\pm 0,05 - \pm 0,15$ arasında iken, G için bu tolerans $\pm 0,025$ dir. Bu fark sadece kesici kenar uzunluğu açısından KBN ve KBN K takımların daha dar toleranslara sahip olduğunu gösterir. Her iki takım formu da kare biçimli (1."S" kodu) ve boşluk açısı bakımından nötr (2."N" kodu 0° boşluk açısı) takımları ifade eder. ISO 3685'de işaret edilen boşluk açısı değeri her iki kodlama için de takım tutucudan (ISO'ya göre PSBNR2525M12) temin edilen 6° dir (bkz. Bölüm 5.2.2,

Şekil 5.5). Buraya kadar aynı görünen şartlar çok kırılğan bir takım malzemesi olan KBN ve KBN K takımlarda oluşturulan “kesici kenar formu” ile değişmektedir. Bu tür kesici takımlarda kesici kenarın darbelere karşı dayanımını artırmak için oluşturulan negatif düzlükler söz konusudur [160, 162]. Nitekim kullanılan KBN ve KBN K takımlarda da -25° lik açıyla oluşturulmuş 0,13 mm yatay uzunluğa sahip “T” tipi negatif düzlükler söz konusudur. Bu negatif form, kesme kuvvetlerinin ve kesici kenarda basıncın artmasına sebep olmaktadır. Al gibi sünek malzemelerde negatif formlar olumsuz etki yaratarak BUE oluşturma eğilimini de artırmaktadır. Bu sebeple keskin kesici kenar formu ve mümkün olduğunca pozitif talaş açıları tavsiye edilmektedir. Sünek Al matris için olumsuz özellikler ihtiva eden bu negatif düzlüklerin (pahların) yüzey kalitesi üzerinde olumsuz etki yaptığı düşünülmektedir.

% 5 T-H oranına sahip numunelerde yüzey kalitesi açısından KBN K takımların KBN takımlardan daha iyi sonuç sergilemesi ise KBN K takımlardaki kaplama malzemesinin düşük sürtünme katsayısına atfedilebilir. Bu takımlardaki TiN kaplama, aşınma direncinden çok düşük sürtünme katsayısı sebebiyle en üst katman olarak uygulanan kaplama malzemesidir [151, 160, 162]. Bu sebeple takım-talaş yüzeyinde talaş akışı kolaylaşmakta ve BUE oluşturma eğilimi azalmaktadır. BUE’deki azalma yüzey kalitesine, daha düşük yüzey pürüzlülüğü değerlerinin elde edilmesiyle yansımıştır.

T-H oranını % 10’a çıkmasıyla, yüzey kalitesi açısından en iyi sonuçlar yine SK kesici takımlarla elde edilmiştir. Bu durum, daha önce izah edildiği gibi SK takımlar için daha uygun olan kesme hızı değerlerine ve daha keskin kesici kenar formuna atfedilebilir. Bu grup numunelerde, % 5 T-H oranına sahip numunelerden farklı olarak ikinci en iyi sonuçlar KBN takımla elde edilirken KBN K takımlarla en yüksek pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Bu fark, artan takviye miktarı ile, sert fazın kaplamayı kaldırmak suretiyle takım talaş yüzeyini bozmasına atfedilebilir. Takım-talaş yüzeyinde oluşan düzensizlikler talaş akışını da etkileyerek yüzey pürüzlülüğünü artırdığı düşünülmektedir.

T-H oranının % 15 olduğu numunelerde, sert fazın artmasıyla, kompozit malzemelerde yüzey kalitesini etkileyen olumsuzluklar kendini göstermeye başlamıştır. İlerlemenin en düşük değeri olan 0,075 mm/rev için yine en iyi sonuçlar SK kesici takımlarla elde edilmiştir. Bu ilerleme değerinin çok küçük olması, talaş yükünün de küçük olması anlamını taşıdığından elde edilen sonuçlar, % 10 H oranına sahip numunelerdekine benzer şekilde; yüzey kalitesi açısından takımların SK, KBN ve KBN K şeklinde sıralanmasına sebep olmuştur.

Artan ilerleme miktarıyla artan talaş yükü sert fazın aşındırıcı etkisini de artırmış ve aşınma direnci en düşük olan SK kesici takımları olumsuz etkilemiştir. Nitekim ilerlemenin 0,15 mm/rev'e çıkmasıyla SK kesici takımlar ikinci sıraya gerilemiş, en yüksek ilerleme değeri olan 0,225 mm/rev değerinde ise takımlar arasında en kötü pürüzlülük değerini seğılemiştir. Bu gelişme, artan sert fazın aşındırıcı etkisinin SK kesici takımları diğerlerinden daha önce aşınma sürecine sokmasına atfedilebilir.

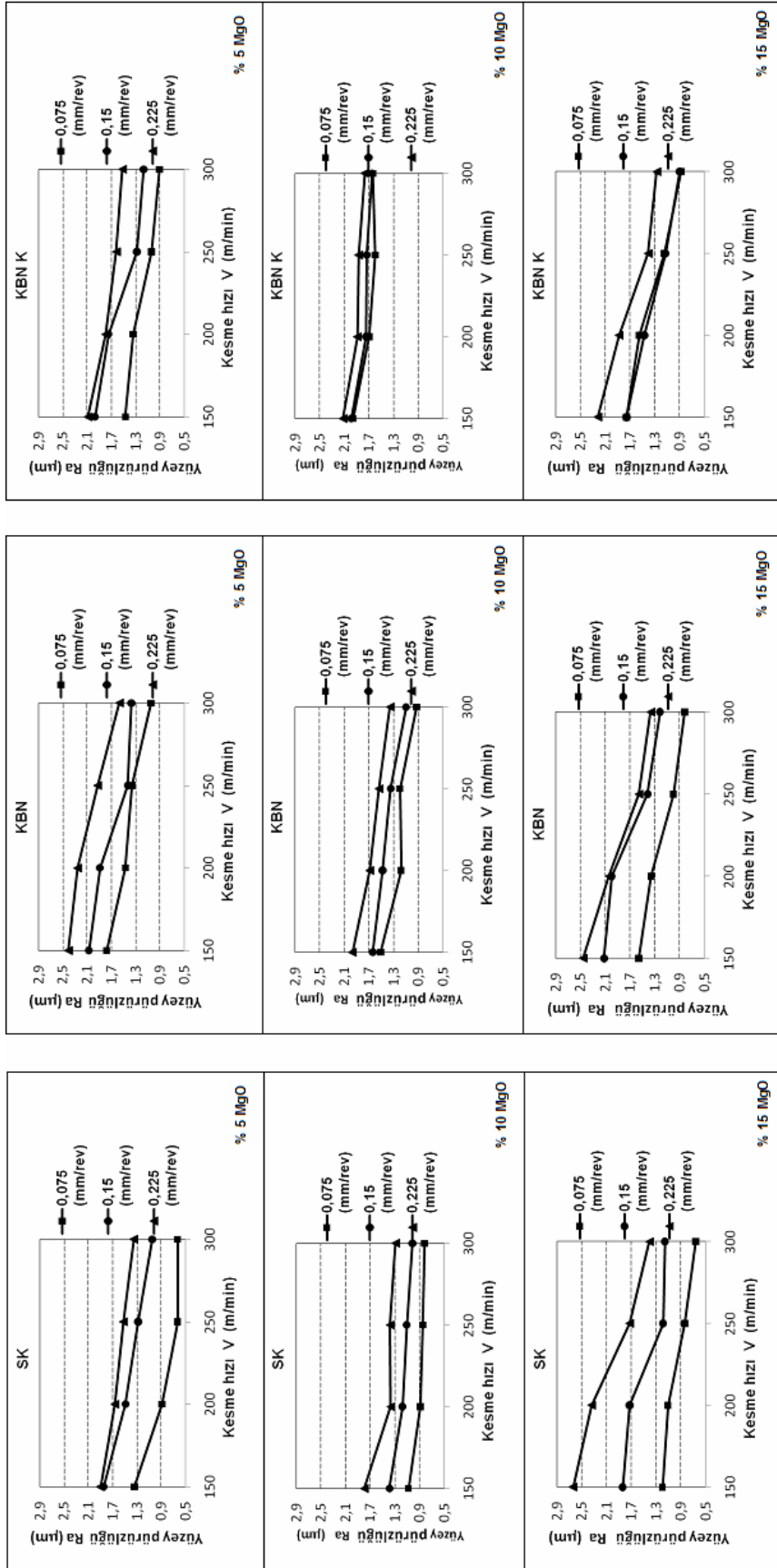
% 15 T-H oranı ve daha yüksek ilerleme değeri (0,15 mm/rev ve 0,225 mm/rev) KBN K takımlardan beklenen performansı ön plana çıkarmış ve bu şartlarda en iyi sonuçlar KBN K takımlarla elde edilmiştir. Kesme hızındaki artışa bağlı olarak yüzey kalitesinde düzenli olarak bir iyileşme eğilimi görülmüştür. En yüksek ilerleme değerinde en iyi sonuçlar KBN K takımlarla, ikinci en iyi sonuçlar KBN takımlarla ve kötü sonuçlar ise SK kesici takımlarla işleme deneylerinden elde edilmiştir.

Bu gelişme, fiyat ve elde edilebilirlik açısından en iyi takım olan SK takımlara alternatif olarak ne zaman KBN ve KBN K takımların kullanılacağıının bir göstergesidir. Mg O takviyeli Al matrisli MMK'larda, KBN ve KBN K gibi takımların, daha yüksek T-H oranlarında (daha fazla sert faz olması halinde) ve daha büyük talaş yüklerinde (daha yüksek ilerleme veya talaş derinliği uygulamalarında) yüzey kalitesi açısından daha olumlu sonuçlar sergileyebileceği söylenebilir. Ayrıca bu takımlardan beklenen performansın elde edilebilmesi için kesme hızının da daha yüksek seçilmesi gerekmektedir. Aşınma direnci SK takımlara göre çok yüksek olan

bu takımlar, sertliği daha yüksek malzemelerin işlenmesi için uygun bir kesici takım malzemesi hüviyetindedir.

İlerleme miktarının yüzey kalitesi üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi

Yapılan çalışmalar işlenen yüzeylerin yüzey kalitesi üzerinde en etkili parametrelerin ilerleme ve kesici takım burun yarıçapı olduğunu göstermektedir [160, 162, 167, 172, 173]. Bu çalışmada kesici takım burun yarıçapı sabit (0,8 mm) bir parametre olarak alındığında değişken parametre olarak seçilen ilerleme miktarına göre ayrıca bir değerlendirme yapılmıştır. İlerlemeye bağlı olarak yüzey pürüzlülüğündeki değişimi gösteren grafikler, T-H oranı ve kesme hızı parametreleri de dikkate alınarak, SK, KBN ve KBN K kesici takımlar için Şekil 6.12’de toplu halde gösterilmiştir.



Şekil 6.12. SK, KBN ve KBN K kesici takımla işlenen numunelerde, % 5, % 10, % 15 MgO T-H oranı kesme hızına (V) bağlı olarak, ilerlemenin (f) ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) üzerindeki etkisi

Şekil 6.12'deki grafiklerde görülen artan eğilim, artan kesme hızıyla yüzey pürüzlülüğü azalırken ilerlemenin artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülüğü artmıştır. Bu durum ilerlemenin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini açık bir biçimde ortaya koymaktadır. Kesici takımların tamamında aynı eğilim gözlenmiştir.

