KARMA TAKVİYELİ ALÜMİNYUM MATRİKSLİ KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ, MEKANİK ÖZELLİKLER VE İŞLENEBİLİRLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Gökhan SUR

DOKTORA TEZİ
MAKİNA EĞİTİMİ BÖLÜMÜ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AĞUSTOS 2008
ANKARA

Gökhan SUR tarafından hazırlanan KARMA TAKVİYELİ ALÜMİNYUM MATRİKSLİ KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ, MEKANİK ÖZELLİKLER VE İŞLENEBİLİRLİKLERİNİN İNCELENMESİ adlı bu tezin Doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Mahmut GÜLESİN …….
Tez Danışmanı, Makine Eğitimi Anabilim Dalı

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

Porf. Dr. Mehmet TÜRKER …….
Metal Eğitimi Anabilim Dalı, G. Ü.

Prof. Dr. Mahmut GÜLESİN …….
Makina Eğitimi Anabilim Dalı, G. Ü.

Prof. Dr. Ulvi ŞEKER …….
Makina Eğitimi Anabilim Dalı, G. Ü.

Prof. Dr. Mahmut İZCİLER …….
Endüstriyel Teknoloji Eğitimi Anabilim Dalı, G. Ü.

Doç. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ …….
Makina Eğitimi Anabilim Dalı, K. Ü.

Tarih: 08/08/2008

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

Prof. Dr. Nermin ERTAN …….
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

Gökhan SUR

KARMA TAKVİYELİ ALÜMİNYUM MATRİKSLİ KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ, MEKANİK ÖZELLİKLER VE İŞLENEBİLİRLİKLERİNİN İNCELENMESİ

(Doktora tezi)

Gökhan SUR

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ağustos 2008

ÖZET

Bu araştırmada, ergimiş metal karıştırma-basınçlı döküm yöntemiyle tek ve karma takviyeli, metal matrisli kompozit (MMK) malzemeler üretilmiştir. Kompozitlerin üretimlerinde matris malzemesi olarak ikincil metalurji işlemler (yaşlandırma) ile dayanım özellikleri geliştirilebilen AA-6xxx serisi, AA-6082 alaşımı kullanılmıştır. Takviye elemanı olarak ortalama 42 µm boyutlarında alüminyum oksit (α-Al_2O_3) ve ortalama 127 µm boyutlarında nikel kaplı grafit [Ni(K)Gr] parçacıklar kullanılmıştır. Takviye elemanı yüzde hacim oranı olarak tek takviyeli kompozitlerde hacimce % 8 Al_2O_3 ve % 8 Ni(K)Gr, karma takviyeli kompozitte ise hacimce % 4 Al_2O_3 + % 4 Ni(K)Gr değerleri kullanılmıştır. Üretilen MMK malzemelerin mikroyapı ve bazı mekanik özellikleri incelenmiştir. Mikroyapı incelemeleri parçacık dağılımının tüm kompozitlerde nispeten homojen olduğunu ve ana faz-takviye elemanı ara yüzey bağının yeterince oluştuğunu göstermiştir. Sertlik ölçümleri sonucunda en yüksek sertlik değeri tek % 8 Al_2O_3 takviyeli kompozitlerde 105 BHN değerinde ölçülmüştür. Yoğunluk değerleri ölçüm sonuçları Al_2O_3 parçacıklarının yüzde hacim oranının artmasıyla MMK'nın yoğunluk değerinin de arttığını göstermiştir. Üretilen malzemelerin gözenek miktarları oldukça düşüktür.

MMK malzemeler, kaplamalı ve kaplamasız sementit karbür (SK) ve kübik bor nitrür (KBN) kesici takımlar ile işlenebilirlik deneylerine tabi tutulmuştur. İşlenebilirlik deneyleri, bilgisayar sayısal denetimli (BSD) torna tezgahında, soğutma sıvısı kullanılmadan yapılmış ve işlenebilirlik kıstaslarından, takım ömrü, kesme kuvvetleri, talaş kökü morfolojisi ve iş parçası yüzey pürüzlülüğü incelenmiştir. Deneyler farklı kesme hızları, sabit kesme derinliği (1 mm) ve sabit ilerleme hızında (0,15 mm/dev) gerçekleştirilmiştir. Tüm işleme deneylerinde yığıntı talaş (YT) oluşumu gözlenmiştir. Bu durum tarama elektron mikroskobu görüntüleri ve talaş kökü incelemelerinde kanıtlanmıştır. SK kesici takımlarla hacimce % 8 Al_2O_3 parçacıklarla takviyeli kompozitin işleme deneylerinde kesicinin burun ve yanak yüzeyinde abrasiv ve adhesiv aşınma mekanizmaları etkisiyle aşınmalar tespit edilmiştir. Ayrıca bu kompozitte tüm işleme deneylerinde kesme kuvveti bileşenlerinin diğer MMK'lere kıyasla daha yüksek değerlerde oluştuğu tespit edilmiştir. En az esas kesme kuvveti değeri, hacimce % 8 Ni(K)Gr parçacıklarla takviyeli kompozitin, çok katlı kaplamalı UE6005 kodlu SK kesici takımla 100 m/min kesme hızında işlenmesi esnasında 125,08 N olarak ölçülmüştür. Tüm işleme deneylerinde en iyi aşınma direncini KBN kesici takımlar sergilemiştir.

Bilim Kodu : **708.3.028**
Anahtar Kelimeler : **Metal matrisli kompozit (MMK), ergimiş metal karıştırma-basınçlı döküm yöntemi, işlenebilirlik, kesici takım aşınması, kesme kuvvetleri**
Sayfa Adedi : **242**
Tez Yöneticisi : **Prof. Dr. Mahmut GÜLESİN**

PRODUCTION OF HYBRID REINFORCED ALUMINIUM BASED COMPOSITES and INVESTIGATION OF THEIR MECHANICAL PROPERTIES and MACHINABILITY

(Ph.D. Thesis)

Gökhan SUR

GAZİ UNIVERSITY

INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

August 2008

ABSTRACT

In this study, single and hybrid particulate reinforced metal matrix composites (MMCs) were successfully produced by a molten metal stirring-squeeze casting method. AA-6xxx series aluminum alloy, AA-6082, whose mechanical properties can be improved by secondary metallurgical process (age hardening) was used as matrix material for production of MMCs. Alumina (α-Al_2O_3) particles of 42 µm mean particle sizes and nickel coated graphite [Ni(C)Gr] particles of 127 µm were used as reinforcement materials. The reinforcement materials were chosen as 8 vol. % Al_2O_3 and Ni(C)Gr at single particle reinforced composites while 4 vol. % of Al_2O_3 and 4 vol. % Ni(C)Gr at hybrid particle reinforced composites. Microstructural and some mechanical properties of these composites were examined. Microstructural observations showed that the distribution of particles was relatively homogenous and sufficiently good bonding interface between the reinforcement particles and matrix material was affected for all the composites. The maximum hardness value was measured as 105 HBN only for 8 vol. % Al_2O_3 reinforced composites. Measurement results of density showed that density of MMCs increased with increasing volume fraction of Al_2O_3 particles. Porosity of the produced MMCs was found to be relatively lower.

Machinability tests of the MMCs materials were performed through single point continuous turning operation using uncoated and coated sementit carbide (WC) and cubic boron nitride (CBN) cutting tools. The machinability tests were performed dry on a computer numerically controlled (CNC) lathe and tool life, cutting forces, chip root morphology and surface roughness criteria were investigated. The tests were carried out at various cutting speeds at a fixed depth of cut (1 mm) and feed rate (0,15 mm/rev). The build-up-edge (BUE) formation was observed on all the machining tests. It was proved by scanning electron microscopy (SEM) and chip root examination. The nose and flank wear formations were determined by abrasive and adhesive wear mechanisms at the machining tests of 8 vol. % particles of Al_2O_3 reinforced composite with cemented carbide cutting tools. The cutting forces for the machining tests of 8 vol. % particles of Al_2O_3 reinforced composite were observed to be higher than those in the other MMCs. The lowest cutting force was measured as 125,08 N during machining of 8 vol. % Ni(C)Gr particles reinforced composite at 100 m/min cutting speed with multiple coated (UE6005) cemented carbide cutting tools. Cubic boron nitride cutting tools exhibited the highest wear resistance.

Science code : **708.3.028**
Key words : **Metal matrix composite (MMC), melt metal stirring-squeeze casting method, machinability, cutting tool wear, cutting forces**
Page number : **242**
Adviser : **Prof. Dr. Mahmut GÜLESİN**

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren danışmanım Sayın Prof. Dr. Mahmut GÜLESİN'e yine kıymetli bilgilerinden faydalandığım Sayın Prof. Dr. Ulvi ŞEKER'e, Sayın Prof. Dr. Mahmut İZCİLER'e, Sayın Prof. Dr. Mehmet TÜRKER'e, Sayın Prof. Dr. Ahmet ÖZDEMİR'e, Sayın Doç. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ'ye, Sayın Yrd. Doç. Dr. Hakan DİLİPAK'a, Sayın Yrd. Doç. Dr. Ahmet GÜRAL'a ve çalışmalarımda emeği geçen arkadaşlarım Öğr. Gör. Dr. Abdulmecit GÜLDAŞ'a, Arş. Gör. Dr. Yakup TURGUT'a, Arş. Gör. Mustafa GÜNAY'a, Arş. Gör. Alaattin KAÇAL'a, Arş. Gör Volkan KILIÇLI'ya, Arş. Gör. Yakup YILDIZ'a, Uzm. Dr. Mustafa ÖZER'e, Gültekin UZUN'a ve diğer tüm çalışma arkadaşlarım ile manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme teşekkür ederim.

Ayrıca bu çalışmayı, 07/2004-10 nolu proje ile destekleyen Gazi Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT vi

TEŞEKKÜR viii

İÇİNDEKİLER ix

ÇİZELGELERİN LİSTESİ xiii

ŞEKİLLERİN LİSTESİ xv

RESİMLERİN LİSTESİ xxi

SİMGELER VE KISALTMALAR xxiv

1. GİRİŞ 1

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI 6

2.1. Kompozitlerin Üretimleri ve Mekanik Özellikleri ile İlgili Yapılan Çalışmalar 6

2.1.1. Kompozitlerin üretim ve mekanik özellikleri ile ilgili çalışmaların özeti 31

2.2. MMK'lerin İşlenebilirlikleri ile İlgili Yapılan Çalışmalar 33

2.2.1. MMK'lerin işlenebilirlikleri ile ilgili yapılan çalışmaların özeti 39

2.3. Yapılan Çalışmalarla İlgili Genel Değerlendirme 40

3. KOMPOZİT MALZEMELER 42

3.1. Giriş 42

3.2. Kompozitlerin Yapısı 43

3.3. Kompozitlerde Kullanılan Ana Faz (Matris) Malzemeleri 45

3.4. Kompozit Malzemelerin Ana Malzemeye Göre Üstünlükleri 46

3.5. Kompozit Malzemelerde Kullanılan Takviye Elemanları 48

Sayfa

3.5.1. Fiberler 49

3.5.2. Kılcal kristaller 50

3.5.3. İnce yassı parçacıklar ve özel form verilmiş plakalar 50

3.5.4. Parçacık ve partiküller 52

3.6. Takviye Elemanının Kompozitin Mekanik Özelliklerinin Belirlemesindeki Rolü 53

3.7. Kompozitlerin Sınıflandırılması 55

3.7.1. Polimer esaslı kompozit malzemeler 58

3.7.2. Metal matrisli kompozit malzemeler 59

4. METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ 75

4.1. Sıvı Hal Üretim Yöntemleri 76

4.1.1. Ergimiş metal karıştırma yöntemi 76

4.1.2. Ergimiş metal emdirme (infiltrasyon) yöntemi 88

4.1.3. Atomizasyon (sprey) döküm yöntemi 90

4.1.4. Denge halinde (in-situ) reaksiyonla faz oluşturma yöntemi 92

4.2. Katı Hal Üretim Yöntemleri 93

4.2.1. Toz metalurji üretim yöntemi 94

4.2.2. Difüzyonlu birleştirme yöntemi 97

4.3. Katı + Sıvı Hal Üretim Yöntemi 100

5. TALAŞLI İMALAT VE İŞLENEBİLİRLİK 101

5.1. Giriş 101

5.2. Talaşlı İmalat Mekaniği ve Talaş Oluşumu 102

5.3. Takım-Talaş Arayüzeyi ve Yığıntı Talaş Oluşumu 104

Sayfa

5.4. Talaşlı İmalat İşleminde Kesme Kuvvetleri 105

5.5. Talaşlı İmalat İşleminde Isı ve Sıcaklık 107

5.6. Kesici Takım Malzemeleri 108

5.6.1. Yüksek hız çeliği 109

5.6.2. Sementit karbürler 109

5.6.3. Kaplamalı sementit karbür 110

5.6.4. Sermet 111

5.6.5. Seramik 111

5.6.6. Çok sert kesici takımlar 112

5.7. Takım Aşınması 113

5.8. İşlenebilirlik 115

6. MATERYAL ve METOD 117

6.1. Kompozit Malzemelerin Üretiminde Kullanılan Makina ve Teçhizatlar 117

6.2. Malzeme Üretiminde Kullanılan Matris Malzemesi 121

6.3. Malzeme Üretiminde Kullanılan Takviye Elemanları ve Özellikleri 121

6.3.1. Alüminyum oksit parçacık 121

6.3.2. Nikel kaplı grafit parçacık 122

6.3.3. Takviye elemanları geometrik inceleme yöntemi 123

6.3.4. Parçacık boyut analiz cihazı 123

6.4. Yoğunluk Ölçüm Cihazı 123

6.5. Malzeme Üretim Parametrelerinin Tespiti 124

6.6. Kompozit Malzeme Üretimleri 131

Sayfa

6.7. Metalografik İnceleme Yöntem ve Cihazları 132

6.8. Sertlik Ölçüm Yöntemi ve Cihazı 132

6.9. İşlenebilirlik Deneyleri 132

6.9.1. Deney numuneleri 133

6.9.2. Takım tezgahı, takım tutucular ve kesici takımlar ve kesme parametreleri 133

6.9.3. Kesme kuvvetti, yüzey pürüzlülüğü ve talaş kökü alma ve takım aşınması ölçüm cihazları 137

7. DENEYSEL SONUÇLAR ve TARTIŞMA 140

7.1. Takviye Elemanları Boyut Analizleri 140

7.2. Metalografik İncelemeler 141

7.3. MMK Malzemelerin Mekanik Özellikleri 144

7.3.1. Sertlik ölçüm sonuçları 144

7.3.2. Yoğunluk ölçümü ve gözenek miktarının belirlenmesi 145

7.4. İşlenebilirlik Deney Sonuçları ve Tartışma 147

7.4.1. Kesici takım ömrü ve aşınma 147

7.4.2. Kesme kuvvetlerinin değerlendirilmesi 176

7.4.3. Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi 215

7.4.4. Kesici takımların işleme maliyetlerinin değerlendirilmesi 223

8. SONUÇ ve ÖNERİLER 226

KAYNAKLAR 232

EKLER 238

EK-1 Alüminyum oksit parçacıklarının boyut analizi 239

Ek-2 Ni(K)Gr parçacıklarının boyut analizi 240

ÖZGEÇMİŞ 241

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 2.1 Kompozit malzeme üretiminde kullandıkları matrislerin kimyasal içeriği 15