SK kesici takımlarla elde edilen en iyi ortalama yüzey pürüzlülük değerleri; 300 m/min kesme hızında elde edilmiş olup; % 5 T-H oranına sahip numunelerde 0,075 mm/rev ilerleme için 0,63 μm , % 10 T-H oranına sahip numunelerde 0,82 ve % 15 T-H oranına sahip numunelerde ise 0,66 μm olarak birbirine çok yakın değerlerde ($\approx 0,70 \mu\text{m}$) elde edilmiştir. Aynı kesme hızında ilerlemenin 0,15 mm/rev'e çıkmasıyla ortalama yüzey pürüzlülük değerleri de artmış, % 5 T-H oranına sahip numunelerde 1,05 μm , %10 T-H oranına sahip numunelerde 1,02 μm ve % 15 T-H oranına sahip numunelerde ise 1,16 μm olarak (ortalama 1,08 μm) elde edilmiştir. İlerlemedeki % 100'lük artışa karşılık yüzey pürüzlülüğünde % 54'lük bir artış gözlenmiştir. İlerlemenin % 50 tekrar artırılmasıyla ($f = 0,225 \text{ mm/rev}$) için, en düşük yüzey pürüzlülüğünün elde edildiği 300 m/min kesme hızında, % 5 T-H oranına sahip numunelerin ortalama yüzey pürüzlülüğü 1,35 μm , % 10 T-H oranında 1,29 μm ve % 15 T-H oranında 1,41 μm olarak gerçekleşmiştir. Ortalama olarak 1,35 μm olarak gerçekleşen ortalama yüzey pürüzlülüğü ilerlemedeki % 50'lik artışa karşılık yüzey pürüzlülüğü de % 25 artmıştır. SK kesici takımlar için düzenli bir artış eğilimi gözlenmiştir.

Tüm değerlendirmelerin en iyi sonuçların elde edildiği 300 m/min kesme hızı için yapılmasına devam edilecek olursa KBN takımlarla işlenen numunelerde, 0,075 mm/rev ilerleme için % 5 T-H oranında ortalama yüzey pürüzlülüğü 1,05 μm , % 10 T-H oranında 0,93 μm ve % 15 T-H oranında 0,82 μm (ortalama 0,93 μm) olmuştur. İlerlemenin 0,15 mm/rev'e çıkmasıyla % 5 T-H oranında 1,37 μm , % 10 T-H oranında 1,1 μm ve %15 T-H oranında 1,22 μm (ortalama 1,23 μm) yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. İlerlemenin 0,225 mm/rev'e çıkmasıyla ise ortalama pürüzlülük değerleri; % 5 T-H oranında 1,57 μm , % 10 T-H oranında 1,36 μm ve % 15 T-H oranında 1,37 μm (ortalama 1,43 μm) olarak gerçekleşmiştir.

İlerlemedeki % 100 artışa karşılık yüzey pürüzlülüğü % 30, ilerlemenin tekrar % 50 artışına karşılık ise % 15'lik bir artışla kararlı bir eğilim sergilemiştir.

KBN K takımlarda işlenen numunelerde, 0,075 mm/rev ilerleme için % 5, % 10, % 15 T-H oranlarına sahip numunelerde ortalama yüzey pürüzlülükleri sırasıyla 0,91 μ m, 1,64 μ m ve 0,88 μ m (ortalama 1,44 μ m) olarak gerçekleşmiştir. İlerlemenin 0,15 mm/rev'e çıkarılmasıyla aynı sırayla ortalama yüzey pürüzlülük değerleri 1,17 μ m 1,65 μ m ve 0,9 μ m (ortalama 1,24 μ m) şeklinde elde edilmiştir. İlerlemenin tekrar % 50 artırılmasıyla (0,225 mm/rev), yüzey pürüzlülükleri 1,52 μ m, 1,77 μ m ve 1,27 μ m (ortalama 1,52 μ m) olarak gözlenmiştir.

Bu sonuçlar ışığında, KBN K takımlar için, ilerlemedeki % 100 artışla ortalama yüzey pürüzlülüğü sadece % 9 artarken, ilerlemedeki tekrar % 50'lik bir artışla ortalama yüzey pürüzlülüğündeki artış bu kez % 20'lere kadar çıkmıştır. SK ve KBN takımlarda gözlenen düzenli artış eğilimi KBN K takımlarda gerçekleşmemiştir. Bu durum, kaplamasız diğer iki takıma karşılık kaplama ihtiva eden bu takımın işlenen malzeme karşısındaki davranışıyla açıklanabilir. Kaplama malzemesinin beklenmeyen şekilde kalkmış (veya soyulmuş) olmasının talaş yüzeyinde yarattığı düzensizliklerin ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerlerinde de beklenmeyen dalgalanmalara sebep olduğu düşünülmektedir.

T-H oranının yüzey kalitesi etkisi de kısaca değerlendirilecek olursa; 0,075 mm/rev ilerleme değerleri için, kesme kuvvetlerinde olduğu gibi kararsız dalgalanmalar gözlenmiştir. Bu durum ilerleme değerinin çok küçük olmasına ve dolayısıyla tezgah - işparçası ve takım titreşimlerinden olumsuz etkilenmesine atfedilebilir. İlerlemenin artmasıyla daha kararlı değişimler gözlenmiş olup SK ve KBN takımlar için en iyi sonuçlar % 10 T-H oranına sahip numunelerde elde edilmiştir. KBN K takımlarla işlenen numunelerde 0,15 mm/rev ve 0,225 mm/rev ilerlemeler için, % 15 T-H oranına sahip numunelerde daha iyi sonuçlar elde edilmekle beraber aşırı dalgalanmalar söz konusu olmuştur. Bu sonuçlar ışığında, MgO takviyeli Al matrisli MMK malzemeler için ilerlemenin 0,15 mm/rev ve üstünde seçilmesi önerilebilirken

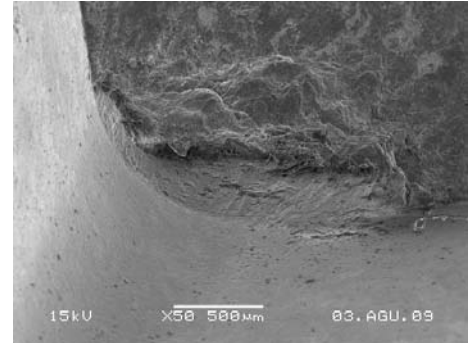
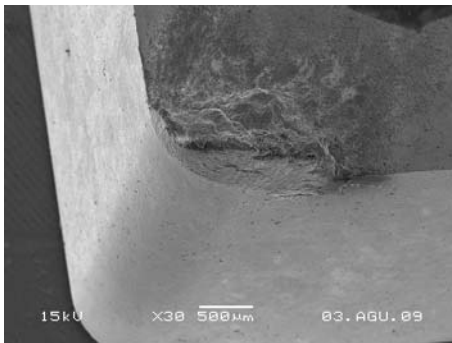
T-H oranı açısından ise en kararlı ve iyi sonuçların % 10 MgO takviyeli numunelerde elde edildiği söylenebilir.

6.2.3. Kesici takım aşınma davranışlarının değerlendirilmesi

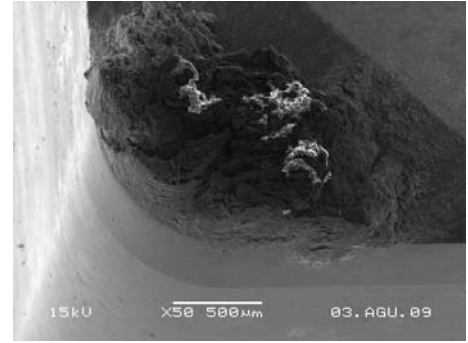
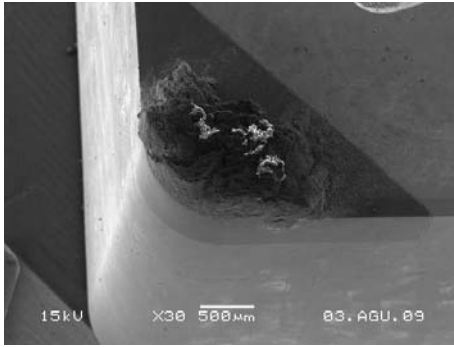
İşlenebilirlik deneylerinde kullanılan kesici takımlarla yapılan işleme deneylerinden sonra kesici takımlardaki aşınma davranışını incelemek üzere SEM görüntüleri alınmıştır. Bu amaçla en kararsız sonuçları veren 150 m/min kesme hızında, % 5 MgO, % 10 MgO ve % 15 MgO kodlu numunelerin işlenmesinde SK, KBN ve KBN K kesici takımların, 0,225 mm/rev ilerleme miktarı için aşınma davranışları incelenmiştir.

% 5 MgO kodlu numunelerin işlenebilirliğinde kesici takım aşınmalarının değerlendirilmesi

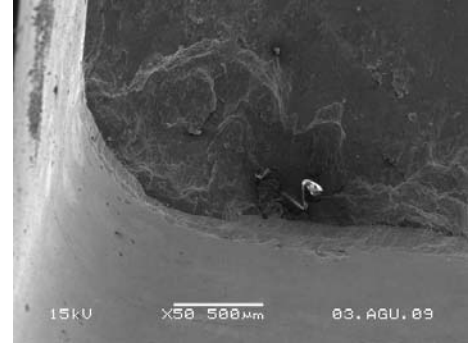
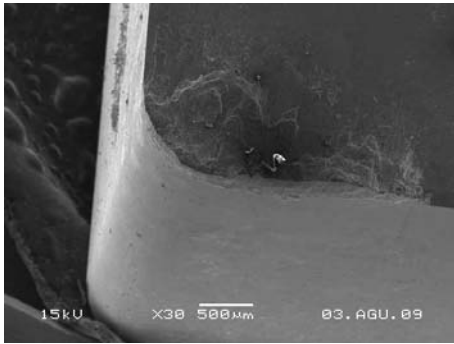
% 5 MgO kodlu numunelerin işlenmesinde kullanılan kesici takımların SEM görüntüleri Resim 6.4, Resim 6.5 ve Resim 6.6'da verilmiştir.



Resim 6.4. %5 MgO kodlu numunenin SK takım ile işlenmesinde oluşan SEM görüntüleri (V=150 m/min f=0,225 mm/rev)



Resim 6.5. %5 MgO kodlu numunenin KBN takım ile işlenmesinde oluşan SEM görüntüleri ($V=150$ m/min $f=0,225$ mm/rev)

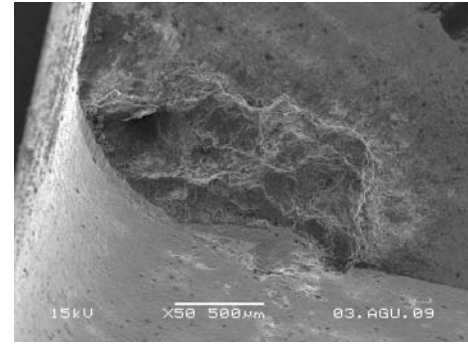
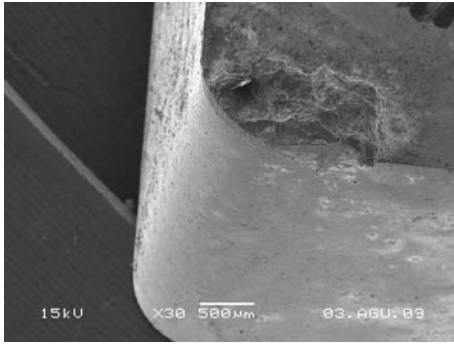


Resim 6.6. %5 MgO kodlu numunenin KBN K takım ile işlenmesinde oluşan SEM görüntüleri ($V=150$ m/min $f=0,225$ mm/rev)

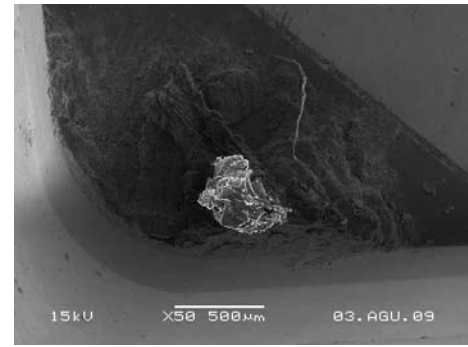
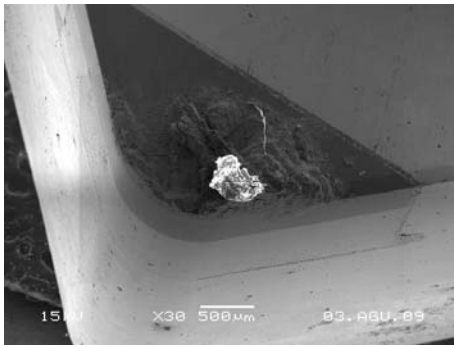
Resim 6.4, 6.5 ve 6.6 incelendiğinde; %5 MgO kodlu numunenin işlenmesinde, üç kesici takımın uç kısmında, talaş yüzeyinde talaş yığılması (BUE) olduğu ancak en fazla yığılmanın KBN kesici takımında olduğu görülmektedir. Kesici uçlardaki aşınma davranışına bakıldığında, yan yüzey aşınmasının çok az olduğu, en fazla aşınmanın SK kesici takımında görüldüğü tespit edilmiştir. Bu durumu, kesici takım malzemesi olarak SK'nın KBN ve KBN K'ya göre daha düşük aşınma direncine atfedebiliriz.

% 10 MgO kodlu numunelerin işlenebilirliğinde kesici takım aşınmalarının değerlendirilmesi

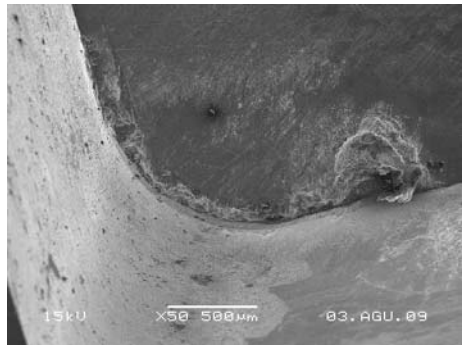
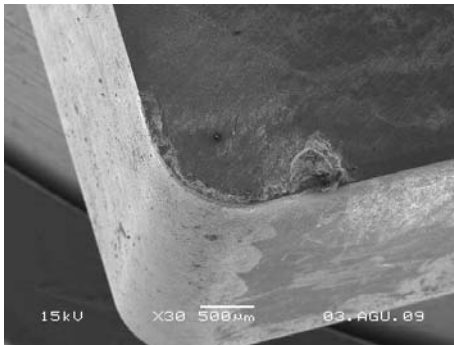
% 10 MgO kodlu numunelerin işlenmesinde kullanılan kesici takımların SEM görüntüleri Resim 6.7, Resim 6.8 ve Resim 6.9'da verilmiştir.



Resim 6.7. %10 MgO kodlu numunenin SK takım ile işlenmesinde oluşan SEM görüntüleri ($V=150$ m/min $f=0,225$ mm/rev)



Resim 6.8. %10 MgO kodlu numunenin KBN takım ile işlenmesinde oluşan SEM görüntüleri ($V=150$ m/min $f=0,225$ mm/rev)



Resim 6.9. %10 MgO kodlu numunenin KBN K takım ile işlenmesinde oluşan SEM görüntüleri ($V=150$ m/min $f=0,225$ mm/rev)

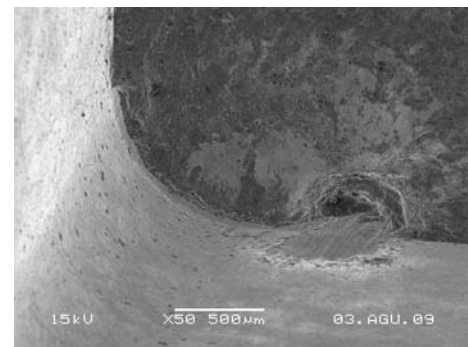
Resim 6.7, 6.8 ve 6.9 incelendiğinde; % 10 MgO kodlu numunenin işlenmesinde, kesici takımların uçünün talaş yüzeyinde de bir miktar talaş yığılması (BUE) olduğu görülmektedir. Resim 6.8'de KBN takım ucuna kompozit malzemedeki

takviye elemanı olan MgO parçacığının yapıştığı tespit edilmiştir. Kesici takımlarda yan yüzey aşınmasının oldukça düşük olduğu, buna karşılık krater tipi aşınma mevcut olduğu görülmüştür. En fazla aşınmanın, % 5 MgO kodlu numunede olduğu gibi, SK kesici takımında olduğu tespit edilmiştir. Aynı şekilde, SK kesici takımında oluşan bu aşınma davranışı, SK'nın KBN ve KBN K'dan daha düşük aşınma direncine atfedilmiştir.

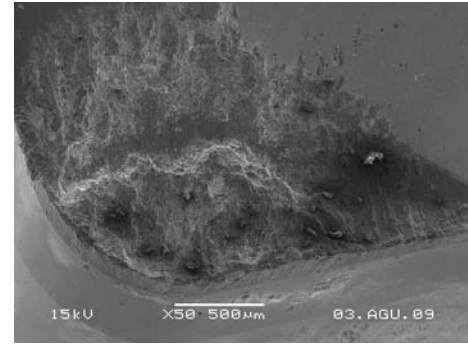
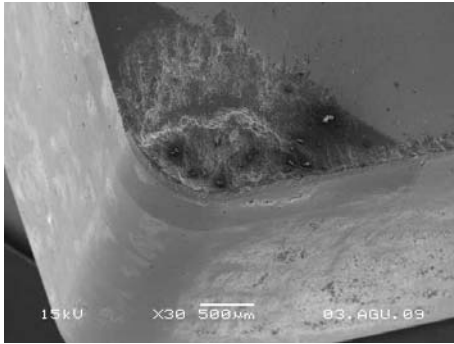
% 10 MgO kodlu numunenin işlenmesinde kullanılan kesici takımların hepsindeki aşınmaların % 5 MgO kodlu numunelikilerden daha fazla olduğu belirlenmiştir. Buna sebep olarak, % 10 MgO kodlu numunenin içerisindeki seramik esaslı takviye elemanı MgO'nun, % 5 MgO kodlu numunedekinden iki kat daha fazla olması gösterilebilir.

% 15 MgO kodlu numunelerin işlenebilirliğinde kesici takım aşınmalarının değerlendirilmesi

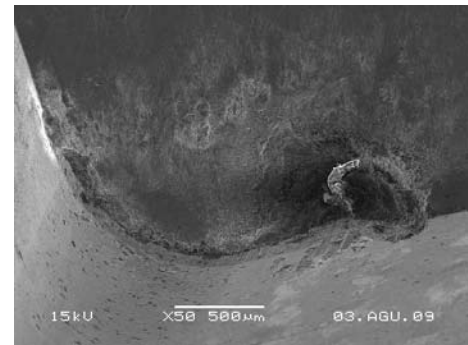
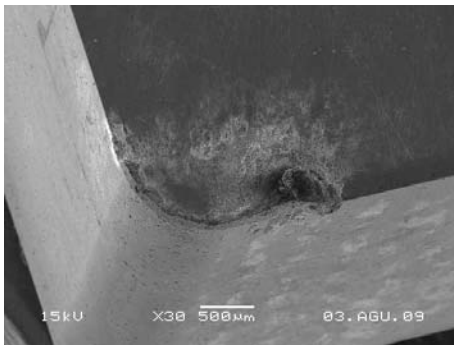
Resim 6.10, Resim 6.11 ve Resim 6.12'de % 15 MgO kodlu numunelerin işlenmesinde kullanılan kesici takımların SEM görüntüleri verilmiştir.



Resim 6.10. %15 MgO kodlu numunenin SK takım ile işlenmesinde oluşan SEM görüntüleri (V=150 m/min f=0,225 mm/rev)



Resim 6.11. %15 MgO kodlu numunenin KBN takım ile işlenmesinde oluşan SEM görüntüleri ($V=150$ m/min $f=0,225$ mm/rev)



Resim 6.12. %15 MgO kodlu numunenin KBN K takım ile işlenmesinde oluşan SEM görüntüleri ($V=150$ m/min $f=0,225$ mm/rev)

Resim 6.10, 6.11 ve 6.12 incelendiğinde; % 15 MgO kodlu numunenin işlenmesinde, kesici takım uçlarındaki aşınmaların diğer numunelere göre fazla değişiklik göstermediği ancak kesici uçlardaki yan yüzey aşınmalarının biraz daha fazla olduğu söylenebilir. Bu durum özellikle SK uçta daha belirgin görülmektedir. Krater tipi aşınmanın daha baskın olduğu, talaş yığılmaları ve yapışmalarının da aynı şekilde mevcut olduğu görülmektedir. % 15 MgO kodlu numunedeki takviye elemanının en fazla olması, takım aşınmasında en yüksek olması gerektiğini akla getirirse de durumun tam böyle olmadığı söylenebilir. Bu durum, artan T-H oranı ile birlikte gözenek miktarında artmasına, dolayısıyla işleme sırasında malzemenin daha kolay kopma davranışı göstermesine atfedilebilir. Çiftçi ve ark. yaptığı işlenebilirlik çalışmalarının sonuçlarına paralel olarak, bütün kesici takımlarda abrasiv aşınma mekanizmasının etkili olduğu gözlenmiştir [88, 89].

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu bölümde infiltrasyon yöntemi ile üretilen MgO takviyeli Al matrisli MMK malzemelerin üretim şartları, bazı mekanik ve işlenebilirlik özelliklerinin araştırıldığı bu çalışma ile elde edilen sonuçlar ve ileride yapılabilecek çalışmalara ait öneriler ele alınmıştır. Elde edilen sonuçlar, üretim yöntemi ve mekanik özellikler ile işlenebilirlik özellikleri açısından olmak üzere iki ayrı bölüm halinde değerlendirilmiştir.