Çizelge 2.2. Kompozitlerin takviye işleminde kullandıkları seramik takviye elamanlarının özellikleri 15

Çizelge 2.3. Al-6061/SiC parçacık takviyeli geleneksel döküm ve mekanik karıştırma ile üretim sonrası 1:10 oranında ekstrüzyon işlemi uygulanmış çubuk kompozitlerin yaşlandırma işlem basamakları 28

Çizelge 3.1. Bazı malzemelerin ergime derecelerine bağlı elastikiyet modülleri 47

Çizelge 3.2. Çeşitli parçacık tipindeki takviye elemanlarının tipik özellikleri 53

Çizelge 3.3. Alüminyum alaşım çeşitleri ve ısıl işlem durumları 62

Çizelge 3.4. Farklı ısıl işlemlerde AA-6082'ye ait tipik mekanik özellikler 63

Çizelge 3.5. AA-6082'nin tipik fiziksel özellikleri 63

Çizelge 3.6. Alüminyum oksitin saflık derecesine göre bazı fiziksel ve mekanik özellikleri 68

Çizelge 3.7. Karbon ve grafit bileşimlerinin tipik özelliklerinin değişimi 69

Çizelge 3.8. Alüminyum, magnezyum ve SiC seramik takviye elemanlarına ait ısıl genleşme katsayıları 72

Çizelge 4.1. Alüminyum 6061 alaşımı, SiC parçacık ve bunlardan elde edilen AA-6061/%17 SiCp içerikli kompozitin bazı özellikleri 75

Çizelge 6.1. T6 ısıl işlem görmüş AA-6082'ye ait teorik değer aralıkları, spektral analiz sonuçları ve sertlik değeri 121

Çizelge 6.2. Çalışmada kullanılan alüminyum oksidin kimyasal bileşimi 122

Çizelge 6.3. Üretimi gerçekleştirilen malzemeler 131

Çizelge 6.4. BSD torna tezgahı özellikleri 133

Çizelge 6.5. Kesici uç yapı ve geometri özellikleri 135

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 6.6. Kesici uç standart ISO kodları, yapı ve kaplama özellikleri 136

Çizelge 6.7. Deneylerde kullanılan işleme değerleri 137

Çizelge 7.1. Al_2O_3 ve nikel kaplı grafit parçacıkların elek boyutlarına bağlı ortalama tane boyutları 141

Çizelge 7.2. Üretilen malzemelerin Brinell sertlik değerleri 145

Çizelge 7.3. Deneysel ve teorik yoğunluk ölçüm sonuçları 145

Çizelge 7.4. Sementit karbür kesici takımlarda aşınma izleri ölçüm değerleri 149

Çizelge 7.5. Kübik bor nitrür kesici takımlarda aşınma ölçüm değerleri 160

Çizelge 7.6. KBN kesici takımlar için kesme kuvveti sonuçları 177

Çizelge 7.7. SK kesici takımlar için kesme kuvveti sonuçları 178

Çizelge 7.8. AA-6082 matris malzemesi için kesme kuvveti sonuçları 178

Çizelge 7.9. AA-6082 matris alaşımının işlenmesinde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri 216

Çizelge 7.10. Hacimce % 8 Al_2O_3 parçacık takviyeli kompozitin işlenmesinde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri 217

Çizelge 7.11. Hacimce % 8 Ni(K)Gr parçacık takviyeli MMK'nın işlenmesi sonrasında ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri 220

Çizelge 7.12. Karma parçacıklarla takviyeli kompozitin işlenmesi sonrasında ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri 222

Çizelge 7.13. Hacimce % 8 Al_2O_3 takviyeli MMK malzemenin işlenmesinde kullanılan kesici takımların maliyet çizelgesi 223

Çizelge 7.14. Karma takviyeli MMK malzemenin işlenmesinde kullanılan kesici takımların maliyet çizelgesi 223

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 1.1. Endüstriyel ana malzeme grupların sınıflandırılması 2

Şekil 2.1. Sıvı metal emdirme yöntemi ile kompozit malzeme üretimini gerçekleştiren ünitenin şematik şekli 11

Şekil 2.2. Davidson ve Reneger'in mekanik özelliklerin belirlenmesinde kullandıkları çekme numunelerinin test sonuç grafiği 14

Şekil 2.3. Isıl işlem farklılıklarına göre kompozitlerde görülen kırılma mekanizmaları 29

Şekil 3.1. Parçacık takviyeli bir kompozitin bünyesindeki farklı yapılar 44

Şekil 3.2. Kompozitlerin dayanım özelliklerinin kıyaslanması 46

Şekil 3.3. Fiber çapının çekme dayanımı üzerine etkisi 49

Şekil 3.4. Sandviç panelin yapıştırılarak elde edilmesi 52

Şekil 3.5. Takviye fazının şekline göre endüstriyel kompozitlerin sınıflandırılması 57

Şekil 3.6. Doğrusal yönlü elyaflarla takviye edilmiş kompozitlerin farklı şekillerdeki takviye işlemi 57

Şekil 3.7. Üretim parametrelerinin arayüzey bağı ve kompozitin mekanik özelliklerine etkileri 70

Şekil 3.8. Malzemelerde yapı içerisinde oluşan kalıcı gerilim yığılmaları 71

Şekil 3.9. Kompozit yapı içerisinde, ısıl genleşme farklılıklarından dolayı soğuma esnasında meydana gelen gerilimler 72

Şekil 3.10. Parçacık boyutu ve şekline bağlı olarak kırılganlığın değişimi 73

Şekil 4.1. Ergimiş metalin katılaşma işlemi esnasında parçacıkların yerleşimi 79

Şekil 4.2. Değişik geometrilerde karıştırıcılar 81

Şekil 4.3. Ultrasonik titreşimli piezo elektrikli karıştırıcılı ergimiş metal karıştırma ünitesi 82

Şekil 4.4. Katı, sıvı ve gaz fazları arasında oluşan temas açıları 83

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.5. Ultrasonik titreşim ve titreşimsiz olarak SiO_2 parçacıkların ergimiş metalle ilave işlemi 89

Şekil 4.6. Atomizasyon (sprey) biriktirmeli döküm ünitesi 91

Şekil 4.7. Sabit sıcaklık ve basınç altında difüzyonlu birleştirme işlemi 98

Şekil 4.8. Sabit sıcaklık ve basınç altında difüzyonlu birleştirme ile üretilmiş uçak motoru tirbün kanatçığı üretim işlem basamakları 99

Şekil 4.9. Sıcak ve soğuk silindirleme ile kompozit üretim işlem basamakları 100

Şekil 5.1. Dik kesme modeli 103

Şekil 5.2. Gerçek talaş oluşumu 103

Şekil 5.3. Tornalama işleminde kesme kuvvetleri 106

Şekil 5.4. Kesme bölgesinde ısı oluşumu 107

Şekil 5.5. Kesici takımdaki aşınmaların şematik olarak gösterilmesi 114

Şekil 6.1. İşlenebilirlik deney numuneleri geometri ve ölçüleri 133

Şekil 6.2. Talaş kökü almada kullanılan takım tutucu özellikleri 134

Şekil 6.3. Diğer İşlenebilirlik deneylerinde kullanılan takım tutucu özellikleri ... 134

Şekil 7.1. Üretilen malzemelerdeki gözenek miktarı değişimi 146

Şekil 7.2. Hacimce % 8 Al_2O_3 takviyeli MMK'in kaplamasız SK kesici takımla işlenmesinde, kesici takım esas kesme kenarı yan yüzeyinde oluşan aşınma değerleri 150

Şekil 7.3. Hacimce % 8 Al_2O_3 takviyeli MMK'in kaplamalı SK kesici takımla işlenmesinde, kesici takım esas kesme kenarı yan yüzeyinde oluşan aşınma değerleri 150

Şekil 7.4. Hacimce % 8 Al_2O_3 takviyeli MMK'in kaplamasız SK kesici takımla işlenmesinde, kesici takım burun yüzeyinde oluşan aşınma değerleri .. 151

Şekil 7.5. Hacimce % 8 Al_2O_3 takviyeli MMK'in kaplamalı SK kesici takımla işlenmesinde, kesici takım burun yüzeyinde oluşan aşınma değerleri .. 151

Şekil **Sayfa**

Şekil 7.6. Karma takviyeli MMK'in kaplamasız SK kesici takımla işlenmesinde, kesici takım yan yüzeyinde oluşan aşınma değerleri 152

Şekil 7.7. Karma takviyeli MMK'in kaplamalı SK kesici takımla işlenmesinde, kesici takım esas kesme kenarı yan yüzeyinde oluşan aşınma değerleri 153

Şekil 7.8. Karma takviyeli MMK'in SK kesici takımlarla işlenmesinde, kesici takımların burun yüzeyinde oluşan aşınma değerleri..... 153

Şekil 7.9. Hacimce % 8 Al_2O_3 takviyeli MMK'in MB8025 kodlu KBN kesici takımla işlenmesi sonucunda kesicide oluşan aşınma değerleri..... 161

Şekil 7.10. Hacimce % 8 Al_2O_3 takviyeli MMK'in GBi03 kodlu KBN kesici takımla işlenmesi sonucunda kesicide oluşan aşınma değerleri..... 162

Şekil 7.11. Hacimce % 8 Al_2O_3 takviyeli MMK'in MBC010 kodlu KBN kesici takımla işlenmesi sonucunda kesicide oluşan aşınma değerleri..... 163

Şekil 7.12. Karma takviyeli MMK'in kaplamasız KBN MB8025 kesici takımla işlenmesi sonucunda kesicide oluşan aşınma değerleri..... 164

Şekil 7.13. Karma takviyeli MMK'in kaplanmış KBN GBi03 kesici takımla işlenmesi sonucunda kesicide oluşan aşınma değerleri..... 165

Şekil 7.14. Karma takviyeli MMK'in kaplanmış KBN MBC010 kesici takımla işlenmesi sonucunda kesicide oluşan aşınma değerleri..... 166

Şekil 7.15. Hacimce % 8 Al_2O_3 takviyeli kompozitin işlenmesinde ölçülen kesme hızına göre kuvvet bileşenleri 179

Şekil 7.16. Hacimce % 8 Al_2O_3 takviyeli kompozitin işlenmesinde ölçülen esas kesme kuvvetinin kesme hızına göre değişimi..... 181

Şekil 7.17. Hacimce % 8 Al_2O_3 takviyeli kompozitin kaplamasız MB8025 kodlu KBN kesici takımla işlenmesinde ölçülen kesme kuvveti bileşenleri ve kesici takım SEM fotoğrafları..... 182

Şekil 7.18. Hacimce % 8 Al_2O_3 takviyeli kompozitin kaplamalı GBi03 kodlu KBN kesici takımla işlenmesinde ölçülen kesme kuvveti bileşenleri ve kesici takım SEM fotoğrafları 184

Şekil 7.19. Hacimce % 8 Al_2O_3 takviyeli kompozitin kaplamalı MBC010 kodlu KBN kesici takımla işlenmesinde ölçülen kesme kuvveti bileşenleri ve kesici takım SEM fotoğrafları..... 185

Şekil **Sayfa**

Şekil 7.20. Hacimce % 8 Al_2O_3 takviyeli kompozitin kaplamasız UTi20T kodlu SK kesici takımla işlenmesinde ölçülen kesme kuvveti bileşenleri ve kesici takım SEM fotoğrafları 186

Şekil 7.21. Hacimce % 8 Al_2O_3 takviyeli kompozitin UE6005 kodlu kaplamalı SK kesici takımla işlenmesinde ölçülen kesme kuvveti bileşenleri ve kesici takım SEM fotoğrafları 188

Şekil 7.22. Hacimce % 8 Ni(K)Gr takviyeli kompozitin işlenmesinde ölçülen kesme hızına göre kuvvet bileşenleri 189

Şekil 7.23. Hacimce % 8 Ni(K)Gr takviyeli kompozitin işlenmesinde ölçülen esas kesme kuvvetinin kesme hızına göre değişimi 191

Şekil 7.24. Hacimce % 8 Ni(K)Gr takviyeli kompozitin kaplamasız MB8025 kodlu KBN kesici takımla işlenmesinde ölçülen kesme kuvveti bileşenleri ve kesici takım SEM fotoğrafları 192

Şekil 7.25. Hacimce % 8 Ni(K)Gr takviyeli kompozitin kaplamalı GBi03 kodlu KBN kesici takımla işlenmesinde ölçülen kesme kuvveti bileşenleri ve kesici takım SEM fotoğrafları 194

Şekil 7.26. Hacimce % 8 Ni(K)Gr takviyeli kompozitin kaplamalı MBC010 kodlu KBN kesici takımla işlenmesinde ölçülen kesme kuvveti bileşenleri ve kesici takım SEM fotoğrafları 195

Şekil 7.27. Hacimce % 8 Ni(K)Gr takviyeli kompozitin kaplamasız UTi20T kodlu SK kesici takımla işlenmesinde ölçülen kesme kuvveti bileşenleri ve kesici takım SEM fotoğrafları 196

Şekil 7.28. Hacimce % 8 Ni(K)Gr takviyeli kompozitin UE6005 kodlu SK kesici takımla işlenmesinde ölçülen kesme kuvveti bileşenleri ve kesici takım SEM fotoğrafları 198

Şekil 7.29. Karma takviyeli kompozitin işlenmesi esnasında ölçülen kesme kuvveti bileşenleri 199

Şekil 7.30. Karma takviyeli kompozitin işlenmesinde ölçülen esas kesme kuvveti değerlerinin kesme hızına göre değişimi 201

Şekil 7.31. Karma takviyeli kompozitin kaplamasız MB8025 kodlu KBN kesici takımla işlenmesinde ölçülen kesme kuvveti bileşenleri ve kesici takım SEM fotoğrafları 202

Şekil **Sayfa**

Şekil 7.32. Karma takviyeli kompozitin kaplamalı GBi03 kodlu KBN kesici takımla işlenmesinde ölçülen kesme kuvveti bileşenleri ve kesici takım SEM fotoğrafları 204

Şekil 7.33. Karma takviyeli kompozitin kaplamalı MBC010 kodlu KBN kesici takımla işlenmesinde ölçülen kesme kuvveti bileşenleri ve kesici takım SEM fotoğrafları 205

Şekil 7.34. Karma takviyeli kompozitin kaplamasız UTi20T kodlu SK kesici takımla işlenmesinde ölçülen kesme kuvveti bileşenleri ve kesici takım SEM fotoğrafları 206

Şekil 7.35. Karma takviyeli kompozitin UE6005 kodlu kaplamalı SK kesici takımla işlenmesinde ölçülen kesme kuvveti bileşenleri ve kesici takım SEM fotoğrafları 208

Şekil 7.36. İşlem görmüş AA-6082 matris alaşımının kaplamasız SK ve KBN kesici takımlarla işlenmesinde ölçülen kuvvet bileşenleri 209

Şekil 7.37. Kaplamasız MB8025 kodlu KBN kesici takımla tüm işlenen malzemelerde esas kesme kuvvetinin kesme hızına bağlı değişimi..... 210

Şekil 7.38. Kaplamalı GBi03 kodlu KBN kesici takımla tüm işlenen malzemelerde esas kesme kuvvetinin kesme hızına bağlı değişimi..... 211

Şekil 7.39. Kaplamalı MBC010 kodlu KBN kesici takımla tüm işlenen malzemelerde esas kesme kuvvetinin kesme hızına bağlı değişimi..... 212

Şekil 7.40. Kaplamasız UTi20T kodlu SK kesici takımla, tüm işlenen malzemelerde esas kesme kuvvetinin kesme hızına bağlı değişimi..... 213

Şekil 7.41. Kaplamalı UE6005 kodlu SK kesici takımla tüm işlenen malzemelerde esas kesme kuvvetinin kesme hızına bağlı değişimi..... 214

Şekil 7.42. AA-6082 matris alaşımının kaplamasız SK ve KBN kesici takımlar ile tornalama işlemi sonrasında ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değer grafiği 216

Şekil 7.43. Hacimce % 8 Al_2O_3 parçacık takviyeli kompozitin tornalama işlemi sonrasında ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değer grafiği..... 218

Şekil 7.44. Hacimce % 8 Ni(K)Gr parçacık takviyeli kompozitin tornalama işlemi sonrasında ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değer grafiği... 220

Şekil **Sayfa**

Şekil 7.45. Karma parçacıklarla takviyeli kompozitin tornalama işlemi sonrasında ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değer grafiği..... 221

Şekil 7.46. Alümina ve karma takviyeli MMK'lerde 30000 mm^3 talaş hacmi için kesici takımların birim maliyet grafiği..... 224

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 3.1. İnce plaka halindeki bor nitrür (BN) parçacık takviye elemanı 51

Resim 3.2. Farklı tipteki kompozit malzeme mikroyapıları 60

Resim 4.1. SiC parçacıkların 600°C'de 2 saat bekletilmesi ile ıslanabilirliğinin iyileştirilmesi 84

Resim 4.2. SiO_2 parçacıkların ergimiş metalle ilave işlemi 85

Resim 6.1. Kompozit malzeme üretim ünitesi ve yardımcı ekipmanlar 117

Resim 6.2. Basınçlı döküm işleminde kullanılan makine ve teçhizatlar 118

Resim 6.3. Tav fırını 118

Resim 6.4. Dikey hafif metal ergitme fırını ve kontrol paneli 119

Resim 6.5. Hız kontrollü karıştırma ünitesi 120

Resim 6.6. Nikel kaplı grafit parçacıklar 122

Resim 6.7. MMK malzeme üretiminde kullanılan karıştırıcı formları 127

Resim 6.8. Takviye elemanı ilave yöntemlerine bağlı mikroyapılar 130

Resim 6.9. Talaş kökü alma işleminde kullanılan ani durdurma cihazı 139

Resim 7.1. 280 elek tane boyutlu α-Al_2O_3 parçacıkların SEM görüntüleri 140

Resim 7.2. AA-6082 alaşımının kenar ve merkez kısımdaki mikroyapı fotoğrafları 141

Resim 7.3. Hacimce % 8 Al_2O_3 parçacıklarla takviyeli AA-6082 matrisli kompozitin mikroyapı görüntüleri 142

Resim 7.4. Hacimce % 8 Al_2O_3 parçacıklarla takviyeli AA-6082 matrisli kompozitin mikroyapı görüntüleri 142

Resim 7.5. Hacimce % 8 Ni(K)Gr parçacık takviyeli AA-6082 matrisli kompozitin mikroyapı görüntüleri 143

Resim **Sayfa**

Resim 7.6. Hacimce % 4 Ni(K)Gr ve Al_2O_3 parçacıklarla karma takviyeli AA-6082 matrisli kompozitin mikroyapı görüntüleri 144

Resim 7.7. Hacimce % 8 Ni(K)Gr takviyeli kompozitin, kaplamasız SK kesici takım ile işlenmesi sonrasında çekilmiş kesici takım SEM fotoğrafları 154

Resim 7.8. Hacimce % 8 Ni(K)Gr takviyeli kompozitin, kaplamalı SK kesici takım ile işlenmesi sonrasında çekilmiş kesici takım SEM fotoğrafları..... 155

Resim 7.9. Hacimce % 8 Al_2O_3 parçacık takviyeli kompozitin işlenmesi sonrasında çekilmiş kesici takımların SEM fotoğrafları 156

Resim 7.10. Hacimce % 4 Al_2O_3 ve % 4 Ni(K)Gr parçacıklarla karma takviyeli kompozitin işlenmesi sonrasında çekilmiş kesicilerin SEM fotoğrafları 157

Resim 7.11. Hacimce % 4 Al_2O_3 ve % 4 Ni(K)Gr parçacıklarla karma takviyeli kompozitin işlenmesi sonrasında çekilmiş kesicilerin SEM fotoğrafları 158

Resim 7.12. Hacimce % 8 Ni(K)Gr takviyeli kompozitin kaplamasız KBN kesici takımla işlenmesi sonrasında çekilen kesici takım SEM fotoğrafları..... 168

Resim 7.13. Hacimce % 8 Ni(K)Gr takviyeli kompozitin kaplamalı KBN (MBC010) kesici takımla işlenmesi sonrasında kesici takım SEM fotoğrafları..... 168

Resim 7.14. Hacimce % 8 Al_2O_3 takviyeli kompozitin kaplamasız KBN kesici takımla işlenmesi sonrasında çekilen kesici takım SEM fotoğrafları..... 169

Resim 7.15. Hacimce % 8 Al_2O_3 takviyeli kompozitin kaplamasız KBN kesici takımla 160 m/min kesme hızında işlenmesi sonrasında çekilen kesici takım SEM fotoğrafları 170

Resim 7.16. % 8 Al_2O_3 takviyeli kompozitin kaplamalı KBN GBi03 kodlu kesici takımla işlenmesi sonrasında çekilen kesici takım SEM fotoğrafları..... 171

Resim 7.17. Hacimce % 8 Al_2O_3 takviyeli kompozitin kaplamalı KBN GBi03 kodlu kesici takımla 190 m/min kesme hızında işlenmesi sonrasında çekilen kesici takım SEM fotoğrafları 171

Resim **Sayfa**

Resim 7.18. % 8 Al_2O_3 takviyeli kompozitin kaplamalı KBN (MBC010) kesici takımla işlenmesi sonrasında çekilen kesici takım SEM fotoğrafları 172

Resim 7.19. Karma takviyeli kompozitin kaplamasız KBN (MB8025) kesici takımla işlenmesi sonrasında çekilen kesici takım SEM fotoğrafları 173

Resim 7.20. Karma takviyeli kompozitin kaplamasız KBN (MB8025) kesici takımla 190 m/min kesme hızında işlenmesi sonrasında çekilen kesici takım SEM fotoğrafları 174

Resim 7.21. Karma takviyeli kompozitin kaplamalı KBN (GBi03) kesici takımla işlenmesi sonrasında çekilen kesici takım SEM fotoğrafları 174

Resim 7.22. Karma takviyeli kompozitin kaplamalı KBN (MBC010) kesici takımla işlenmesi sonrasında çekilen kesici takım SEM fotoğrafları 175

Resim 7.23. Kaplamasız MB8025 kodlu KBN kesici takım ile 70 m/min kesme hızında hacimce % 8 Al_2O_3 takviyeli kompozitten alınan talaş kökü 183

Resim 7.24. Kaplamasız SK UTi20T kodlu kesici takım ile 70 m/min kesme hızında hacimce % 8 Al_2O_3 takviyeli kompozitten alınan talaş kökü 187

Resim 7.25. Kaplamasız MB8025 kodlu KBN kesici takım ile 70 m/min kesme hızında hacimce % 8 Ni(K)Gr takviyeli kompozitten alınan talaş kökü 193

Resim 7.26. Kaplamasız SK UTi20T kodlu kesici takım ile 70 m/min kesme hızında hacimce % 8 Ni(K)Gr takviyeli kompozitten alınan talaş kökü 197

Resim 7.27. Kaplamasız MB8025 kodlu KBN kesici takım ile 70 m/min kesme hızında karma takviyeli kompozitten alınan talaş kökü 203

Resim 7.28. Kaplamasız SK UTi20T kodlu kesici takım ile 70 m/min kesme hızında karma takviyeli kompozitten alınan talaş kökü 207

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

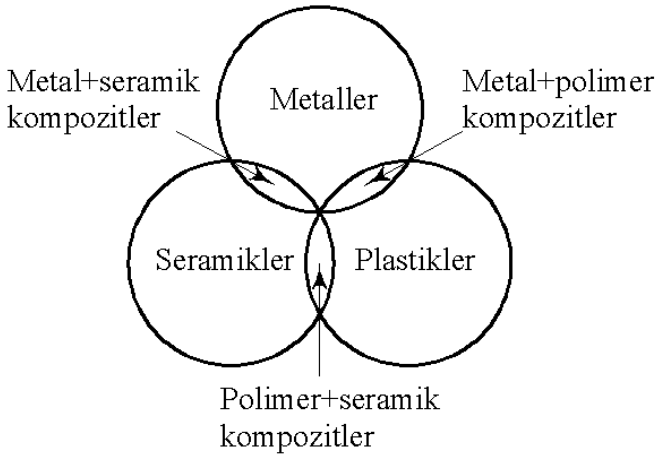
Simgeler	Açıklama
a	Kesme derinliği, mm
F	Bileşke kuvvet, N
$\mathbf{F_c}$	Esas kesme kuvveti, N
$\mathbf{F_f}$	İlerleme kuvveti, N
$\mathbf{F_r}$	Radyal kuvvet, N
f	İlerleme hızı, mm/rev
KT	Krater aşınması derinliği, mm
γ	Talaş açısı
α	Kesici takım boşluk açısı
β	Kesici takım kama açısı
ε	Matris ve takviye elemanı arasındaki uyumsuzluk deformasyonu
$\Delta\alpha$	Matris ve takviye elemanlarının ısıl genleşme katsayıları arasındaki fark
ΔT	Sıcaklık değişimi
θ	Islanabilirlik açısı
γ_{sl}, γ_{sg}, γ_{lg}	Sırasıyla katı - sıvı, katı – gaz ve sıvı – gaz fazları arasındaki arayüzey enerjileri
φ	Yoğunluk, g/cm^3
$\mathbf{R_a}$	Ortalama yüzey pürüzlülük değeri
V	Kesme hızı, m/min
$\mathbf{V_b}$	Yan kenar aşınma genişliği, mm

Kısaltmalar	Açıklama
α-Al_2O_3	Alfa alüminyum oksit
AA-6082	Al-Si-Mg alüminyum alaşımı serisi
A356	Alcan firmasının ürettiği döküm alüminyum alaşımı
B_4C	Bor karbür
BHN	Brinell sertlik değeri
BSD	Bilgisayarlı sayısal denetim
CFRP	Karbon fiber takviyeli kompozit
CVI	Chemical vapour infiltration, kimyasal buhar emdirme
CVD	Chemical vapour deposition, kimyasal buhar biriktirme
ÇKE	Çok kristalli elmas
KBN	Kübik boron nitrür
MMK	Metal matrisli kompozit
Ni(K)Gr	Üzeri nikel kaplı grafit
SEM	Scanning electron microscopy, tarama elektron mikroskobu
SiCp	Silisyum karbür parçacık
SK	Sementit karbür
Si_3N_4	Silisyum nitrür
TM	Toz metalurjisi
YK	Yığıntı katmanı
YT	Yığıntı talaş
WC	Wolfram karbür
WC+TiN	Titanyum nitrür kaplı wolfram karbürlü kesici

1. GİRİŞ

Günümüzde özellikle otomotiv, uzay, denizcilik, demiryolu taşımacılığı ve spor malzemeleri gibi endüstriyel alanların birçoğunda, kompozit malzemelerin geleneksel malzemelerin yerine kullanımları gün geçtikçe artarak devam etmektedir. Bu artışın nedeni olarak kompozit malzemelerin, düşük yoğunluklarına karşı sergiledikleri mükemmel mekanik özellikleri (yorulma, tokluk, aşınma direnci, oksitlenme direnci, vb.) ve istenilen dayanım özelliklerine göre farklı kombinasyonlarda üretilebilmeleri gösterilebilir. Kompozitlerin bu üstün özellikleri yanında, montaj işlemlerinin sınırlı, üretim yöntemlerinin pahalı ve zahmetli olması ve bünyelerindeki aşındırıcı özelliğe sahip sert takviye elemanlarından dolayı ikincil işlemler ve özellikle talaşlı imalatla şekillendirilmelerinin zor olması gibi dezavantajları mevcuttur. Bu dezavantajlar nedeniyle kompozit malzemelerin endüstriyel alanlarda kullanım alanları hala sınırlıdır. Yapılan çalışmaların, genellikle kompozit malzemelerin üretimi, mekanik özellikleri ve talaşlı imalatla şekillendirilmelerinde karşılaşılan problemlerin en aza indirilmesi gibi konularda olduğu görülmektedir [1-4].