7.1. Sonuçlar

7.1.1. Üretim yöntemi ve mekanik özellikleri

Al matrisli düşük MgO parçacık takviyeli (% 5, % 10, % 15 T-H oranları ile) MMK malzeme üretiminde kullanılan infiltrasyon yöntemiyle ilgili olarak T-H oranının MgO parçacık dağılımına, infiltrasyon mesafesine ve gözenek oluşumuna etkileri değerlendirilmiştir. Mekanik özellikler olarak ise infiltrasyon yöntemiyle üretilmiş MgO takviyeli Al matrisli MMK numunelerin çapraz kırılma dayanımları ve T-H oranına bağlı makrosertlik sonuçları ele alınmıştır. Bu kriterler baz alınarak elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir:

- İnfiltrasyon deneyleri % 5, % 10, % 15 T-H oranına sahip 149 µm boyutundaki MgO tozları ile, 550 mmHg vakum altında % 5 Mg içeren Al sıvı matrisle, 5 dakika süre ile, 700 °C, 750 °C ve 800 °C sıcaklıklarda yapılmıştır. Sıvı matrise % 5 Mg ilavesi infiltrasyon işlemi üzerinde olumlu etki yapmıştır.
- T-H oranının artmasıyla MgO parçacıkların yapı içerisinde homojen dağılımının da arttığı gözlenmiştir. En düşük T-H oranı olan % 5 MgO takviyeli numunelerde takviye topaklanması olduğu görülmüştür. Bu duruma, düşük T-H oranlarında, blok parça içinde fazla olan Al fazlarının ergimesiyle beraber oluşan takviye sürüklenmesinin sebep olduğu düşünülmektedir.

- T-H oranının artmasıyla homojenlikte iyileşme gözlenmiş olup en iyi homojenite %15 MgO takviyeli numunelerde elde edilmiştir.
- Matris ve takviye parçacıklarının karıştırma işlemi ideal şartlarda yapılmış olmasına rağmen, MgO parçacıkların özgül ağırlığının daha fazla olması sebebiyle bu parçacıkların infiltrasyon ortamında tabana doğru hareket etme eğilimi homojeniteyi olumsuz yönde etkilemiştir.
- İnfiltrasyon deneylerinde kullanılan üç farklı sıvı matris sıcaklığı (700 °C, 750 °C ve 800 °C) değerlendirildiğinde, bütün T-H oranları için istenilen infiltrasyon mesafesi 800 °C sıcaklıkta elde edilmiştir. Bu sıcaklıkta tüm numuneler için elde edilen 70 mm'lik ortak infiltrasyon mesafesi, 800 °C en uygun sıcaklık olduğunu göstermiştir. Bu sonuçlar sıcaklığın infiltrasyon mesafesi üzerinde oldukça etkili bir parametre olduğunu göstermekte olup T-H oranının artmasıyla bu etki daha da belirgin hale gelmektedir. Sıvı matris sıcaklığının artmasıyla sıvı matrisin blok parça içerisinde daha kolay infiltrate olduğu gözlenmiştir. Sıcaklığın artmasıyla matrisin yüzey gerilimi azaldığından, infiltrasyon için gerekli kılcal basınç da azalarak infiltrasyonu artırıcı etki yapmaktadır.
- En uygun sıvı matris sıcaklığı (800 °C) için teorik ve deneysel yoğunluk hesaplamalarıyla yapılan gözeneklilik ölçümleri ile T-H oranının artmasının üretilen kompozitlerin gözenek miktarını arttığı belirlenmiştir. Gözenekler genellikle takviye-matris ara yüzeyinde yoğunlaşmış olup artan T-H oranlarında MgO parçacıkların da artması gözenek oluşturma eğilimini artırmıştır.
- Farklı sıvı matris sıcaklıklarıyla üretilen kompozit numunelerde, düşük sıcaklıklarda daha gözenekli bir yapı elde edilmiş, sıcaklığın artması ile iyileşen infiltrasyon, gözenek oluşumu üzerinde de olumlu bir etki yapmıştır.
- Üretilen kompozit numunelerle yapılan çapraz kırılma deneyleri, T-H oranının artmasıyla kırılma dayanımının azaldığını göstermektedir. Bu durumun artan T-H

oranında MgO parçacıklar etrafında yoğunlaşan gözenek artışından kaynaklandığı düşünülmektedir. Gözenekler malzemenin kırılma tokluğunu olumsuz yönde etkilemektedir. En yüksek kırılma kuvveti % 5 T-H oranına sahip numunelerde gözlenirken (165,9 kN) en düşük kırılma kuvveti % 15 T-H oranına sahip numunelerde (88,5 kN) gözlenmiştir.

- Kırılma yüzeylerinin SEM görüntüleri; kırılmanın genelde gevrek kırılma şeklinde geliştiğini göstermiştir. Kırılmalar genellikle matris-takviye ara yüzeyinde meydana gelmiştir. Bu durumun ıslatma probleminin yanında matris-takviye sınırlarında artan gözeneklerden ve takviye elemanını MgO'in meydana getirdiği çentik tesirinden kaynaklandığı düşünülmektedir.
- Üretilen numuneler üzerinde yapılan Brinell Sertlik Deneyleri T-H oranının artmasıyla sertlik değerinin azaldığını göstermiştir. Bu duruma artan T-H oranlarında gözenek miktarının da artmasının sebep olduğu düşünülmektedir. Gözenekli bölgelerdeki boşluklu yapı, sertlik değerinin düşmesine sebep olmuştur. % 5 T-H oranında 87,36 HB, % 10 T-H oranında 78,94 HB ve % 15 T-H oranında 66,46 HB sertlik değerleri tespit edilmiştir. Kompozit malzemeler içerisindeki gözenek miktarının artması malzemenin mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilemiştir.

7.1.2. İşlenebilirlik özellikleri

İnfiltrasyon yöntemiyle üretilen MgO takviyeli Al matrisli MMK malzemelerin işlenebilirlik özellikleri, temel işlenebilirlik kriterleri olan kesme kuvvetleri ve yüzey kalitesi açısından değerlendirilmiştir. Ayrıca, özellikle sünek matrisin düşük kesme hızlarında yaratacağı olumsuzluklar dikkate alınarak, kesici takım malzemelerinin bu kesme hızındaki aşınma davranışları, SEM görüntüleri ışığında değerlendirilmiştir. Üretilen MMK numunelerin işlenebilirlik özellikleri ile ilgili elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- İşleme deneylerinin tamamında, genel olarak beklendiği şekilde, kesme hızındaki artışa bağlı olarak kesme kuvvetleri azalırken ilerleme miktarındaki artışa bağlı olarak, kesme kuvvetleri artma eğilimi göstermiştir. Bu durum, kesme hızının artmasıyla kesme bölgesinde artan sıcaklığın plastik deformasyonu kolaylaştırmasına, artan ilerleme miktarıyla ise talaş kesit alanının büyümesine atfedilmiştir.
- % 5 MgO takviyeli numunelerde, SK ve KBN kesici takımlarda, kesme hızının 150 m/min'den 200 m/min'e çıkmasıyla kesme kuvvetlerinde görülen artış, sünek yapıdaki bu numunenin işlenmesinde 150 m/min kesme hızının düşük kaldığına ve BUE oluşturma eğilimini artırarak kesme kuvvetlerinde beklenmeyen dalgalanmalara sebep olduğuna atfedilmiştir. Nitekim bu takımlar için yapılan SEM incelemelerinde gözlenen BUE oluşumu, bu sonucu doğrular niteliktedir.
- % 5 MgO takviyeli numunelerde, kesme kuvvetlerinde görülen düzensizlikler, T-H oranının çok küçük olması sebebiyle, kesici takımın genelde sünek yapıdaki Al matrisli temasta olmasına bağlı olarak açıklanmıştır.
- T-H oranının % 5'den % 10'a çıkmasıyla, işleme şartlarına bağlı olarak, kesme kuvvetleri kesme hızındaki artışla azalma, ilerlemedeki artışla ise artma eğilimine girmiştir. Bu durum Al'a göre daha sert olan MgO fazının etkili olmaya başladığının ve BUE eğiliminin azaldığının bir göstergesidir.
- Üç farklı T-H oranı içerisinde en kararlı sonuçlar, % 10 MgO takviyeli numunelerde elde edilmiştir.
- % 15 MgO takviyeli numunelerde kesme kuvvetleri açısından en kararlı sonuçlar SK takımlarla elde edilirken, KBN takımlarla 0,225 mm/rev ilerleme değerinde, KBN K takımlarla ise 0,15 mm/rev ilerlemede değerinde daha kararlı sonuçlar elde edilmiştir. Bu T-H oranı için 150 m/min kesme hızında KBN ve KBN K takımlarda gözlenen kesme kuvvetlerindeki düzensizlikler, artan T-H oranına

rağmen halen bu hızın bu takımlar için düşük olduğunun göstergesidir. Kesme kuvvetlerindeki bu dalgalanmalar ayrıca, kompozit malzemelerin yapısında görülen düzensizliklere (homojenlik, gözeneklilik vb.) atfedilmiştir.

- İlerleme kuvveti (F_f) ve radyal kuvvet (F_r)'nin asıl kesme kuvveti (F_c) ile ilişkisine bakıldığında, her üç kuvvetin değişme eğilimlerinin paralel olduğu görülmüştür. Kesme kuvveti bileşenlerinin büyüklüğü değerlendirildiğinde ise asıl kesme kuvvetinden sonra ilerleme kuvveti ve radyal kuvvet olarak sıralandıkları görülmektedir.
- F_f ilerleme kuvvetinin, kompozit malzemedeki sert fazın etkisiyle % 55 F_c 'den daha büyük değere çıktığı tespit edilmiştir. Ayrıca, literatürde radyal kuvvetin ilerleme kuvvetlerinin % 50'si kadar olduğu belirtilmekle beraber, yapılan deneylerde radyal kuvvetin ilerleme kuvvetine çok yakın değerler sergilediği görülmüştür.
- F_f ve F_r 'nin F_c ile ilişkisi; farklı ilerleme değerlerinde, farklı kesici takımlar için, farklı T-H oranlarında F_f 'in % 55 ~ % 73 F_c kadar, F_r 'nin ise % 51 ~ % 63 F_c kadar olduğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde F_r değerleri, F_f 'e göre % 2 ~ % 10 kadar daha düşük gerçekleşmiştir. Bu durumu, radyal kuvveti etkileyen burun yarıçapı, yanaşma açısı gibi faktörlere bağlı olarak açıklamak mümkün olup kompozit malzemelere has bir özellik olarak da yorumlamak mümkündür.
- % 5 T-H oranına sahip numunelerde gözlenen asıl kesme kuvvetlerindeki dalgalanmalar sünek yapının olumsuz etkilerini sergilemektedir. Bu T-H oranında en kararlı sonuçlar 0,075 mm/rev ile 0,225 mm/rev ilerlemelerde, en düşük asıl kesme kuvvetleri ise SK kesici takımla elde edilmiştir.
- T-H oranı % 10'a çıktığında asıl kesme kuvvetleri daha düzenli bir değişim sergilemiş olup, en düşük asıl kesme kuvveti değerleri, tüm ilerleme değerleri için SK kesici takımla elde edilmiştir.