Kompozit malzemeler, mükemmel dayanım özellikleri nedeniyle, uzun ömürlü olması ve çevre korunumu ile hammadde ve enerji tasarrufu sağlamaları gibi önemli üretim girdilerini azaltmaları nedeniyle ekonomik bir malzeme grubudurlar. Kompozitler geleneksel malzeme grubu olarak adlandırılan plastikler, metaller ve seramiklerden farklı fakat bu malzemelerden bağımsız olarak düşünülemez bir malzeme grubudur. 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 [1-5]. Endüstriyel alanlarda kullanılan malzeme gruplarının sınıflandırma şekli kompozitleri de kapsayacak tarzda Şekil 1.1'de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Endüstriyel ana malzeme gruplarının sınıflandırılması [3]

Kompozit yapı; ana faz (matris) malzemesi, takviye elemanı ve ara yüzey bağı olmak üzere üç bileşenden meydana gelmektedir. Bu bileşenlerden matris ve takviye elemanları Şekil 1.1'de görüldüğü gibi aralarında fizikisel ya da kimyasal yapı farklılıkları olan en az iki grubun seçimiyle belirlenmektedir. Bu belirlemede üretim sonrası, elde edilecek kompozitten istenilen dayanım özellikleri, matris-takviye fazı uyumluluk kıstasları (ısıl genleşme katsayıları, ıslatma ve ıslanma kabiliyetleri, birbirleriyle olan reaksiyon özellikleri, vb.), kullanılacak üretim yönteminin tipi ve özellikleri ve istenilen kompozit formu etkilidir. Kompozit yapı elemanlarından ara yüzey bağı ise kompozitin üretimi esnasında, seçimi gerçekleştirilen matris-takviye elemanı uyumluluk kıstasları ve üretim parametrelerinin etkisiyle, genelde intermetalik ya da seramik gibi değişik yapı özelliklerinde, matris-takviye elemanı temas bölgelerinde oluşan yapıdır [2,3,6-8].

Kompozit malzemelerin üretim yöntemleri, matris ve takviye elemanının özellikleri ve şekline göre değişmektedir. Plastik matrisli kompozitlerin üretim yöntemleri, bilinen polimer üretim teknolojileri ile benzerlik göstermektedir. Seramik matrisli kompozitlerin üretimlerinde kullanılan yöntemler kimyasal buhar biriktirme, kimyasal buhar emdirme ve sol-jel üretim yöntemleridir [2,6]. Seramik matrisli kompozitler, genelde seramiklerin metaller gibi ikincil yöntemlerle dayanım özelliklerinin geliştirilememesi nedeniyle üretilmektedir. Başka bir deyişle, saf

haldeki seramiklerin tokluğunu ve yüksek sıcaklık dayanımları ile birlikte servis sıcaklık aralığının genişletilmesi amacıyla kompozit olarak üretilmektedirler [2,6].

Metal matrisli kompozitlerde (MMK) ise üretim yöntemleri sıvı ve katı hal üretim yöntemleri olarak iki ana grupta toplanmaktadır. Burada kullanılan üretim yöntemlerinin birbirlerine göre avantajlı ve kısıtlı yanları mevcuttur. Özellikle parçacık ve kısa fiber takviyeli kompozitler, uzun fiber takviyeli kompozitlere nazaran geleneksel sıvı karıştırmalı döküm yöntemi ile daha ekonomik olarak üretilebilmektedir. Ayrıca uzun fiberlerin pahalı olması da üretim maliyetlerini arttırmaktadır [6-8].

MMK'lerin üretim yöntemlerinin geliştirilmesi ve karşılaşılan üretim zorluklarını azaltarak ekonomik olarak üretilmelerini sağlamak ve kullanım alanlarını yaygınlaştırmak için çalışmalar sürdürülmektedir. MMK'ler yüksek elastikiyet modülüne, yüksek çekme-basma mukavemeti ve aşınma direncine sahip olmaları ve ayrıca metallerin süneklik ve tokluğunu, seramiklerin yüksek mukavemet ve yüksek elastikiyet modülü özellikleri ile birleştirilmelerinden dolayı, son derece önemli mühendislik malzemeleridirler. Bu üstünlükleri yanında, tekrar üretilebilir mikro yapı, iyileştirilebilir mekanik özellikler ve düşük yoğunlukları açısından daha da önem kazanmışlardır [2-8].

Günümüzde yeni geliştirilen kaliteli ve ucuz, parçacık ve kısa fiberler sayesinde MMK'ler ekonomik olarak üretilmeye başlanmıştır. Özelikle Boeing uçak firmasının imalatta kullandığı malzemelerin yıllara göre yüzde dağılımına bakıldığında, kompozit malzemelerin gün geçtikçe artan bir kullanım alanının olduğu görülmektedir. İlerleyen yıllarda kompozit malzemelerin özellikle de MMK'lerin kullanım yüzdelerinin geleneksel malzemelere nazaran artacağı görülmektedir. Bu nedenle MMK malzemelerin üretim ve özelliklerini geliştirme çalışmaları büyük önem arz etmektedir [1-8].

MMK'lerin üretimlerinin zor olmasının yanında, son şekle yakın üretim metotlarıyla üretilen kompozitlerde dahi, çoğu zaman gerek duyulan işlenme ihtiyacı, ürün

maliyetlerini daha da artırmaktadır. Bundan dolayı MMK'ler için maliyetlerinin düşürülmesinde, işlenebilirlik özellikleri önem arz etmektedir. Malzemenin işlenme maliyeti, gelişmiş malzemelerin seçiminde belirleyici faktörler arasında yer almaktadır [2]. MMK'lerin işlenmesi (tornalama, frezeleme, matkapla delme, vida açma, vb.), aşınma dayanım özelliklerine bağlı olarak oldukça zordur. Bu malzemeler, kesici takımları hızlı bir şekilde aşındırmakta ve işleme maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır. MMK'lerin işlenebilirliği üzerine yapılan çalışmalarda, genellikle tek kristalli elmas ya da çok kristalli elmas kesici takımların verimli bir şekilde kullanılabileceği fakat bunların da pahalı olması nedeniyle maliyetleri olumsuz etkilediği rapor edilmiştir [6-8]. Bu kesici takımların maliyetlerinin kübik bor nitrürlü (KBN) kesicilere nazaran 3 ila 5 kat, sementit karbür (SK) kesici takımlara nazaran da 8 ila 12 kat gibi oranlarda yüksek olduğu belirtilmiştir [3-8].

Araştırmacılar MMK'ler gibi aşınma dayanımı yüksek kompozitlerin, üretimlerinin istenilen forma yakın gerçekleştirilmesini ve SK ile KBN kesici takımların kaba talaş alma işlemlerinde, elmas kesici takımların da bitirme talaş alma işlemlerinde kullanılmasını önermektedir [7,8,10]. Fakat burada takım maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle talaş kaldırma işlemine etki eden parametrelerin tespiti ve bunların en iyi değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Kesici takımların maliyetlerinin işleme operasyonları sonucunda ürün maliyetini arttırdığı bilinmektedir. Bundan dolayı, talaşlı imalatta işleme operasyonları en aza indiren bir üretim yönteminin kullanılması ve işleme maliyetini en aza indirgeyen kesme şartlarını belirlemek için temel işlenebilirlik çalışmalarının yapılması gerekmektedir.

Bu çalışmada, birçok endüstriyel imalat alanlarında gelecekte büyük önem arz edeceği düşünülen MMK malzemelerin, üretimlerinde karşılaşılan problemlerin azaltılması ve işlenebilirlik özelliklerinin takviye elemanı tipi ve işleme parametrelerine bağlı olarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla öncelikle yekpare ve karma (hybrid) parçacık takviyeli kompozitlerin üretilebileceği bir MMK malzeme üretim laboratuarı kurulmuştur. Bu laboratuar koruyucu atmosferli dikey metal ergitme fırını, karıştırma ünitesi, hidrolik pres ve metal tavlama fırınından oluşmaktadır. Kompozitlerin üretiminde, sıvı hal üretim yöntemlerinden genel kabul

görmüş, fakat bir takım zorlukları bilinen ergimiş metal karıştırma ve basınçlı döküm yöntemi kullanılmıştır. Yapılan ön literatür araştırması sonucunda, bu üretim yönteminin çoğu zaman ticari yönü nedeniyle üretim parametrelerinin gizlendiği ve tam anlamıyla detaylandırılmadığı anlaşılmıştır. Matris malzemesi olarak ikincil metalurji işlemler (yaşlandırma) ile dayanım özellikleri geliştirilebilen [9], AA-6xxx serisi alüminyum alaşımlarından AA-6082 alaşımı kullanılmıştır. Takviye elemanı olarak da farklı yüzde hacim oranlarında ve değişen parçacık boyutlarında α-Al_2O_3 ve üzeri nikel kaplı grafit [Ni(K)GR] takviye elemanları kullanılmıştır. Karma takviye uygulamasıyla sertlik değeri Al_2O_3'e göre daha az olan ve katı yağlayıcı özelliğe sahip Ni(K)Gr takviye elemanlarının MMK'in işlenme özelliğini kolaylaştırması amaçlanmıştır. Üretim sonrasında elde edilen kompozitlerin mikroyapı ve bazı mekanik özellikleri belirlenmiştir. Üretilen MMK'lerin işlenebilirlik özellikleri kesme kuvveti, takım aşınması, talaş kökü morfolojisi, yüzey pürüzlülüğü ve işleme maliyeti açısından değerlendirilmiştir. Kesme parametreleri ISO 3685'e, kesici takım üretici firma ürün kataloğu ve literatüre bağlı belirlenmiş olup, kesici takım olarak kaplamalı ve kaplamasız sementit karbür (SK) ve çok kristalli kübik bor nitrürlü (KBN) kesiciler kullanılmıştır. İşlenebilirlik deneyleri soğutma sıvısı kullanılmadan kuru işleme şartlarında gerçekleştirilmiştir. İlerleme hızı ve talaş derinliği bütün deneylerde sabit tutulmuş ve kesme hızı, parçacık hacim oranı ve parçacık tipinin, takım aşınması, kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve talaş kökü morfolojisi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Kesici takımlardaki aşınma mekanizmaları tarama elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. İşlenebilirlik deneyleri ile üretimi gerçekleştirilen kompozitlerin işlenme özelliklerinin ve en uygun kesme parametrelerinin belirlenmesi ve bu sayede de endüstriyel uygulamalarda bu tür MMK'lerin kullanım alanlarının yaygınlaştırılması amaçlanmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Araştırmacılar, ulaşmak istedikleri hedeflere varmak ve hayatı kolaylaştırmak için tasarladıkları araç ve teçhizatlarda, enerjiyi verimli kullanmak ve onların kullanım ömürlerinin arttırarak ekonomik hale getirmeyi amaçlamaktadırlar. Bu da ancak kullanılan materyallerin ağırlıklarının azaltılmasına karşılık, dayanım özelliklerinin geliştirilerek, kullanım ömürlerinin de uzamasının sağlanması ile gerçekleştirilebilir. Bu amaçla düşük yoğunluk özeliklerine karşı, yüksek dayanım özelliklerine sahip, kullanım ömürlerinin diğer malzeme gruplarına göre daha uzun ve verimli olduğu bilinen kompozit malzemelerin, üretimlerinde karşılaşılan problemlerin azaltılarak, mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi, şekillendirme kabiliyetlerinin kolaylaştırılması ve kullanım alanlarının yaygınlaştırılması üzerine, araştırmacılar çalışmalarını odaklamaktadırlar [10].