- % 15 T-H oranına sahip numunelerde SK takımın olumlu özellikleri sadece 0,075 mm/rev ilerleme değerinde gözlenirken, ilerlemenin artmasıyla artan talaş yükü SK kesici takımı olumsuz yönde etkilemiştir. Bu T-H oranında KBN takımın asıl kesme kuvveti açısından daha olumlu sonuçlar sergilediği söylenebilir.
- Asıl kesme kuvvetleri açısından genel bir değerlendirme yapılacak olursa, en iyi T-H oranının % 10 olduğu görülmektedir. Benzer şekilde kesici takım malzemelerinin performansları değerlendirilecek olursa, fiyatı ve elde edilebilirliği açısından SK kesici takımın tercih edilmesi önerilebilir. Sadece % 15 T-H oranına sahip numunelerde, SK kesici takımın aşınma davranışı dikkate alınarak, daha düşük ilerleme veya kesme derinliği değerlerinde (takımın talaş yükünü azaltmak amacıyla) çalışılması tavsiye edilir.
- T-H oranları ve kesici takım malzemelerinin tamamı için, artan ilerleme değerleri ile birlikte artan talaş kesit alanı, asıl kesme kuvvetinin de artmasına sebep olmuştur.
- % 5 MgO takviyeli numunelerde, SK kesici takımlar için ilerlemenin % 100 artmasıyla $F_c \approx \% 75$, tekrar % 50 artmasıyla ise $F_c \approx \% 20$ artış göstermiştir. % 10 T-H oranına sahip numunelerde ilerlemedeki % 100'lük artışa karşılık $F_c \approx \% 65$, tekrar % 50'lik artışa karşılık $F_c \approx \% 25$ artış göstermiştir. T-H oranını en yüksek değeri olan % 15 MgO takviyeli numunelerde, ilerlemedeki % 100 artışla $F_c \approx \% 80$, ilerlemedeki % 50'lik ikinci artışla $F_c \approx \% 30$ artmıştır. İlerlemedeki artışla asıl kesme kuvvetindeki en kararlı değişimler yine SK kesici takımla elde edilmiştir.
- Asıl kesme kuvvetini ilerlemedeki artışla değişimi, KBN takımlarda yine en kararlı artış eğilimleri sergilerken, KBN K takımlarda kararsız artış eğilimleri sergilemiştir. Bu durum talaş kaldırma sırasında yaşanmış olabilecek kaplama kalkmasına atfedilmiştir.

- Yüzey kalitesi açısından yapılabilecek işlenebilirlik değerlendirmesinde, tüm kesici takımlar için artan kesme hızlarıyla ortalama yüzey pürüzlülük değerleri düşerken, ilerlemedeki artışla yüzey pürüzlülük değerleri artış göstermiştir. Bu durum beklenen tarzda gelişmiş olup literatürle paralellik arz etmektedir.
- Kesici takım malzemelerinin yüzey kalitesi üzerindeki etkileri değerlendirildiğinde, % 5 ve % 10 T-H oranına sahip numunelerde SK kesici takımlarla elde edilmiştir. Bu durum, takım geometrisinde KBN ve KBN K takımların kesici kenar formuna atfedilmiştir. Bu takımların kesici kenarlarında oluşturulan negatif pah, yüzey kalitesini de olumsuz etkilemiştir.
- % 5 T-H oranına sahip numunelerde yüzey kalitesi açısından en iyi ikinci sonuçlar KBN K takımla elde edilmiş olup bu durum kaplamalı takımın en üst katmanı olan TiN kaplamanın düşük sürtünme katsayısına atfedilmiştir. % 10 T-H oranında artan sert faz kaplamayı olumsuz etkilemiş ve KBN takımlarla KBN K takımlara göre daha iyi yüzey kaliteleri elde edilmiştir.
- Kesme kuvvetlerindeki benzer şekilde, T-H oranının % 15'e çıkması, aşınma direnci en düşük olan SK kesici takımı olumsuz etkilemiştir. Ancak yine de düşük talaş yüklerinde (0,075 mm/rev ilerleme) SK en iyi sonuçları sergilemiştir. Artan talaş yüküyle SK kesici takım aşınma sürecine girmiş ve önce ikinci sıraya sonra da üçüncü sıraya gerilemiştir.
- % 15 T-H oranı ve daha yüksek ilerleme değerleri KBN K takımlardan beklenen performansı ön plana çıkarmış ve yüzey kalitesi açısından en iyi sonuçlar KBN K takımlarla elde edilmiştir.
- Kesici takım malzemeleri, yüzey pürüzlülüğü açısından genel olarak değerlendirildiğinde, SK kesici takımlar ön plana çıkmaktadır. Kesme kuvvetlerindeki benzer şekilde, % 15 T-H oranı için bu takımların yüksek talaş yüklerinde kullanılması tavsiye edilmez.

- T-H oranının yüzey kalitesi açısından etkisi değerlendirildiğinde en kararlı ve en iyi sonuçların % 10 MgO takviyeli numunelerde elde edildiği söylenebilir.
- İşlenebilirlik açısından genel bir değerlendirme yapılacak olursa, en olumlu sonuçlar % 10 T-H oranında ve SK kesici takımlar kullanılarak elde edilmiştir. Bu tür kompozit malzemelerin işlenmesinde KBN ve KBN K takımların daha yüksek kesme hızlarında daha düşük ilerleme ve talaş derinliklerinde kullanılması düşünülmelidir. Çünkü bu çalışmada belirlenen kesme parametreleri dikkate alındığında, fiyat/performans ilişkisi daha avantajlı olan SK takımlarla daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.
- Özellikle en kararsız kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinin elde edildiği 150 m/min kesme hızındaki takımların aşınma davranışları değerlendirildiğinde, bu hızda gözlenen aşırı BUE oluşturma eğilimi kesme kuvvetleri ve yüzey kalitesini de olumsuz etkilemiştir. Dolayısı ile 150 m/min kesme hızının, üretilen bu kompozit malzemelerin işlenmesinde kullanılması tavsiye edilmez.
- Yüksek T-H oranı (% 15) ve yüksek ilerleme değerlerinde, genel olarak önerilen SK kesici takımlar, daha fazla aşınma eğilimi sergilediğinden, aşınmayı kontrol altında tutmak için, daha düşük ilerleme ve talaş derinliği (düşük talaş yükü) şartlarında çalışılması faydalı olacaktır.

7.2. Öneriler

% 5, % 10 ve % 15 MgO takviyeli Al matrisli MMK malzemelerin infiltrasyon yöntemiyle üretimi, bazı mekanik ve işlenebilirlik özelliklerinin belirlenmesi için yapılan bu çalışmanın daha ileri noktalara taşınabilmesi için öneriler aşağıda özetlenmiştir:

- T-H oranı % 5, % 10 ve % 15 olarak düşük seviyelerde tutulmuştur. Vakum altında yapılan infiltrasyon işleminde % 15 T-H oranından sonra infiltrasyonun zorlaşacağı görülmüştür. Daha yüksek T-H oranlarına ihtiyaç söz konusu olduğunda “Basınçlı İnfiltrasyon” yöntemine baş vurulması önerilebilir. Bu şekilde T-H oranı artırılarak, takviye fazının mekanik ve işlenebilirlik özellikler üzerindeki etkisi araştırılabilir.
- Sıvı matris sıcaklığının infiltrasyon mesafesi üzerindeki etkisi bu çalışma ile kanıtlanmıştır. Ancak bu çalışmada (700 °C, 750 °C ve 800 °C) sıcaklıklar arası geniş tutulmuştur. Daha dar aralıklarda sıcaklığın etkisi araştırılabilir.
- Küçük kesitli numunelerde gözlenmeyen; infiltrasyon yüksekliği, ıslatma gibi problemler kesit alanı büyüdükçe problem teşkil etmeye başlamıştır. Daha büyük kesitli kompozit malzemelerin infiltrasyon işleminde yaşanan problemlerin elimine edilmesi için çalışmalar yapılabilir.
- Elde edilen numunelerin ısı ve elektrik iletkenlik kapasiteleri araştırılabilir.
- MMK numunelerin daha kararlı bir yapı oluşturabilmesi için, Al tozları ile MgO parçacıklarının daha homojen karıştırılabilmesi için alternatif yöntemler araştırılabilir.
- Bu çalışmada, infiltrasyon deneylerinde önce cam borular kullanılmış ancak istenilen sonuçlar alınamamıştır. Daha sonra 304 kalite paslanmaz boru kullanılmış ve infiltrasyon işlemi başarılı olmuştur. Başka bir çalışmada değişik malzemelerden borular kullanılarak infiltrasyon işlemine etkileri değerlendirilebilir.
- İşlenebilirlik açısından bu çalışmada SK, KBN ve KBN K kesici takımlar seçilmiştir. Değerlendirmeler sonucunda her üç takım içinde 150 m/min’in çok düşük, KBN ve KBN K takımlar için ise seçilen tüm hızların düşük kaldığı tespit

edilmiştir. Kullanılan takım tezgahının çalışma şartlarından kaynaklanan bu sınırlamanın önüne geçmek için, daha yüksek hızlara çıkabilecek bir takım tezgahında, daha yüksek kesme hızları ve geniş ilerleme aralıkları için KBN, KBN K ÇKE takımların performansı değerlendirilebilir.

- Bu çalışmada kesme derinliği sabit tutulmuş olup, kesme derinliğinin işlenebilirlik kriterleri üzerindeki etkisi değerlendirilememiştir. Kesme derinliğinin de bir parametre olarak değişen değerleri için işlenebilirlik kriterleri araştırılabilir.
- Özellikle sünek matris yapısının yarattığı olumsuz etkileri ortadan kaldırmak için pozitif geometriye sahip takımlarla, değişik talaş açılarının etkileri değerlendirilebilir.
- Bu çalışma için belirlenen şartlarda, SK kesici takımların gösterdiği performans dikkate alınarak, kaplamalı SK takımlarla bir karşılaştırma yapılabilir.
- İşlenen MMK numunelerin yüzey bütünlüğünü ve yapısını daha detaylı değerlendirebilmek için işlenmiş yüzeylerin mikrosertlik ölçümleri yapılarak yüzeylerde meydana gelen hatalar değerlendirilebilir.
- Son günlerde çok çalışılan, takıma kroyojenik proses uygulanmasının, MMK malzemelerin işlenebilirliği üzerindeki etkileri araştırılabilir.
- Bu çalışmada işleme deneyleri “tornalama” yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Aynı malzemelerde “frezeleme” ve “delme” uygulamaları yapılarak farklı işlenebilirlik değerlendirmelerine gidilebilir.
- Bu malzemelerde, alışılmamış imal usulleri ile yapılacak işleme deneyleri ile geleneksel yöntemlerle bir karşılaştırma yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. Chan, R.W., Haasen, P., Kramer, E.J., “Structure and properties of composites”, *Materials Science and Technology*, 13: 1-339 (1993).
2. Jacobs, A.J., Kilduff, T.F., “Engineering Materials Technology: Structure, Processing, Properties and Selection”, 5. Edition, *Prentice-Hall Inc.*, USA, 357-397, 645-749 (2005).
3. Sarıtaş S. “Engineering Metallurgy And Materials”, *Ankara*, 5-30 (1995).
4. Şahin, Y., “Kompozit Malzemelere Giriş”, *Gazi Kitabevi*, Ankara, 91-134 (2000).
5. Gül, F., “Seramik parçacık takviyeli kompozitlerin üretim yöntemleri ve özellikleri”, *M.Ü. Fen Bil. Dergisi*, 15 : 101-114 (1999).
6. Wannasin, J., Flemings M. C., “Fabrication of metal matrix composites by a high-pressure centrifugal infiltration process”, *J. Of Materials Processing Technology*, Elsevier, 169: 143-149 (2005).
7. Lai, S. W., and Chung, D. D. L., “Fabrication of particulate aluminium-matrix composites by liquid metal infiltration”, *J. Of Mat. Sci.*, Chapman & Hall, 3128 (1994).
8. Göller, G., “Basınçlı infiltrasyon yöntemiyle üretilmiş Cu-C kompozitlerin tribolojik davranışının karakterizasyonu”, *9. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi*, 11-15 Haziran, 1305-1309 (1997).
9. Dhandapani, S. P., Jayaram, V., and Surappa, M. K., “Growth and microstructure of Al₂O₃-SiC-Si(Al) composites prepared by reactive infiltration of silicon carbide preforms”, *Acta Met. Ma.*, 42 : 649-656 (1994).
10. Dong, Q., Chen, “Synthesis of TiC_p reinforced magnesium matrix composites by in situ reactive infiltration process”, *Materials Letters*, 58 : 920-926 (2003).
11. Aghajanian, M. K., Rocazella, M. A., Burke, J. T., Keck, S. D., “The fabrication of metal matrix composites by a pressureless infiltration technique”, *Journal of Materials Science*, 26: 447-454 (1991).
12. Çalın, R., “Magnezya parçacık takviyeli Al matrisli kompozitin vakum infiltrasyon yöntemi ile üretilmesi ve özelliklerinin incelenmesi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2006).