2.1. Kompozitlerin Üretimleri ve Mekanik Özellikleri ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Endüstrinin birçok alanında özellikle otomotiv ve ulaşım sanayisinde son zamanlarda dikkat çeken çalışmalar, ulaşım araçlarının ya da kullanılan materyallerin ağırlığının azaltılması yönündedir. Bu sayede enerjinin verimli kullanılması sağlanarak, çevre kirliliği ve ülke ekonomisine katkıda bulunulacağı düşünülmektedir. Bu çalışmalar özellikle 1970'li yıllarından bu yana MMK'lerin dizel motor pistonlarında, biyel kollarında, şaft gibi hareket iletim yerlerinde, silindir gömleklerinde ve fren disklerinde kullanılmaları ve düşük yoğunluklarına karşı sergiledikleri yüksek dayanım özellikleri nedeniyle, hız kazanmıştır [10]. Bu amaçla kompozit malzemelerin üretimleri ile ilgili yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Hyo ve arkadaşları, otomobillerde kullanılan klima kompresör pistonlarının üretim yöntemlerini ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Kompresör pistonlarının üretimlerinde Al-Si alaşımını matris fazı, silisyum karbür parçacıkları (SiCp) da takviye fazı olarak kullanmışlardır. Pistonların üretimlerinde kullanılacak kompozitleri, toz metalurjisi ile 30 MPa basınç 540 °C – 570 °C arası yüksek

sıcaklıkta vakumlayarak ve sonrasında 500 °C'de 8:1 oranında ekstrüzyon işlemine tabi tutarak üretmişlerdir. Kompresör pistonu üretimini de 400 °C'de ısıtmış oldukları ektrüzyon edilmiş kompozit çubukları tek defada döverek üretmişlerdir. Ağırlıkça % 10 ve % 12 Si içerikli alüminyum alaşımı matristen ve ağırlıkça % 5-10 SiCp takviyeli kompozitlerden üretmiş oldukları kompresör pistonlarında, uygulamış oldukları ekstrüzyon ve dövme ile şekillendirme işlemlerinin dayanım ve sertlik özelliklerini arttırdığını bildirmişlerdir. Bunun nedeni olarak da kompozit çubuklara uygulanan üretim sonrası şekillendirme işlemlerinin matrisin plastik deformasyon sonucunda mikroyapısının küçülmesini göstermişlerdir. Kompozit üretimlerinde kullanılan matris alaşımlarından, % 12 Si içerikli alüminyum (Al) matrisin, Si oranının yüksek olmasından dolayı ağırlıkça % 10 Si içerikli matris ile yapılan kompozit üretimlerine kıyasla sertliklerinin daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. Matris fazı ağırlıkça % 12 silisyum içerikli alüminyum alaşımı ve SiCp takviyeli kompozitlerde aşınma davranışlarının yüzey sertleşmesi ve matris çatlaması şeklinde belirdiğini ve aşınma dayanımının SiCp içeriği ile arttığını bildirmişlerdir [10].

Abd El-Azim ve arkadaşları, AlSi18CuNi esaslı MMK malzemeleri ergimiş metal karıştırma yöntemi ile ağırlıkça % 2-4-6-12 oranlarında kısa alümina fiberlerle takviye ederek üretmişlerdir. Üretmiş oldukları kompozitlerin ve matris alaşımının optik mikroskopta mikroyapı incelemelerini yapmışlardır. Bunun yanında kompozitlerin mekanik özelliklerini ve aşınma davranışlarını belirlemişlerdir. Yapmış oldukları mikroyapı incelemelerinden, kompozit yapıyı oluşturan matris fazının mikroyapısının Al_2O_3 fiberler nedeniyle ince tane büyüklüğünde oluştuğunu ve matris içerisinde Al_2O_3 fiberlerin dağılımının homojenlik gösterdiğini belirtmişlerdir. Kompozitlerin mekanik özelliklerinin ve aşınma davranışlarının takviye fazının ilavesi ile matrise göre iyileşme gösterdiğini tespit etmişlerdir. Aynı zamanda kompozitlerin çekme dayanımlarının ve sertliklerinin oda sıcaklığında yapılan deneylerde matrise göre yüksek olduğunu görmüşlerdir. Kompozitlerin aşınma dayanımlarının takviye oranının artmasıyla iyileştiğini bildirmişlerdir [11].

Üretmiş oldukları MMK'lerin çekme dayanımlarını belirlemek amacıyla, DIN 50125÷B'ye göre değerlendirme uzunluğu 20 mm boyunda ve 4 mm çapındaki iki

ucuna vida açılmış numuneleri kullanarak, oda sıcaklığında ve 200 °C'de çekme deneyine tabi tutmuşlardır. Kompozit malzemelerin üretimlerinde matris ve takviye fazı arasında ıslanabilirliği iyileştirmek için; 800 °C de Al_2O_3 fiberleri tavlamışlar ve matrise ağırlıkça % 0,98 oranında Mg ilavesi yaparak argon koruyucu atmosferinde üretimleri gerçekleştirmişlerdir. Bunların yanında matrisi ergime işleminden önce alkalin bazlı ve değişik asitlerden oluşan bir karışımla yıkama işlemine tabi tutmuşlardır. Bununla, ergimiş alüminyum yüzeyinde oluşabilecek oksit tabakasının incelmesini ve yüzey kirliliğini azaltmayı amaçlamışlardır [11].

Lou ve arkadaşları, yüksek sıcaklıkta sabit yükte presleme yöntemi ile MMK malzemeler üretmişlerdir. Aşınma dayanımlı kobalt esaslı süper alaşım ve çelik matrislere, tungsten karbür (WC-Co 88/12) parçacıkların takviyesi sonrasında farklı deneylerle ara yüzey reaksiyonlarını araştırmışlardır. Matris fazının kimyasal kompozisyonunun, matris ile WC parçacıklar arasındaki ara yüzey reaksiyonlarını ve WC parçacıklarının yapısal olarak kararlılıklarına önemli derecede etkide bulunduğunu tespit etmişlerdir. Matris ve takviye fazı arasındaki ara yüzey reaksiyonlarının bazı özelliklerinin difüzyon hareketlerinin hesaplanması ile açıklanabileceğini belirtmişlerdir. Kompozitlerin üç boyutlu aşınma davranışlarını ASTM G65-91 standardına göre yapmış oldukları deneylerle belirlemişlerdir. Aşınma deneyi sonuçlarında, kobalt esaslı süper alaşım matrisli kompozitlerin diğer kompozitlere göre daha iyi performans gösterdiğini tespit etmişlerdir [12].

Lu ve arkadaşları, magnezyum esaslı MMK malzeme üretmek için matris içerisinde denge halinde Mg_2Si formunda takviye fazını oluşturmuşlardır. Bu işlem için reaksiyonla denge halinde faz oluşturma yöntemi (in-situ) ile mekanik karıştırma yaparak kompozit malzemeler üretmişlerdir. Karakterize ettikleri mekanik özelliklerden, magnezyum içerisindeki silisyum miktarının ve mekanik karıştırma zamanının arttırılması ile malzemenin eğilme ve çekme dayanımının iyileştiğini tespit etmişlerdir. Mekanik özelliklerdeki bu artışı, Mg_2Si fazının formu ve mikro yapının sağladığı katkıyla bağdaştırmışlardır. Ürettikleri kompozit malzemelerde yapmış oldukları mikroyapı incelemelerinden, mekanik karıştırma esnasında matris içerisinde oksit formunda oldukça iyi dağılmış, yapı olarak güçlü ve ince Mg_2Si

parçacıklarının, kompozitin mekanik özelliklerinin iyileşmesine neden olduğunu belirtmişlerdir [13].

Kompozitlerin üretiminde % 99 saflıkta yaklaşık olarak 180 ve 110 μm ebatlarında Mg, Al ve 30 μm ebadından daha küçük büyüklükte Si tozlarını kullanmışlardır. Matris fazının oluşturulması için Mg ve Al alaşımlarını sinterlemişler ve Mg içerisinde ağırlıkça % 9 Al olacak şekilde matris fazını elde etmişlerdir. Elde ettikleri bu matris fazına Si ilavesi yaparak ağırlıkça % 5, % 10 ve % 15 oranlarında Mg_2Si takviye fazını oluşturmuşlardır. Buna ilaveten Mg alaşımını da yalın halde matris fazı olarak kullanıp Si ilavesi ile % 5 oranında Mg_2Si takviye fazı oluşturarak farklı tipte kompozit malzemeler üretmişlerdir. Malzemelerin üretim işlemlerinde ilk olarak tüm karışımı iki konili öğütücü içerisinde, ağırlıkça % 3 oranında sitrik asit ilavesi ile 50 rev/min'da 1 saat karıştırmışlardır. Bu işlemin sonrasında 5 paletli bilyeli karıştırıcı içerisinde 250 rev/min karıştırma hızında, argon gazı koruyucu atmosferinde, karıştırma işlemine tabi tutmuşlardır. Karıştırma işleminde 40 adet 15 mm çapında sertleştirilmiş çelikten bilye kullanmışlardır. Bilye/toz oranı olarak da 20:1 oranını seçmişlerdir. Karıştırma işlemlerinin bitiminde hidrolik pres ve $Mo(SO_4)_2$ (Molibdenyum disulfat) yağlayıcı bileşiğini kullanarak soğuk presleme işlemine tabi tutmuşlardır. Sonuçta 35 mm çapında yaklaşık olarak 40 mm boyunda kompozit çubuk malzemeleri elde etmişlerdir. Elde edikleri bu kompozitleri 450 °C'de argon gazı koruyucu atmosferinde 2 saat sinterlemişlerdir. Sonrasında yüzeyleri kuru grafit yağlayıcı ile kaplayarak 400 °C de 30 dakika ısıtmışlar ve 25:1 oranında ekstrüze ederek kompozitlerin son formlarını vermişlerdir [13].

Üretmiş oldukları bu kompozitlerde yaptıkları incelemelerden;

- Kompozit yapı içerisindeki takviye fazı kristal büyüklüğünün bilyeli karıştırma işlem zamanı ile küçülürken, sinterleme ve ekstrüzyon işlemlerinde bir miktar tane büyümesinin olduğunu,
- Eğilme dayanımının, yapı içerisindeki Mg_2Si oranının artması ve bilyeli karıştırma işlem zamanının devam süresinin artmasıyla arttığını,

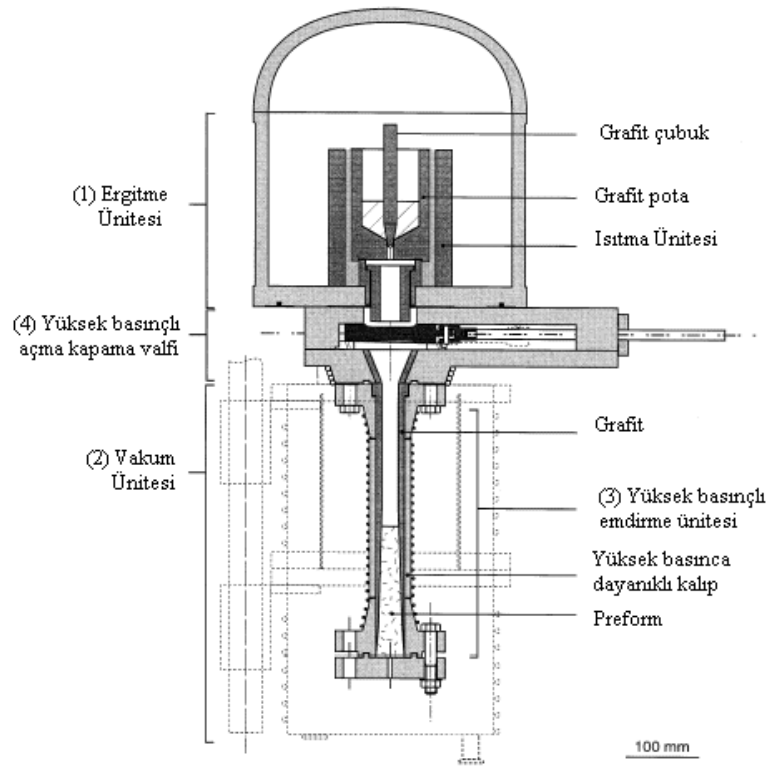
- Mekanik karıştırmanın ilk saatlerinden sonra Mg_2Si takviye formunun homojen olarak uzamasının arttığını belirtmişlerdir [13].

Hashim ve arkadaşları, MMK'lerin içerisinde yer alan takviye fazının dağılımının, homojen bir şekilde gerçekleşmesi için karıştırma işleminin etkili yapılmasının gerekli olduğunu vurgulamışlardır. Buna ilaveten takviye fazının karıştırma işleminin kapalı bir pota içerisinde yapılıyor olması nedeniyle parçacıkların homojen karışımının gözle algılanılamadığını, bu yüzden bir benzetim metodunun geliştirilmesine gerek duyulduğunu belirtmişlerdir. Bu amaçla sonlu elemanlar analiz yöntemi ile çalışan, sıvıların hareketlerini ölçümleyen özel bir paket program kullanarak benzetimini gerçekleştirmişlerdir. Bu sayede metal matris içerisinde yer alan parçacıkların karıştırma esnasında dağılımı ve hareketleri hakkında grafikler oluşturmuşlardır. Burada erimiş metal içerisindeki katı parçacıkların dağılımının homojen olması için uygun karıştırma şartlarının belirlenmesi üzerinde durmuşlardır [14].

Kullandıkları benzetim yöntemi ile pota içerisinde karıştırıcının pozisyonu ve karıştırma hızı gibi karıştırma parametrelerinin değişimi ile katı parçacıkların erimiş metal içerisindeki hareketlerini izleme olanağını elde etmişlerdir. Karıştırma parametrelerinin birbirini etkilediğini ve bazı şartlardaki deneylerde fiziksel özel durumların, geliştirmiş oldukları model benzetiminin sınırlı kalmasına neden olduğunu belirlemişlerdir. Bu durumlarda geliştirdikleri modelin doğruluğunu görsel deneylerle ispat etmişlerdir. Kullandıkları modelin MMK malzemelerin üretim parametrelerinin belirlenmesi için uygun bir yöntem olduğunu savunmuşlardır [14].