13. Çalın, R., Çıtak, R., “Effect of vacuum on infiltration height in producing MgO reinforced Al matrix composite by vacuum infiltration method”, *Materials Science Forum*, (2007).
14. Çalın, R., Çıtak, R., “Effect of Mg content in matrix on infiltration height in producing MgO/Al composite by vacuum infiltration method”, *Materials science forum*, 546: 611-614 (2007).
15. Çalın, R., Çıtak, R., “Designing of a powder compressing device with vibration and investigation of compressibility of MgO powders with this device”, *Materials & Design*, 28: 2654-2657 (2007).
16. Günay, M., “ Toz metalurjisi yöntemi ile üretilmiş Al-Si/SiC_p kompozitlerin mekanik ve işlenebilirlik özelliklerinin araştırılması” Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2009).
17. Candan, Ş., “An investigation on corrosion behaviour of pressure infiltrated Al–Mg alloy/SiC_p composites”, *Corrosion Science*, 51: 1392-1398 (2009).
18. Yanga, G-R., Songa, W-M., Lub, J-J., Haoa, Y., Maa, Y., “Three-point bending behavior of surface composite Al₂O₃/Ni on bronze substrate produced by vacuum infiltration casting”, *Journal of Materials Processing Technology*, 202: 195-200 (2008).
19. Sithebe, H.S.L., McLachlan, D., Sigalas, I., Herrmann, M., “Pressure infiltration of boron nitride preforms with molten aluminum”, *Ceramics International*, 34:1367-1371 (2008).
20. Liu, J., Zheng, Z., Wang, J., Wu, Y., Tang, W., “Pressureless infiltration of liquid aluminum alloy into SiC preforms to form near-net-shape SiC/Al composites”, *Journal of Alloys and Compounds*, 465: 239-243 (2008).
21. Wittig, D., Glauche, A., Aneziris, C.G., Minghetti, C., Graule, T., Kuebler, J., Schelle, “Activated pressureless melt infiltration of zirconia-based metal matrix composites”, *Materials Science and Engineering: A*, 488: 580-585 (2008).
22. Montoya-Dávila, M., Pech-Canul, M.A., Pech-Canul, M.I., “Effect of bi- and trimodal size distribution on the superficial hardness of Al/SiC_p composites prepared by pressureless infiltration”, *Powder Technology*, 176: 66-71 (2007).
23. Kida, M., Bahraini, M., Molina, J.M., Weber, L., Mortensen, A., “High-temperature wettability of aluminum nitride during liquid metal infiltration”, *Materials Science and Engineering*, 495: 197-202.
24. Wu, C.M.L., Han, G.W., “Synthesis of an Al₂O₃/Al co-continuous composite by reactive melt infiltration”, *Materials Characterization*, 58: 416-422 (2007).

25. Zhang, L., Qu, X.H., He, X.B., Duan, B.H., Ren, S.B., “Thermo-physical and mechanical properties of high volume fraction SiCp/Cu composites prepared by pressureless infiltration”, *Materials Science and Engineering*, 489: 285-293.
26. Li, Y.W., Jin, S.L., Li, Y.B., Zhao, L., Li, Z.Y., “Microstructural evolution in MgO_p/AlN composites”, *Ceramics International*, 35: 2241-2247 (2009).
27. Acchar, W., Queiroz, J.R.C., “Using Lithium Glass Infiltration to Enhance the Properties of Alumina Bodies”, *Materials Research*, 11: 439-442 (2008).
28. Balakrishnan, A., Pamıgrahı, B.B., Sanosh, K.P., Chu M-C., Kım, T.N., Cho, S-J., Effect of high thermal expansion glass infiltration on mechanical properties of alumina–zirconia composite”, *Bull. Mater. Sci*, 32: 393–399 (2008).
29. Rogers, K. A., Citak, R., Kumar, P. and Sandhage, K. H., “Syntheses of alkaline earth aluminate/zirconia composites from metal-bearing precursors”, **22. Annual Cocoa Beach Conference and Exposition, also Published in Ceramic Engineering and Science Proceedings**, Cocoa Beach, Fla. USA., 20-24 (1988).
30. Türker, M., vd., “Al-Sic tozların mekanik alaşımlama değirmeninde öğütme zamanının kompozit toz yapısına etkisinin araştırılması”, *Uluslararası Katılımlı 2. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı*, 15-17 Eylül, ODTÜ, Ankara, 425-429 (1999).
31. Bilici, İ., “Ti-Fe alaşımlarından basınçsız infiltrasyon yöntemiyle seramik metalik kompozit malzeme üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 16-90 (2005).
32. Arık, H., Türker, M. ve Sarıtaş, S., 1999, “Mekanik alaşımlama ile alüminyum matrisli Alüminyum karbür (Al₄C₃) kompozit malzeme üretimi”, *Uluslararası Katılımlı 2. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı*, 15-17 Eylül, ODTÜ, Ankara, 433-440 (1999).
33. Gingu, O., Orban, R. L., Mangra, M., Sıma, G., “New method Al/SiC composite elaboration by pm technology”, *Uluslararası Katılımlı 2. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı*, 15-17 Eylül, ODTÜ, Ankara, 323-327 (1999).
34. Hiçyılmaz, N., Aydın, Ş. Ve Sarıtaş, S., “Toz metalurjisi ile üretilmiş alüminyum esaslı tanecikli kompozitlerin mekanik özellikleri”, *Uluslararası Katılımlı 2. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı*, 15-17 Eylül, ODTÜ, Ankara, 621-629 (1999).
35. Hashim, J., Looney, L., Hashmi, M.S.J., “The enhancement of wettability of SiC particles in cast alüminium matrix composites”, *Journal of Materials Processing Technology*, 119: 329-335 (2001).

36. Dikici, B., Gavgalı, M., Bedir, F., “Al-Cu/Al₂O₃ In-Situ Kompozitler: Sinterleme sıcaklığının etkisi”, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, **11. Otomotiv Sempozyumu**, 8-9 Mayıs (2009).
37. Carreno-Morelli, E., Cutard, T., Schaller, R., Bonjour, C., “Processing and characterization of aluminium-based MMCs produced by gas pressure infiltration”, **Materials Science and Engineering A**, 251: 48-57 (1998).
38. Lou, D., Hellman, J., Luhulima, D., Liimatainen, J., Lindroos, V.K., “Interactions between tungsten carbide (WC) particulates and metal matrix in WC-reinforced composites”, **Materials Science and Engineering A**, 340: 155-162 (2003).
39. Eroğlu, S., Baykara, T., “Effects of powder mixing technique and tungsten powder size on the properties of tungsten heavy alloys”, **Journal of Materials Processing Technology**, 103: 288-292 (2000).
40. Davidson, A.M., Regener, D., “A comparison of aluminium-based metal-matrix composites reinforced with coated and uncoated particulate silicon carbide”, **Composites Science and Technology**, 60: 865-869 (2000).
41. Li, G., Huang, X., Guo, J., “Fabrication and mechanical properties of Al₂O₃-/Ni composite from two different powder mixtures”, **Materials Science and Engineering A**, 352: 23-28 (2003).
42. Han, Y., Liu, X., Bian, X., “In situ TiB₂ particulate reinforced near eutectic Al-Si alloy composites”, **Composite Part A**, 33: 439-444 (2002).
43. Sur, G., “Karma Takviyeli Alüminyum Matriksli Kompozitlerin Üretimi, Mekanik Özellikler ve İşlenebilirliklerinin İncelenmesi”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 42-60 (2008).
44. Fogagnolo, J.B., Robert, M.H., Ruiz-Navas, E.M., Torralba, J.M., “6061 Al reinforced with zirconium diboride particles processed by conventional powder metallurgy and mechanical alloying”, **Journal of Materials Science**, 39: 127-132 (2004).
45. Aydın, M., Yetgin, H., S., “MMK üretiminde farklı tasarımlardaki karıştırıcıların etkisinin araştırılması”, **Teknoloji**, Cilt 9, Sayı 1, 39-46, (2006).
46. Thakur, S. K., and Dhindaw, B. K., “The influence of interfacial characteristics between SiC_p and Mg/Al metal matrix on wear coefficient of friction and microhardness”, **Wear**, 247: 191-201 (2000).
47. Martinez, J. A., Pech-Canul, M. I., Rodriguez-Reyes, M., De La Pena, J. L., “Effect of processing parameters on the degree of infiltration of SiC_p preforms by Al-Si-Mg alloys”, **Materials Letters**, 57: 4332-4335 (2003).

48. Rodrigez-Reyes, M., Pech-Canul, M. I., Parras- Medecigo, E. E., Gorokhovskiy, A., “Effect of Mg loss the kinetics of presureless infiltration in the processing Al-Si-Mg/SiC_p composites”, *Materials Letters* 57 : 2081-2089 (2003).
49. Kevorkijan, V. M., “The reactive infiltration of porous ceramic media by a molten aluminium alloy”, *Composites Science and Technology*, 59 : 683-686 (1999).
50. Lianxi, H., Yiwen, Y., Shoujing, L., Xu, X., “Investigating on the kinetics infiltration of liquid aluminium into an alumina fibrous preform”, *J. Of Materials Processing Technology*, Elsevier, 94 : 227-230 (1999).
51. Chong, S. Y., Atkinson, H. V. and Jones, H., “Effect of ceramic particle size, melt superheat, impurities and alloy conditions on threshold pressure for infiltration on SiC powder compacts by aluminium-based melts”, *Mat. Sci and Eng.*, 173 : 233-237 (1993).
52. Demir, A., Altinkok, N., “Effect of gas pressure infiltration on microstructure and bending strenght of porous Al₂O₃/SiC-reinforced aluminium matrix composites”, *Composites Science and Technology*, 64 : 2067-2074 (2004).
53. Contreras, A., Lopez, V. H. And Bedolla, E., “Mg/TiC composites manufactured by presureless melt infiltration”, *Scripta Materialia*, 51 : 249-253 (2004).
54. Acılar, M., Gül, F., “Vakum infiltrasyon yöntemi ile Al-10Si/SiC_p kompozitlerin üretimi ve geliştirilmesi”, *Politeknik Dergisi*, 4 : Özel Sayı 21-27 (2002).
55. Acılar, M Acılar, M., Gül, F., “Al-SiC_p kompozitlerin vakum infiltrasyon yöntemi ile üretiminde yöntem değişkenlerinin incelenmesi”, *3rd International Powder Metallurgy Conference*, Ankara, (2002).
56. Acılar, M., “Al/SiC kompozitlerin vakum infiltrasyon yöntemi ile üretimi ve aşınma davranışlarının araştırılması”, Doktora Tezi, *G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2002).
57. Çırakoğlu, M., vd., “AlN-B₄C/Al kompozitlerinin infiltrasyon yöntemi ile üretim şartlarının incelenmesi”, *8. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, 6-9 Haziran*, İstanbul, 1307-1315 (1993).
58. Elwahed, M., Asar, M., “Fabrication of matrix composite by infiltration process-part 2 Experimental study”, *J. Of Mat. Proc. Tech.*, 86 : 152-158 (1999).
59. Candan, E., Atkinson, H. V. and Jones, H., “Effect of magnesium alloying additions on infiltration threshold pressure and structure of SiC powder compacts infiltrated by aluminium based melts”, *Journal of Materials Science*, 32 : 289-294 (1997).