Carreno-Morelli ve arkadaşları, erimiş metalin seramik takviye elemanlarına tek yönlü emdirilmesi yöntemi ile çalışan, MMK malzeme üretiminde kullanılan bir sistem tasarımı yaparak, MMK malzeme üretimini gerçekleştirmişlerdir. Bu MMK üretim sistemi ile kısa veya uzun seramik fiberlere, alüminyum ve magnezyum alaşımlarını emdirerek MMK malzemeler üretmişlerdir. Tasarımı ve üretimini gerçekleştirdikleri MMK üretim ünitesini, farklı alaşım ve takviye elemanları ve değişik işlem parametrelerini (emdirme basıncı, fiber içeriği, erimiş metal sıcaklığı,

kalıp ön ısıtma sıcaklığı ve katılaşma hızı gibi) kullanarak test etmişlerdir. Üretim örneği olarak da Al_2O_3 (saffil) fiberlerden kırpılarak önceden hazırlanmış kalıp içerisindeki form üzerine, Al–4wt.% Cu–1wt.% Mg–0,5wt.% Ag içerikli alüminyum alaşımını kontrollü işlem parametreleri ve 1 MPa ila 3 MPa arasında gaz basıncı uygulayarak tamamıyla matrisle emdirilmiş numuneler elde etmişlerdir. Elde ettikleri numunelerin mikroyapı ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Yapmış oldukları mikroyapı ve mekanik özellik testleri sonucunda, Al–4wt.% Cu–1wt.% Mg–0,5wt.% Ag/Al_2O_3 fiber takviyeli metal matrisli kompozit malzeme için optimum üretim şartlarının 750 °C ergime ve kalıp içi form sıcaklığı ve maksimum 3 MPa basınç uygulayarak tam emdirme işleminin başarıyla gerçekleştirilebildiğini belirtmişlerdir. Yapmış oldukları ön hazırlık üretimleri sonucunda gaz basıncı ile emdirme yönteminin uzun fiber ve hybrid metal matrisli kompozitlerin üretiminde kullanılabilecek başarılı bir yöntem olduğunu vurgulamışlardır. Kullanmış oldukları, sıvı metal emdirme yöntemi ile kompozit malzeme üretimini gerçekleştiren üretim ünitesi, Şekil 2.1'de görülmektedir [15].



Şekil 2.1. Sıvı metal emdirme yöntemi ile kompozit malzeme üretimini gerçekleştiren ünitenin şematik şekli [15]

Daoud ve Abo-Elkhar, sıvı karıştırma yöntemini kullanarak farklı Alüminyum alaşımlarına (Al7Si0,3Mg, Al3Ni, Al6Ni, Al9Ni), Al_2O_3 ve ZrO_2 seramik parçacıklarını ilave ederek metal matrisli kompozit malzemeler üretmişlerdir. MMK'lerin üretimlerinde şu işlemleri uygulamışlardır. Yaklaşık olarak 400 gr ağırlığındaki matris alaşımını, ergime ısısının 50 °C üzerinde ön ısıtılmış bir ergitme fırını içerisine koyarak, ortamda koruyucu atmosferin oluşumu için 3 dakika boyunca sürekli olarak nitrojen gazı göndererek, matris yüzeyinin oksitlemesini engellemişler ve sıvı hale geçmesini sağlamışlardır. Ergimiş matris ısısının 100 °C üzerine çıkıldığında, karıştırıcıyı ortama koyarak ve 700 rev/min karıştırma hızını kullanarak, elle takviye fazının (Al_2O_3 ve ZrO_2) ilave işlemini gerçekleştirmişlerdir. Karıştırma işlemini takiben 200 °C ön ısıtılmış 30 x 40 mm^2 dökme demir kalıp içerisine karışımı dökerek MMK'lerin üretimlerini gerçekleştirmişlerdir [16].

Ürettikleri kompozit malzemelerin mikroyapı incelemeleri sonrasında, α-Al'un tüm kompozitlerde takviye elemanlarının üzerinde çekirdeklenmediğini saptamışlardır. Parçacıkların genelde alüminyum matrisin son katılaşan kısımlarında parçacık tipi ve boyutuna bağlı olmadan yerleştiğini gözlemişlerdir. Bu sebepten dolayı matris-seramik takviye elemanı arasında termal difüzyona uygunluğun olmadığını vurgulamışlardır. Tarama elektron mikroskobu ile yaptıkları incelemeler sonrasında, AlSi alaşımı içerisinde takviye elemanlarının ötektoit silisyum üzerinde değişiklik yapma eğilimde olduğunu saptamışlardır. Aynı zamanda AlNi alaşımına parçacıkların ilavesi ile elde edilen kompozitlerde dikkate değer bir $NiAl_3$ fazının oluşumunun gözlenmediğini belirtmişlerdir. Fakat bu ifadenin Ni içeriği düşük olan matrislerde geçerli olduğunu vurgulamışlardır [16].

Davidson ve Regener, yapmış oldukları çalışmada kaplamalı ve kaplamasız SiC parçacıklarla takviyeli, alüminyum esaslı MMK'lerin mikroyapı ve mekanik özellikler bakımından kıyaslamasını yapmışlardır. Matris malzemesi olarak AA-6061 alaşımını ve takviye elemanı olarak farklı ebatlarda kaplamasız ve bakır kaplı SiC parçacıkları kullanmışlardır. MMK malzeme üretimini aşağıdaki işlem basamaklarını yerine getirerek gerçekleştirmişlerdir [17].

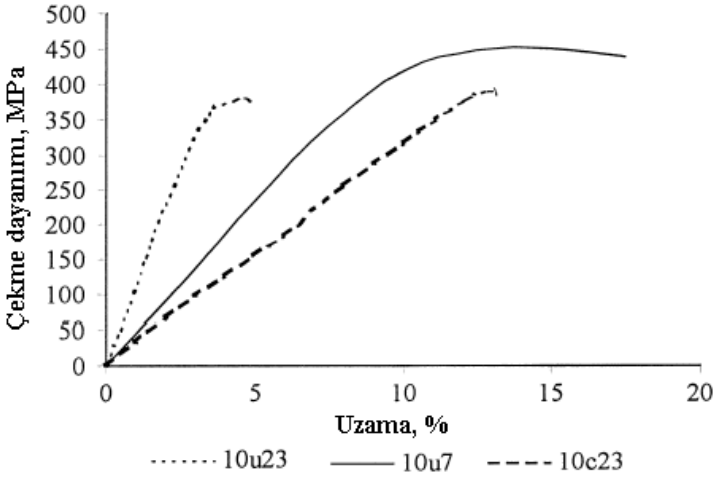
MMK'lerin üretiminde toz metalurji yöntemini kullanmışlardır. Üretiminde ilk olarak toz halindeki 45 µm büyüklüğünde AA-6061 alaşımı ve ortalama 23 µm ve 7 µm büyüklüğünde SiC parçacıklarının hazırlıklarını tamamlamışlardır. Kaplamalı SiC parçacıklarını elde etmek için akımsız biriktirme ile kaplama yöntemini kullanmışlardır. Bu yöntemin SiC parçacıklar üzerinde sırasıyla; asitle dağlama, hassalaştırma, aktifleştirme ve kaplamadan oluştuğunu bildirmişlerdir [17].

Üretim işlem basamakları; SiC parçacıklarının ve toz AA-6061 alaşımının temini, kaplamalı SiC parçacıklarının kaplama işleminin gerçekleştirilmesi, alüminyum alaşımının ağırlık oranının tespiti, kaplamasız ve kaplamalı SiC parçacıklarının ağırlıkça yüzde oranına göre ağırlıklarının tespiti, takviye elemanlarının ağırlıkça % 10 oranında matris fazı içerisine mekanik olarak karıştırılması, karışımın çift taraflı kalıp içerisine koyulması, kalıbın 385 MPa basınçta 5 dakika preslenmesi ve basınçsız olarak kalıp içerisinde 610 °C'de 5 saat boyunca sinterlenmesi, 530 °C'de 1 saat bekletme, hızlı olarak soğutma işlemi ve ürünün 8 saat boyunca 178 °C de yaşlandırma işlemine tabi tutulması gibi işlemlerin yapıldığını belirtmişlerdir. Bu üretim yöntemi ile düşük maliyetli ve kolay üretilebilir kompozit malzemeler ürettiklerini vurgulamışlardır [17].

Üretmiş oldukları kompozit malzemelerin mikroyapı incelemeleri ve mekanik özelliklerini belirlemişlerdir. Mikroyapı özelliklerini, ikincil ve Backscatter teknikleri ile görüntü almaya olanak tanıyan taramalı elektron mikroskobu ile gerçekleştirmişlerdir. Mikroyapı incelemeleri sonucunda, basınçsız bir üretim tekniğini kullanmaları nedeniyle numunelerde % 2 oranında gözenek (gaz boşluğu, porozite) oluştuğunu belirtmişlerdir. Matris malzemesinin kimyasal içeriğini belirlemek için kimyasal yapı analizi yapmışlar ve alaşımın alüminyum, silisyum, demir, krom'dan oluştuğunu tespit etmişlerdir [17].

Çekme deneylerinde kullandıkları numunelerin ayrımının yapılabilmesi için her numuneye yüzde takviye oranı, kaplamalı veya kaplamasız olduğu ve parçacık boyutunu belirten bir kodlama şekli geliştirmişlerdir. Örneğin; 10u23 şeklinde kodlanmış numune, 23 µm boyutunda ağırlıkça % 10 kaplamasız SiC parçacıkla

takviye edilmiş kompozit malzemeyi belirtmektedir. Çekme deneyleri sonucunda bakır kaplamalı ve kaplamasız 23 μm boyutlarındaki SiC ve 7 μm boyutlarındaki kaplamsız SiC parçacıklarla takviyeli kompozit malzemelerin mekanik özellikler bakımından karşılaştırmasını yapmışlardır [17]. Elde ettikleri deney sonuçları Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Davidson ve Reneger'in mekanik özelliklerin belirlenmesinde kullandıkları çekme numunelerinin test sonuç grafiği [17]

Yapmış oldukları SEM incelemeleri ve mekanik testler sonucunda bakır kaplamanın, matris ile takviye elemanı arasındaki ara yüzey bağının kuvvetlenmesini sağladığını ve yük iletiminin kaplama ile daha iyi olduğunu, parçacıkların darbe dayanımının yükseldiğini tespit etmişlerdir. Parçacık boyutu 23 μm ebadında olan kaplamalı ve kaplamasız SiC parçacıklarla takviyeli kompozitleri birbiriyle kıyaslandıklarında; bakır kaplı SiC takviyeli kompozitlerin daha iyi performans sergilediğini belirtmişleridir. Fakat kaplamasız 7 μm boyutlarındaki SiC parçacıklarla takviye edilmiş kompozitin çekme dayanımının daha iyi olduğunu vurgulamışlardır [17].

Pagounis ve Lindroos, MMK'lerin düşük yoğunluklarına karşı yüksek dayanım özelliklerinden dolayı uzay ve otomotiv sanayisinde yaygın kullanım alanlarına sahip olduklarını yinelemişlerdir. Bu güne kadar metal matrisli kompozit malzemeler üzerine yapılan çalışmalarda, genelde matris malzemesi olarak alüminyum ve magnezyum gibi hafif metallerin yaygın kullanım alanı bulduğunu, fakat çelik

matrisli kompozitler üzerine yapılan araştırmaların sınırlı olduğunu belirtmişlerdir. Yapmış oldukları çalışmada yüksek sıcaklıkta sabit yükte presleme tekniğini kullanarak MMK malzeme üretimini gerçekleştirmişler ve takviye fazının matris içerisinde dağılımı, matris-takviye fazı arayüzey reaksiyonları, kompozitlerin mekanik özellikleri ile aşınma özelliklerini incelemişlerdir. Matris malzemesi olarak paslanmaz çelik ve sıcak iş takım çeliğini kullanmışlardır [18]. Kullandıkları takviye elemanları Al_2O_3, TiC, Cr_3C_2, ve TiN'dür. Çizelge 2.1 ve Çizelge 2.2'de kullanmış oldukları matris fazları ve takviye elemanlarına ait bilgiler sunulmuştur. İki farklı tip ana çelik matris grubunu seçmişlerdir.

Çizelge 2.1. Kompozit malzeme üretiminde kullandıkları matrislerin kimyasal içeriği [18]

Çelik Matris Tipi	**Kimyasal İçerik, (% Ağırlık)**	**Tane Boyutu, (µm)**
Paslanmaz çelik (SS)		
Ferritik-östenitik (dublex)	26 Cr–6,6 Ni–3,3 Mo–1,1 Mn–2,5 Cu–0,36 Si–0,02 C–0,22 N–Fe	<75 (İnce) 75–250 (Kaba)
Östenitik (316L)	17 Cr–12 Ni–2,5 Mo–1,6 Mn–1,0 Si–0,1 C–Fe	<75
Süperöstenitik (654 SMO)	24 Cr–22 Ni–7,3 Mo–3,5 Mn–0,5 Cu–0,3 Si–0,01 C–0,5 N–Fe	<75
Takım Çeliği		
Yüksek hız çeliği	4,2 Cr–5,0 Mo–6,3 W–3,1 V–1,3 C– Fe	<106
Sıcak iş çeliği	4,9 Cr–1,6 Mo–0,6 V–0,35 C–Fe	<106
Beyaz çelik	26 Cr–2 C–Fe	<150

Çizelge 2.2. Kompozitlerin takviye işleminde kullandıkları seramik takviye elamanlarının özellikleri [18]

Takviye elemanı		**Al_2O_3**	**TiC**	**Cr_3C_2**	**TiN**
Parçacık boyutu (µm)	**İnce**	44–74	5,6–22,5	5–25	5–36
	Kaba	105–149	44–105	45–125	20–36

Kompozitlerin üretiminde kullanılan üretim yöntemi; toz metalurji yöntemi ile yüksek sıcaklık ve sabit yük altında preslemeyle kompozit malzeme üretim yöntemidir. Bu yöntem karıştırma ünitesi ve kompozit üretim ünitesinden oluşmaktadır. İlk olarak seramik ve metal toz karışımını karıştırma ünitesinde, düşük yoğunluklu seramik parçacıkları topaklanmadan korumak için ağırlıkça % 4 oranında

etanol kullanarak (Cr_3C_2 seramiği kuru ortamda karıştırmışlardır, çünkü yoğunluk bakımından metal tozlarına yakın bir yoğunluğa sahiptir) mekanik alaşımlama işlemine tabi tutmuşlardır. Karışımı, karıştırma işlemi sonrasında 18 saat boyunca orta karbonlu çelik kapsül içerisinde kurutmuşlardır. Daha sonra kapsül kaynak yardımı ile kapatılmıştır. Sonrasında 3 saat boyunca 500 °C'de sabit yükte presleme üniteli fırında bekletmişlerdir. Devamında 1180 °C, 100 MPa basınç altında 3 saat boyunca sinterleme işlemine tabi tutmuşlardır [18].

Üretmiş oldukları tüm kompozit malzemeleri, takviye edilmemiş matris fazı ve alüminyum ve magnezyum matrisli kompozit malzemelerle karşılaştırmışlardır. Sonuçları değerlendirdiklerinde, çelik matrisli kompozitlerde, seramik parçacıklarla takviye edilmiş kompozitlerin seramik hacim oranının artmasıyla doğru orantılı olarak, dikkate değer bir şekilde aşınma direncinin arttırdığını vurgulamışlardır. Fakat çekme dayanımı, süneklik ve tokluk dayanımında matrise göre azalmanın olduğunu belirtmişlerdir. Üretilen kompozit malzemelerden TiN ile takviye edilmiş süper-östenitik paslanmaz çelik ve Cr_3C_2 ile takviye edilmiş sıcak iş takım çeliğinin diğerlerine nazaran daha iyi özellikler sergilediğini tespit etmişlerdir [18].

Peng ve arkadaşları, alüminyum matrisli kompozit malzemelerin üretiminde, mekanik özellikleri geliştirici, modifiye edilmiş kısa fiber takviyeli platform kullanan, basınçlı emdirme yöntemini kullanmışlardır. Fiberlerin düzenlenmesinde rasgele yönlenmiş alümina fiber demetlerini, sinterleme, fosforik asit ile ısıtma, fosforik asit ve alüminyum hidroksitle ısıtma ön işlemleri sonrasında, alüminyum tozlarını kalıp içerisindeki forma emdirerek sinterlemişlerdir. Bu işlemler sonrası elde ettikleri kompozit malzemeler üzerinde yapmış oldukları incelemeler, fosforik asit çözeltisinin kullanılmasıyla platform içerisindeki fiberler üzerine kendiliğinden bir etkileşim bağı oluşturduğunu ve bu yüzden kompozitin dayanımının kötü yönde etkilendiğini fark etmişlerdir. Bunun ana nedeni olarak da kullanılan bu karışımın fiberler üzerinde kimyasal reaksiyona neden olarak onlara zarar verdiğini belirtmişlerdir. Bu nedenin oluşmaması için fosforik asit ve alüminyum hidroksitle ısıtma işlemiyle çapraz bağ oluşturmuşlardır. Bu sayede laboratuar şartlarında üretmiş oldukları bu kompozitlerde süneklik ve elastikiyet modülü göz ardı

edildiğinde yüksek çekme dayanımlı fiber güçlendirmeli kompozit ürettiklerini belirtmişlerdir [19].

Jeong ve arkadaşları, genellikle cep telefonlarında kullanılan Li-ion bataryalarının üretimi için Al/SiC parçacık takviyeli kompozitleri anot (– kutup), Lityum'u da katot (+ kutup) olarak kullanarak yeni bir enerji depolama pili geliştirmişlerdir. Al/SiC parçacık takviyeli kompozitlerin üretimlerini bilyeli karıştırma yöntemini kullanarak üretmişlerdir. Üretmiş oldukları anot kompozit malzemede SiC parçacıklarının homojen bir şekilde dağılım sergilediğini belirtmişlerdir. Kompozit malzemeden kullanılan elektrotun çalışma devresi performansının takviye edilmemiş alüminyum alaşımına nazaran kat kat iyi olduğunu tespit etmişlerdir. Bunun nedeninin de kompozit malzemeden yapılış elektrotun mekanik özelliklerinin daha iyi olmasına bağlamışlardır [20].

Li ve arkadaşları, NiO ve Al_2O_3 tozlarının karışımından, hacimce % 4 oranında Al_2O_3 seramik parçacık takviyeli kompozitleri hidrojen indirgemesi ve sıcak presleme yaparak, bilyeli karıştırma ve kaplama yönteminden oluşan iki farklı yolla üretmişlerdir. Üretmiş oldukları kompozitlerin mikroyapı özelliklerini, toz karışımlarının sinterleme davranışlarını ve kompozitlerin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Kompozitleri, toz halindeki karışımı teorik olarak % 98 hacim yoğunluğuna ulaşıncaya kadar bilyeli karıştırma sonrasında 1450 °C'de ve yine 1400 °C'de kaplama yöntemini kullanarak hidrojen indirgemesi altında, basınçla presleyerek üretmişlerdir. Yapmış oldukları mikroyapı incelemelerinden parçacık dağılımının homojen olduğunu gözlemlemişlerdir. Kullanmış oldukları iki üretim yöntemini kıyasladıklarında bilyeli karıştırma sonrasında sıcak presleme yöntemi ile elde edilen kompozitlerin diğer yöntem ile elde edilen kompozitlere göre tokluklarının yüksek, fakat dayanımlarının düşük olduğunu tespit etmişlerdir. Bu kompozitlerdeki tokluğun iyileşmesine neden olarak çatlak ilerlemesinin takviye fazı tarafından durdurulması ve dallanmasının olduğunu belirtmişlerdir. Dayanımın değişimini mikroyapı incelemelerinden ve kompozitlerin kırılma modeli sonuçlarından yorumlamışlardır. Deneyler sonucunda kaplama metodu ile ürettikleri kompozitlerde elde ettikleri dayanım ve tokluk değerlerinin standart sapmalarının

değerlendirmesi sonucunda gerçeğe yakın ve uygun değerlerin tespit edilebildiğini belirtmişlerdir [21].

Seo ve Kang, sıvı metal karıştırma-sıkıştırmalı döküm yoluyla MMK üretilmesinde en iyi mekanik özellikleri veren optimum basınç miktarının bulunmasına yönelik bir çalışma yapmışlardır. Al-Si alaşımı matris malzemesi ve SiC parçacıkları takviye elemanı olarak kullanmışlardır. 70, 100 ve 130 MPa basınç uygulayarak ürettikleri MMK malzemeleri, çekme deneylerine tabi tutmuşlardır. Matris ve takviye elemanı arasındaki ıslanabilirliğin ve bağ kuvvetinin uygulanan basınçla iyileştiği ve de çekme dayanımının % 10 arttığı tespit etmişlerdir. Çalışmalarında, en yüksek dayanımı 100 MPa basınç uygulayarak ürettikleri MMK malzemelerde elde etmişlerdir. Ayrıca, 130 MPa basınç uygulanarak üretilen kompozitlerde parçacıkların çoğunun kırıldığı ve parçalandığını bildirmişlerdir [22].

Lee ve arkadaşları, Al-% 4,5 Mg alaşımını basınçsız sıvı metal emdirme yöntemini kullanarak bor nitrit (BN) parçacıkları ile takviyeli ve takviyesiz olarak üretmişlerdir. Üretmiş oldukları malzemelerin çekme dayanımı özelliklerini ve mikroyapılarını incelemişlerdir. Kompozit malzemelerin üretilmesinde, matris fazının takviye fazına emdirilmesinde matrisin kendiliğinden yerçekiminden kaynaklanan sızma özelliğini kullanmışlardır. Bu olayın gerçekleşmesi için matris fazının nitrojen koruyucu atmosferinde 800 °C'de 1 saat ısıtılmasının hem BN takviyeli kompozitlerin hem de alaşım kontrollü takviyesiz matrisin üretilmesi için yeterli olduğunu belirtmişlerdir. Alaşım kontrolü yaparak takviye elemanına emdirmeden üretilen matris alaşımının, içerisinde AlN ince partiküllerin oluşması nedeniyle dayanım özelliklerinin ham matrise göre iyileştiğini gözlemlemişlerdir. Yine BN parçacıklara matris fazının emdirilmesi sonucunda elde edilen kompozitlerde, matris ve takviye fazı arasında reaksiyon sonucu dengede AlN ara yüzey bağının oluştuğunu bildirmişlerdir. Buna ilaveten, hacimce % 7,5 oranında 4 μm'den daha küçük BN takviye parçacıkların kompozit yapı içerinde var olması matrisin tane büyüklüğünü incelttiğini belirtmişlerdir. Sonuçta, tane yapısının incelmesi ve BN takviye fazının ve AlN ara yüzey bağının varlığı nedeniyle kompozitin dayanım özelliklerinin iyileştiğini tespit etmişlerdir [23].

Tham ve arkadaşları, Al/SiC kompozitlerin, matris–takviye fazı ara yüzey reaksiyonlarının dayanım özellikleri üzerine etkilerini farklı bir yaklaşımla araştırmışlardır. Kompozitlerin üretimleri esnasında, matris ve takviye fazı arasındaki temas süresi bakımından farklı ara yüzey mikroyapısına sahip, iki tipte kompozit malzeme üretmişlerdir. Takviye ve matris ara yüzeyinde ince bir Al_4C_3 reaksiyon katmanının oluşması ile kompozitin akma ve çekme dayanımının, çalışma sertleşmesi hızının ve çalışma dayanımının arttığını ve kırılma modeli bakımından arayüzey katmanının değişime uğramadan parçacık kırılması şeklinde oluştuğunu vurgulamışlardır. Kompozitte gözlenen bu iyi gelişmeleri arayüzey bağının iyi olmasına atfetmişlerdir. Arayüzey katmanının Al_4C_3 şeklinde kendiliğinden oluşma eğiliminde olduğunu ve matris ile SiC parçacıklar arsında mekanik bir kilitleme yaptığını belirtmişlerdir. Kompozitlerde arayüzey bağının güçlü olması ile plastik deformasyon katsayının arttığını ve bununda çalışma setleşmesine ve matris fazının tane yapısına etkide bulunarak yapı hatalarının oluşmasının kolaylaştığını, bununla birlikte de kompozitin sünekliğinin azaldığını bildirmişlerdir [24].

Özdemir ve arkadaşları, iki farklı hacim içeriğinde SiC parçacıklarla takviyeli Al-% 5Si-% 0,2Mg içerikli alüminyum alaşımlı kompozitleri ve takviye edilmemiş matris fazını üretmede döküm kalıplama yöntemini kullanmışlardır. Malzemeleri dikdörtgen prizma şeklindeki kalıp içerisinde döktükten sonra iki aşamalı basınç uygulayarak üretmişlerdir. Her iki basamakta da kalıp kapalı halde iken uygulanan basınçla malzeme kalınlığının % 50 inceldiğini gözlemişlerdir. Kullanmış oldukları üretim yöntemi ile elde ettikleri işlem görmüş matris alaşımı ve kompozitlerin sade döküm ve sıkıştırmalı döküm sonrası numunelerinde mikroyapı ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Sıkıştırmalı üretimle elde ettikleri yapıları, sade dökümle kıyasladıklarında, SiC parçacıklarının ve ötektik silisyumun homojen dağıldığını belirtmişlerdir. Bunun yanında basınçla üretilen numunelerin sade dökümle üretilenlere nazaran dayanım özelliklerinin de mükemmel olduğunu tespit etmişlerdir. Sıkıştırmalı üretimle elde edilen numunelerin diğer yöntemle elde edilen numunelere nazaran akma dayanımın % 80 oranında, çekme dayanımın ise % 40 oranında iyileştiğini belirtmişlerdir. Buna ilaveten, SiC parçacık ilave miktarının artması ile sünekliğin azaldığını ve akma ve çekme dayanımının optimum parçacık

içeriğine kadar arttığını, sonrasında ise yine dayanım ve sünekliklerinin de azaldığını bildirmişlerdir [25].

Blucher ve arkadaşları, sürekli elyaf takviyeli MMK tel üretimi üzerine yeni bir uygulama geliştirmişlerdir. Bu MMK tel üretiminde tel çapı 0,5-1,6 mm arasında olan Al_2O_3, SiC, Si-TiC ve karbon fiberleri kullanmışlardır. Matris malzemesi olarak alüminyum alaşımlarından AA-2014 ve AA-6061 kullanılmış ve kompozit tel üretim ünitesinde bu matris alaşımları argon gazı koruyucu atmosferinde ergitilerek, fiberlerin ergiyik içerisinden yaklaşık olarak 0,3 m/sn' de geçişi sağlanmış ve yüzde 0,50-0,65 fiber içerikli MMK tel üretimini gerçekleştirmişlerdir. Ürettikleri bu MMK tellerin mekanik özellikleri bakımından benzerleriyle karşılaştırmasını yapmışlar, sonuç olarak benzerlerine nazaran çok iyi mekanik özelliklere sahip MMK teller ürettiklerini belirtmişlerdir [26].

Han ve arkadaşları, denge halinde TiB_2 parçacıklarla takviye edilmiş ötektik Al-Si bazlı kompozitlerin üretiminde ergimiş metal reaksiyon (melting reaction composites-MRC) oluşturma yöntemini kullanmışlardır. Kullandıkları bu yöntemde, 1 dakika içerisinde 1 μm'den daha küçük TiB_2 partiküllerinin homojen olarak ötektik yapı içerisinde dağıldığını gözlemişlerdir. α-Al içersinde TiB_2 partikül oluşumunun oldukça az olmasına karşın ötektik Si içerisinde daha iyi olduğunu görmüşlerdir. Al-Si alaşımı içerisinde yer alan denge halindeki TiB_2 partiküllerinin, alaşımın çekme dayanımını artırdığını tespit etmişlerdir. Dayanımın TiB_2 partikül miktarının artmasıyla doğru orantılı olarak arttığını belirtmişlerdir. Maksimum çekme dayanımının (ultimate tensile strength-UTS) döküm kompozitte (% 6 TiB_2/Al-Si-Mg) oda sıcaklığında 296 MPa olduğunu tespit etmişlerdir. Bu değerde matrise göre % 14,7 artışın olduğunu belirtmişlerdir. Aynı zamanda yüzde uzamada da % 5,5 iyileşme olduğunu tespit etmişlerdir. Kompozite T6 ısıl işlemi uygulanmasından sonra kompozitin maksimum çekme dayanımının 394 MPa çıktığını belirtmişlerdir. Mikroyapı incelemeleri ile kompozit içerisinde yer alan TiB_2 partiküllerin 1 μm'den daha küçük şekilde oluşarak Al-Si faz içerisinde dağıldığını ve ötektik Si ile bağlantılı olarak yerleştiğini gözlemişlerdir. Soğuma esnasında TiB_2 partiküllerinin

yapı içerisindeki fazların oluşumunu etkilediğini belirtmişlerdir. TiB_2 parçacıkların kompozitin çekme dayanımını ve yüzde uzama katsayısını artırdığını vurgulamışlardır. Kompozite uygulanan ısıl işlem sayesinde kompozitin morfolojisini değiştirerek dayanım özelliklerinin iyileştirildiğini belirtmişlerdir [27].