60. Asthana, R., and Rohatgi, P. K., “Solidification synthesis of pressure-infiltrated Al alloy 2104-SiC platelet composites”, *Mat. Sci. and Eng., A*, 144 : 169-178 (1991).
61. Bronfenbrener, I., Moisa, S., Frage, N., Dariel, M.P., “Abrasive wear resistance of seramic-metal composites manufactured by infiltration of unsintered ceramic compacts with molten pure magnesium or magnesium-alloys”, *Third International Conference on Powder Metallurgy*, 7-9 July, Romania, 313-317 (2005).
62. Divecha, A. P., Fishman, S. G. And Karmarkar, S. D., *J. of Metals*, V 33 : 12 (1981).
63. Daimaru, A., Hata, T. And Taya, M., “ASTM-STP 864”, *ASM*, 505 (1985).
64. Stephens, J. J., Lucus, J. P. And Hosking, F. M., *Scr. Metal.*, V 22 : 28 (1988).
65. Ögel, B., Kaya, G., “Alüminyum-SiC kompozitlerin konvensiyonel sıcak presleme yöntemi ile üretimi”, *Uluslararası Katılımlı 2. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı*, 15-17 Eylül, ODTÜ, Ankara, 631-635 (1999).
66. Özkan, S., “Alüminyum matrisli SiC parçacık takviyeli kompozitlerin mekanik alaşımlama yöntemiyle üretimi ve kuru aşınma davranışlarının incelenmesi” , Yüksek Lisans tezi, *G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2007).
67. Aydın, H., “MgO parçacık takviyeli alüminyum matris kompozit malzemelerin geliştirilmesi”, Yüksek Lisans tezi, *G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2005).
68. Sur, G., Şahin, Y., Gökkaya, H., “Ergimiş metal karıştırma ve basınçlı döküm yöntemi ile alüminyum esaslı tanecik takviyeli kompozitlerin üretimi”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, Cilt 20, No 2, 233-238, (2005).
69. Al-Hajri, A., “Understanding the mechanical behavior of particulate reinforced metal matrix composites”, PhD thesis, *The Graduate Faculty of The University of Akron*, USA, 73-116 (2003).
70. Manna, A., Bhattacharyya, B., “A study on machinability of Al/SiC-MMC”, *Journal of Materials Processing Technology*, 140: 711-716 (2003).
71. Lin, J.T., Bhattacharyya, D., Kecman, V., “Multiple regression and neural networks analyses in composites machining”, *Composites Science and Technology*, 63: 539-548 (2003).

72. Özben, T., Kılıçkap, E., Çakır, O., “Investigation of mechanical and machinability properties of SiC particle reinforced Al-MMC”, *Journal of Materials Processing Technology*, 198: 220-225 (2008).
73. Krishnamurthy, L., Sridhara, B.K., Budan, D.A., “Comparative study on the machinability aspects of aluminium silicon carbide and aluminium graphite composites”, *Materials and Manufacturing Processes*, 22: 903-908 (2007).
74. Kılıçkap, E., Çakır, O., Aksoy, M., İnan, A., “Study of tool wear and surface roughness in machining of homogenised SiC-p reinforced aluminium metal matrix composite”, *Journal of Materials Processing Technology*, 164-165: 862-867 (2005).
75. Pedersen, W., Ramulu, M., “Facing SiCp/Mg metal matrix composites with carbide tools”, *Journal of Materials Processing Technology*, 172: 417-423 (2006).
76. Reddy, N.S.K., Sup, S.K., Yang, M., “Experimental study of surface integrity during end milling of Al/SiC particulate metal–matrix composites”, *Journal of Materials Processing Technology*, 201: 574-579 (2008).
77. Kök, M., Şahin, Y., Çelik, H., “Metal matriksli kompozit malzemelerin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğüne takım ve malzeme özelliklerinin etkisi”, *Gazi Üniv. Fen Bilimleri Dergisi*, 15 (1), (2002)
78. Ding, X., Liew, W.Y.H., Liu, X.D., “Evaluation of machining performance of MMC with PCBN and PCD tools”, *Wear*, 259: 1225-1234 (2005).
79. Pramanik, A., Zhang, L.C., Arsecularatne, J.A., “Prediction of cutting forces in machining of metal matrix composites”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 46:1795-1803 (2006).
80. Zhu, Y., Kishawy, H.A., “Influence of alumina particles on the mechanics of machining metal matrix composites”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 45: 389-398 (2005).
81. Kannan, S., Kishawy, H.A., “Surface characteristics of machined aluminium metal matrix composites”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 46: 2017-2025 (2006).
82. Kannan, S., Kishawy, H.A., “On the Role of Reinforcements on Tool Performance During Cutting of Metal Matrix Composites”, *Journal of Manufacturing Processes*, 8:67-75 (2006).
83. Kannan, S. Kishawy, H.A., “Tribological aspects of machining aluminium metal matrix composites”, *Journal of Material Processing Technology*, 198: 399-406 (2008).

84. Uday, A.D., Suhas, S.J., Balasubramaniam, R., Bhanuprasad, V.V., "Surface finish and integrity of machined surfaces on Al/SiCp composites", *Journal of Materials Processing Technology*, 192-193: 166-174 (2007).
85. Özçatalbaş, Y., "Chip and built-up edge formation in the machining of in situ Al₄C₃-Al composite", *Materials and Design*, 24: 215-221 (2003).
86. Özçatalbaş, Y., "Investigation of the machinability behaviour of Al₄C₃ reinforced Al-based composite produced by mechanical alloying technique", *Composites Science and Technology*, 63: 53-61 (2003).
87. Karakaş, M.S., Acır, A., Übeyli, M., Ögel, B., "Effect of cutting speed on tool performance in milling of B₄Cp reinforced aluminum metal matrix composites", *Journal of Materials Processing Technology*, 178: 241-246 (2006).
88. Çiftçi, İ., Türker, M., Şeker, U., "Evaluation of tool wear when machining SiCpreinforced Al-2014 alloy matrix composites", *Materials and Design*, 25: 251-255 (2004).
89. Çiftçi, İ., Türker, M., Şeker, U., "CBN cutting tool wear during machining of particulate reinforced MMCs", *Wear*, 257: 1041-1046 (2004).
90. Davim, P.J., "Diamond tool performance in machining metal-matrix composites", *Journal of Materials Processing Technology*, 128: 100-105 (2002).
91. Hung, N.P., Boey, F.Y.C., Khor, K.A., Oh, C.A., Lee, H.F., "Machinability of cast and powder-formed aluminium alloys reinforced with SiC particles", *Journal of Materials Processing Technology*, 48: 291-297 (1995).
92. Clark, I.E., "A guide to machining metal matrix composites with syndite PCD", *Machining Guide*, IDR3: 135-138 (1994).
93. Andrewes, C.J.E., Feng, H.Y., Lau, W.M., "Machining of an aluminum/SiC composite using diamond inserts", *Journal of Materials Processing Technology*, 102: 25-29 (2000).
94. Quan, Y., Ye, B., "The effect of machining on the surface properties of SiC/Al composites", *Journal of Materials Processing Technology*, 138: 464-467 (2003)
95. Kannana, S., Kishawya, H.A., Deiabb, I., "Cutting forces and TEM analysis of the generated surface during machining metal matrix composites", *Journal of Materials Processing Technology*, 209: 2260-2269 (2009)

96. Quigley, O., Monaghan, J., O'Reilly, P., "Factors affecting the machinability of an Al/SiC metal-matrix composite" *Key Engineering Materials*, 138-140: 545-574 (1998).
97. Hung, N.P., Loh, N.L., Xu, Z.M., "Cumulative tool wear in machining metal matrix composites Part II: Machinability", *Journal of materials processing technology*, 58:114-120 (1996).
98. Davima, J.P., Silva, Jos'e., Baptista, A.M., "Experimental cutting model of metal matrix composites (MMCs)" *Journal of Materials Processing Technology* 183:358-362 (2007).
99. Chinmaya, R. Dandekar, Shin, Yung C., "Multi-step 3-D finite element modeling of subsurface damage in machining particulate reinforced metal matrix composites", *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 40:1231-1239 (2009).
100. Pedersen, W., Ramulub, M., "Facing SiCp/Mg metal matrix composites with carbide tools", *Journal of Materials Processing Technology*, 172: 417-423 (2006).
101. Manna, A., Bhattacharayya, B., "A study on machinability of Al/SiC-MMC", *Journal of Materials Processing Technology*, 140:711-716 (2003).
102. Iuliano, L., Settineria, L., Gattob, A., "High-speed turning experiments on metal matrix composites", *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 29:1501-1509 (1998).
103. Shetty, R., Pai, R.B., Rao, S.S., Nayak, R., "Taguchi's Technique in Machining of Metal Matrix Composites", *J. of the Braz. Soc. of Mech. Sci. & Eng.*, 31:12-20 (2009).
104. Wilk, W., Brudnik, B.S., "Abrasive Machining Of Metal Matrix Composites The Institute of Advanced Manufacturing Technology", *8. International Conference Advanced Manufacturing Operations*, 373-379, Wroclawska
105. Karnik, S.R., Davim, J.P., "Some Studies in Metal Matrix Composites Machining using Response Surface Methodology", *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 28: 2445-2457 (2009).
106. Ding, X., Liew, W.Y.H., Liu, X.D., "Evaluation of machining performance of MMC with PCBN and PCD tools", *15th International Conference on Wear of Materials, Wear*, 259:1225-1234 (2005).
107. Weeton, J.W., Peters, D.M., Thomas, K.L., "Engineers' guide to composite materials", *American Society for Metals*, 1-10 (1990).
108. Internet: <http://www.bilgiustam.com>

109. Yıldızhan, H., “Yüksek Lisans Tezi Makina Eğitimi Anabilimdalı”, Isparta (2008).
110. Akdoğan Eker, A., “<http://www.yildiz.edu.tr>”, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, (2008).
111. Chawla, N., Chawla, K.K., “Metal matrix composites”, **Springer ScienceBusiness Media, Inc.**, Boston, 5-101 (2006).
112. Ma, Q. S., Chen, Z. H., Zheng, W., Hu, H., “Processing and characterization of particles Si-O-C composites via pyrolysis of polysiloxane SiC or/and Al fillers”, **Ceramics International**, Elsevier, 31 (N) 8 : 1045-1051 (2005).
113. Berghezan, A., “Basic design concepts and spesific methods for the fabrication of metal matrix composites materials”, **Advance In Composite Materials**, ed., G. Piatti, 5-17 (1978).
114. Berghezan, A., “Basic design concepts and spesific methods for the fabrication of metal matrix composites materials”, **Advance In Composite Materials**, ed., G. Piatti, 5-17 (1978).
115. Lilholt, H., “Mechanical behavior of composites”, **Advance in Composites Materials**, 209 (1978).
116. Miracle, D.B., “ASM Handbook”, **Hardbound**, 21: 1043-1049 (2001).
117. Hyo, S.L., Jae, S.Y., Soon, H.H., Duk, J.Y., Kyung, H.N., “The fabrication process and mechanical properties of SiCp/Al-Si metal matix composites for automobile air-conditioner compressor pistons”, **Journal of Materials Processing Technology**, 113: 202-208 (2001).
118. Eryılmaz, Ö. ve Özgen S., “Magnezya-alümina spinel dökülebilir refrakterler”, **10. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi Bildiriler Kitabı** 24-28 Mayıs İstanbul, Cilt III, 1659-1666 (2000).
119. İnternet: <http://www.bibilgi.com>
120. Yıldırım İ., Arpacı, A., “Basınçsız sinterlenmiş silisyum karbürde içyapının kırılma tokluğuna etkisi”, **İTÜ dergisi/d mühendislik**, 3: 98-104 (2004)
121. Akdoğan, Eker, A., “Metal Matrisli Kompozit Malzemeler ve Üretim Yöntemleri”, [http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/imalatta kompozit/MMK son.pdf](http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/imalatta_kompozit/MMK_son.pdf), Yıldız Teknik Üniv, İstanbul, (2008).

122. Hashim, J., Looney, L., Hashmi, M.S.J., “Metal matrix composites: production by the stir casting method”, *Journal of Materials Processing Technology*, 92-93: 1-7 (1999).
123. Hull, D., “An Introduction to Composite Materials”, *Cambridge University Pres*, 71-79 (1992).
124. Clyne, T., Withers, P., “An introduction to metal matrix composites”, *Cambridge University Pres*, Cambridge, 1-400 (1993).
125. Çiftçi, İ., “Alüminyum esaslı kompozitlerde takviye oranı ve boyutunun mekanik özellikler ve işlenebilirlik üzerine etkisinin araştırılması”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 16-90 (2003).
126. Topaloğlu, V., Küçükbaş, M., Özgür, Ş., [http:// www.iu-metalurjikulubu.org](http://www.iu-metalurjikulubu.org)
127. Askeland, D.R., “The Science and Engineering of Materials”, Cilt 1, Çeviri Editörü: Erdogan, M., *PWS Publishing Company*, Boston, 260-275 (1998).
128. Akdoğan Eker, A., “Kompozit Malzemeler Ders Notu”, *Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü*, İstanbul, 5-86 (2008).
129. German, R.M., “Powder Metallurgy & Particulate Materials Processing”, Çeviri Editörleri: Sarıtas, S., Türker, M., Durlu, N., *MPIF*, New Jersey, 4-272 (2007).
130. İnternet: [http:// www.metalurji.org.tr](http://www.metalurji.org.tr). Saklakoğlu, İ., E., Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi.
131. Satyanarayana, K.G., Ojha, S.N., Naresh Nath Kumar, D., Sastry, G.V.S., “Studies on spray casting of Al-alloys and their composites”, *Materials Science and Engineering A*, 304-306: 627-631 (2001).
132. Lindroos, V.K., Talvite, M.J., “Recent advances in metal matrix composites”, *Journal of Materials Processing Technology*, 53: 273-284 (1995).
133. Bhagat, R. B., “High Pressure İnfiltration Casting Manufacturing Net Shape Composites With a Unique Interface”, *Mat, Sci. And Eng.*, Elsevier Sequoia, A 144 : 243-250 (1991).
134. Vural, M., “EÜT 231 Üretim yöntemleri ders notları”, İstanbul.
135. Cornie, J. A., et al., “Solidification processing of metal matrix composites”, *Ceramic Bulletin The American Ceramic Society*, 65: 293-303 (1986).
136. Carreno-Morelli, E., Cutard, T., Schaller, R., Bonjour, C., “Processing and characterization of aluminium-based MMCs produced by gas pressure infiltration”, *Materials Science and Engineering A*, 251: 48-57 (1998).

137. Ahlatci, H., Candan, E., Cimenoglu, H., "Mechanical properties of Al-60 pct SiC_p composites alloyed with Mg", *Met. And Mat. Trans.*, A, 5 : 2127-2141 (2004).
138. Parras- Medecigo, E., M., Pech-Canul, M. I., Rodrigez-Reyes, Gorokhovskiy, A., "Effect of processing parameters on the production of blayer-graded Al/SiC_p composites by pressureless infiltration", *Materials Letters*, 56 : 460-464 (2002).
139. Watari, T., et al., "Reactive infiltration of magnesium vapor into alumina powder compacts", *J. Of European Ceramic Society*, 19 : 1889-1893 (1999).
140. Oh, S. Y., Cornie, J. A. And Russel, C., "Wetting of ceramic particulates with liquit aluminum alloys: part I.I Study of wettability", *Met. Trans.*, 20 A : 533 (1989).
141. Delennay, F., Froyen, L., Deruyttere, A., "Review the wetting of solids by molten metals and its relation to the preperation of the metal-matrix composites", *J. Of Mat. Sci.*, 22 : 1-16 (1987).
142. Oh, S. Y., Cornie, J. A. And Russel, C., "Wetting of ceramic particulates with liquit aluminum alloys: part I. experimental techniques", *Met. Trans.*, V 20 (A): 519-527 (1989).
143. Mortensen, A. And Cornie, J. A., "On the infiltration of metal-matrix composites", *Met. Trans.*, 18 (A): 1160-1163 (1987).
144. Domsa, S., Orban, R., Constantinescu, V., "Some basic aspects non-conventional pm processing route-sintering by infiltration of loose powders", *Second International Conference on Powder Metallurgy*, 6-8 July, Romania, 77-80 (2000).
145. Clyne, T. W., Withers, P. J., "An Introduction to Composite Materials", *Cambridge University Pres*, 319-351 (1993).
146. Flemings, M.C., Young, K.P., "Rheocasting", Yearbook of Science and Technology, *McGraw-Hill*, New York, 12-140 (1978).
147. Huda, M.D., Hashmi, M.S.J., "MMCs Materials, Manufacturing and Mechanical Properties", Metal Matrix Composites part I: Application and processing, *Hobbs The Printers Ltd.*, U.K., 37-63 (1995).
148. İnternet: [http:// www.tezproje.8m.com](http://www.tezproje.8m.com)
149. Groover, M.P., "Fundamentals of modern manufacturing: Materials, processes, and systems", *Prentice-Hall Inc.*, New Jersey, USA, 251-639 (1996).

150. Shaw, M.C., “Metal cutting principles”, *Oxford University Press*, Oxford, 1-9 (1989).
151. Şeker, U., “Takım Tasarımı Ders Notları”, Ankara (2008).
152. Sundaram, S., Senthilkumar, P., Kumaravel, A., Manoharan, N., “Study of Flank Wear in Single Point Cutting Tool Using Acoustic Emission Sensor Techniques”, *ARP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 3 (4): 32-36 (2008).
153. Lee, T.H., “An Experimental and theoretical investigation for the machining of hardened alloy steels”, PhD. Thesis, *The University of New South Wales*, Sydney, Australia, 10-120 (2007).
154. Alsaran, A., “Talaşlı İmalat”, <http://www.makinaloji.com>, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
155. Zhang, J.H., “Theory and technique of precision cutting”, *Pergamon Press*, Oxford, 1-50 (1991).
156. Çiftçi, İ., “TLU 203 Kesici Takımlar ve Kesme Teorisi Ders Notları”, *Z.K.Ü. Karabük Teknik Eğitim Fakültesi*, Karabük.
157. “5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu 1-2 (IATS’09)”, Karabük (2009).
158. İnternet: <http://www.mkn.itu.edu.tr>, İML 401 imalat laboratuvarı –1, “Talaşlı imalatta yüzey pürüzlülüğünün tayini” .
159. TSE, “TS 2040 EN ISO 1302 Geometrik Mamul Özellikleri (GMÖ) – Teknik Mamul Dokümantasyonunda Yüzey Durumlarının Gösterilişi”, (2005).
160. Sandvik Coromant, “Modern metal cutting–A practical handbook”, English Edition, *Sandvik Coromant*, Sweden, I-III (1994).
161. Ezugwu, E.O., “Key improvements in the machining of difficult-to-cut aerospace superalloys”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 45: 1353-1367 (2005).
162. De Garmo, E.P., Black, J.T., Kohser, R.A., “Materials and processes in manufacturing”, *Prentice-Hall Inc.*, New Jersey, 214-652 (1997).
163. Griffin, R.D., Li, H.J., Eleftheriou, E., Bates, C.E., “Machinability of Gray Cast Iron, *American Foundry Society Report*, Alabama, 1-20 (2008).
164. *ISO 3685*, “Tool-life testing with single-point turning tools”, 1-12 (1993).

165. Mitsubishi, "Turning Tools Catalog", *Mitsubishi Materials Corporation*, Japan 1-400 (2008).
166. **ISO 4288**, "Geometrical Product Specifications (GPS) -Surface texture: Profile method-Rules and procedures for the assessment of surface texture", 1-8 (1996).
167. Trent, E.M., "Metal cutting", *Butterworths Press*, London, 1-171 (1989).
168. Zhang, H., "Plastic Deformation and chip Formation Mechanics during Machining of Copper, Aluminium and an Aluminium Matrix Composite", PhD. Thesis, *University of Windsor*, Canada, 5-106 (2000).
169. Günay, M., " Talaş kaldırma işleminde kesici takım talaş açısının kesme kuvvetlerine etkisinin deneysel olarak incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2003).
170. Sekmen, M., " Alüminyum alaşımların talaşlı imalatında talaş açısı etkisinin deneysel olarak araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2004).
171. Jaspers, Serge P.F.C., " Metal Cutting Mechanics And Material Behavior", *Technischeuniversiteit*, Eindhoven, (1999).
172. Mendi, F., " Takım tezgahları teori ve hesapları", *Gazi Üniversitesi*, Ankara, (2006).
173. Akkurt, M., "Talaş kaldırma yöntemleri ve takım tezgahları", *İTÜ*, İstanbul, (2000).
174. Sandvik Coromant, "Turning Catalog", *Sandvik Coromant*, Sweden, 8-300 (2008).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : PUL Muharrem
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 1964 Trabzon
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (312) 356 30 20
 e-mail : mpul61@hotmail.com.

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Selçuk Üniversitesi /Makina Bölümü	1991
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Makina Bölümü	1986
Lise	Trabzon Tek. End. Mes.Lisesi	1982

İş Denevimi

Yıl	Yer	Görev
1986-1993	Özel sektör kuruluşları	Makine Yük. Müh.
1993-1996	Kırıkkale Tek. End. Mes.Lisesi	Teknik öğretmen
1996-	Atatürk Tek. End. Mes.Lisesi	Teknik öğretmen
2004-	G.Ü. Atatürk M.Y.O	Öğretim elemanı

Yabancı Dil

İngilizce