Tsunekawa ve arkadaşları, denge halinde faz oluşturarak kompozit malzeme üretme yöntemine ultrasonik titreşim ilavesi yaparak takviye fazının üretim esnasında yeni bir form olmasını sağlamışlardır. Kullanmış oldukları bu yöntemin MMK parçaların üretiminde ana üretim metodu olmasının beklentisi içerisindedirler. Çünkü üretmiş oldukları kompozit malzemeler de termodinamik yönden dengelenmiş takviye fazlarının oluştuğunu ve üretim için kullanılan ham maddenin oldukça ucuz olan SiO_2 parçacılar olduğunu belirtmişlerdir. Ancak kullanmış oldukları üretim yönteminin avantajlarının yanında bir takım dezavantajlarının da olduğunu vurgulamışlardır. Bunlar; üretim zamanının uzun olması, SiO_2 parçacık transferinin yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilmesi, SiO_2 parçacıklarının ıslatılmasının zorluğu gibi dezavantajlarının olduğunu belirtmişlerdir. Parçacıkların Al-Mg alaşımı tarafından ıslatılmasının kolaylaştırılması için elektro magnetik karıştırma yöntemini kullanarak çözüm yolunu geliştirmişlerdir. SiO_2 parçacık ilavesini bir oksijen tüpü kullanarak ortama gaz hızı ile ilave etmişlerdir. Ultrasonik titreşim ve elektro manyetik karıştırma işlemleri ile SiO_2 parçacılarının ergimiş Al alaşımı içerisinde transferinin kolaylaştığını tespit etmişlerdir. Aynı zamanda oksijen gazı ile birlikte takviyenin ilave işleminin yapılmasıyla da parçacıkların Al alaşımı ile ekzotermal (ısıveren) reaksiyonlu olarak birleşmesini sağlamışlar ve bununda erimiş matrisin ısısının artmasına neden olduğunu belirtmişlerdir. SiO_2 parçacıların ilave işlemi esnasında $MgAl_2O$ ve Al_2O_3 formunda denge halinde oksit takviye elemanlarına dönüştüğünü tespit etmişlerdir. Buna ilaveten ultrasonik titreşimin uygulanmasıyla SiO_2 parçacıların sadece ilave işleminin gerçekleştirilmesi ve SiO_2'lerin reaksiyon hızının artması değil aynı zamanda atmosferik gazlar tarafından meydana gelen reaksiyonların azalmasına da katkıda bulunduğunu belirtmişlerdir. Matris malzemesi olan Al-Mg alaşımının SiO_2 parçacıların reaksiyonu sonucu üretim sonrasında Al-Si alaşımına dönüştüğünü bildirmişlerdir [28].

Yano ve arkadaşları, çalışmalarında sürekli SiC fiberlerle takviye edilmiş seramik esaslı kompozitlerin en önemli kullanım alanlarından birisinin de füzyon reaktörlerinin olacağını vurgulamışlardır. Günümüzde SiC/SiC_F takviyeli kompozitlerin üretimlerinin sadece kimyasal buhar emdirme (CVI) yöntemi ile başarıyla üretilebildiğini belirtmişlerdir. Bu yöntemin ise oldukça fazla özen isteyen pahalı bir yöntem olduğunu vurgulamışlardır. Aynı zamanda bu yöntemle üretilen kompozitlerde % 10 ~ % 20 arasında porozitenin oluştuğunu ve bu yüzden mekanik özelliklerinin de kötü yönde etkilendiğini bildirmişlerdir. Bu yüzden çalışmalarında, geleneksel sıcak presleme yöntemini kullanarak, yüksek yoğunluk dayanımlı kompozitlerin üretimini gerçekleştirmeyi amaçlamışlardır. Kompozit malzemelerin üretimini SiC plakaları ve Nicolon ya da Hi-Nicolon kullanarak iki boyutlu örgüyü, hiçbir kaplama ya da bağlayıcı kullanmadan yüksek sıcaklıkta 1750 C^o 40 MPa basınç ve argon gazı ortamında presleme işlemine tabi tutarak üretmişlerdir. Üretmiş oldukları kompozit plakaların hacme bağlı yoğunluğunun, % 66 ~ % 99 arasında değişim gösterdiğini bildirmişlerdir. Nicolon içerikli kompozitler ile Hi-Nicolon içerikli kompozitleri oda sıcaklığında mekanik yönden karşılaştırdıklarında Hi-Nicolon kompozitin daha iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir [29].

Sürekli SiC fiberlerle takviyeli SiC seramik esaslı kompozitlerin geleceğin füzyon reaktörlerinde kullanılmalarına neden olarak; düşük atomik sayılarını, aktivasyonlarının düşük olmasını, kırılma dayanımlarının yüksek, termal genleşme katsayılarının düşük ve yüksek sıcaklıklarda korozyon dayanımlarının mükemmel olmasını göstermişlerdir. Buna ilaveten SiC'ler, reaktörlerdeki yüksek orandaki nötron parçalanmalarına karşın iyi bir dayanım sergilemektedir. SiC/SiC_f takviyeli kompozitlerin üretiminde genellikle Cu ve inorganik polimerlerin infiltrasyon yöntemi kullanılmaktadır. Bu üretim yöntemleri ile üretilen kompozitlerde ise genellikle % 10 ~ % 20 oranları arasında porozite oluşmakta ve sinterleme yöntemi ile kıyaslandığında oldukça düşük mekanik özelliklere sahip olduğu görülmektedir [29].

CVI yöntemi SiC_f'ler üzerine SiC fiberlerin yüksek sıcaklıklarda ısıtılmasına gerek duymadan matrisin emdirilmesinde bilinen mükemmel yöntemlerden birisidir. Fakat

CVI yönteminde oldukça ön hazırlık ve teorik hesap istemesi, üretim esnasında biriktirme hızının düşük olması ve üretim maliyetlerinin oldukça fazla olması gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Bu yüzden SiC/SiC_F kompozitlerin üretiminde yeni yöntemlerin geliştirilmesi oldukça dikkat çekmektedir. Yano ve arkadaşları, bu açığı görerek geleneksel sıcak presleme yöntemi ile SiC/SiC_F kompozitlerin üretimlerini kolaylaştırmaya çalışmışlardır. Geliştirmiş oldukları bu üretim işlemi ile SiC partikülleri değişik malzemelerle ilaveler yaparak sinterlemeyi kolaylaştırmaya çalışmışlardır. Bunlar B_4C, C, Al ve B'dur. Tüm bu toz haldeki karışımları 24 saat boyunca ethanol ile birlikte bilyeli bir karıştırma mekanizması içerisinde karıştırma işlemine tabi tutarak argon gazı atmosferinde 1700 ºC-1800 ºC sıcaklığında 1~2 saat boyunca 30 MPa basınçta sinterlemişlerdir. Sonrasında Arşimet yöntemini kullanarak, üretilen matrisin yoğunluğunu tespit etmişlerdir. Sinterleme sonrasında matris ağırlıkça % 3 Al, % 1,4 C ihtiva etmiştir. Sinterlenmiş haldeki bu SiC karışımı doktor bıçağı yöntemi diye adlandırılan yöntemle, ince plaka matris üretimini gerçekleştirmişlerdir. Sonrasında matris plakaları yüksek basınç altında presleyerek plaka takviyeli seramik esaslı kompozitleri üretmişlerdir [29].

Hashim ve arkadaşları, MMK'lerin kendilerine özgü dayanım özellikleri ve yüksek aşınma dirençleri nedeniyle endüstriyel uygulamalarda vazgeçilmez bir malzeme grubunu oluşturduğunu yinelemişlerdir. MMK'lerin sahip oldukları bu özelliklerin, bünyelerinde var olan takviye elemanlarının tipine, şekline ve miktarına bağlı olduğunu, bunun yanında da matris fazının özelliklerinin de etkili olduğunu belirtmişlerdir. Kompozitlerin özel uygulamalar için çok büyük bir potansiyele sahip olduğunu da belirtmişlerdir. Genel amaçlı kullanımlarının ise günümüzde kısıtlı kaldığını belirterek, bunun nedenini de üretimlerinin yüksek maliyetli olmasına bağlamışlardır. Bununda yüksek kaliteli kompozitlerin üretilmelerinde kullanılan tekniklerin oldukça fazla pahalı olmasından kaynaklandığını bildirmişlerdir. Yapmış oldukları bu çalışmada MMK'lerin düşük maliyetle üretilmesini sağlayan ergimiş metal karıştırma yöntemini, SiC/Al alaşımlı kompozitlerin üretimini inceleyerek değerlendirmişlerdir. Kompozitlerin üretimlerinde karşılaşmış oldukları zorlukları, takviye fazının homojen dağılımı, matrisin ıslatabilirliği ve gözenek oranı düşük bir malzeme elde etme gibi faktörleri inceleyerek tartışmışlardır [30].

Lee ve arkadaşları, MMK'lerin seramik takviye elemanları ile güçlendirilmelerinde ara yüzey reaksiyon özelliklerinin çekme dayanımı, süneklik, tokluk ve kırılma dayanımı gibi mekanik özelliklerin belirlenmesinde önemli bir rolü olduğunu belirtmişlerdir. MMK'lerde en iyi mekanik özelliklerin elde edilmesi için matris-takviye elemanı arasında yeterli arayüzey formunun elde edilmesinin gerekli olduğu ve bu formun yüksek sıcaklıklarda ve korozif ortamlarda yapısal kararlılığını korumasının göz ardı edilmemesi gerektiğini bildirilmişlerdir [31].

Alüminyum esaslı ve SiC, B_4C, TiC gibi çeşitli karbürler ile grafit gibi takviye elemanları içeren kompozit üretimlerinde sık rastlanan problemlerden birisi Al_4C_3 formunda bir ara yüzey bağının oluşmasıdır. Al_4C_3 formunda bir ara yüzey bağı oldukça kırılgan ve karalı olmayan bir ara yüzey bağıdır. Bu yüzden de Al_4C_3 formunda bir ara yüzey bağı kompozitin mekanik özelliklerini kötü yönde etkilemektedir. Aynı zamanda yapı içerisindeki Al_4C_3 formundaki ara yüzey bağı kompozitin hidrojene ve bazı korozif ortamlara karşı duyarlılığını artırmaktadır. Bu nedenle kompozitlerin üretiminde Al_4C_3 formundaki ara yüzey reaksiyonlarından kaçınılmalı ya da istenilen sınırlar dahilinde oluşması sağlanmalıdır [31].

Al/SiC içerikli kompozitlerin üretimlerinde Al_4C_3 formunda ara yüzey reaksiyonlarının oluşumunun engellenmesi ya da azaltılması yönünde bazı uygulamalar yapılmaktadır. Bunlar; üretim esnasında Si alaşım elementinin ilavesi, SiC parçacıkların çeşitli metal bazlı kaplamalarla kaplanması ve SiC parçacıklarının matrise ilave işleminden önce yüzeylerinde pasif oksit tabakalarının oluşturulması olarak bilinmektedir. Al/SiC esaslı kompozitlerin üretimlerinde % 10 – % 12 oranında Si elementi ilavesi ile Al_4C_3 arayüzey reaksiyonlarının minimize edildiği Lee ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada belirtilmiştir. Bu yöntemin ergimiş metal karıştırmada uygun bir uygulama olduğu belirtilmiştir. Aynı zamanda takviye fazına kaplama uygulanmasının da SiC parçacıklarının ıslanma özelliğini geliştirdiği ve ara yüzey reaksiyonlarının kontrol altına alınmasını sağladığı yine Lee ve arkadaşları tarafından rapor edilmiştir. Fakat bu ikinci yöntemin maliyeti arttırdığı da rapor edilmiştir. Aynı zamanda kaplama işleminde kullanılan elementlerin matris

alaşımı ile istenilmeyen reaksiyonlara girerek matrisin mikroyapısını değiştirdiği belirtilmiştir [31].

Al_4C_3 formundaki ara yüzey reaksiyonlarından kaçınmada kullanılabilecek ve maliyet açısından en uygun uygulama olarak, SiC parçacıklarının yüzeylerinde reaksiyon özelliği olarak pasif oksit tabakalarının oluşturulması önerilmiştir. Bu işlemde, SiC parçacıkların, 800 °C ve üzerindeki sıcaklıklarda hava ile teması sağlanarak yüzeyinde SiO_2 formunda oksit zerreciklerinin oluşturulmasını içermektedir. Böylelikle kompozitlerin ergimiş metal karıştırma yöntemi ile üretimleri esnasında SiC parçacık yüzeylerindeki pasif oksit tabakaları, parçacıklarla matris alaşımının direkt olarak teması engellenmekte hem de reaksiyon oluşturucu olarak görev yaparak, kararlı arayüzey bağının oluşumuna yardımcı olmaktadır [31].

Hashim ve arkadaşları, MMK'lerin ergimiş metal karıştırma yöntemi ile üretimleri esnasında seramik parçacıklar ile ergimiş alüminyum matris alaşımı arasındaki ıslatabilirliği iyileştirici yönde birçok araştırmanın yapılmakta olduğunu belirtmişlerdir. Bu metotlardan bazılarını pahalı ve karmaşık, bazılarını da ucuz ve basit teknikler olarak görmektedirler. Yapmış oldukları çalışmada, MMK'lerin ergimiş metal karıştırma yöntemi ile üretimlerinde yeni bir uygulama geliştirmişlerdir. SiC parçacıklarının matris A359 alüminyum alaşımı tarafından ıslatılmalarını kolaylaştırmak amacıyla özel olarak tasarlanmış üretim ekipmanları kullanarak ıslatabilirliğe, matris alaşımı, SiC parçacıklar ve magnezyum ilavesinin etkilerini araştırmışlardır. Üretimde kullandıkları karıştırma işleminde de değişik karıştırma şartlarında, karıştırma işleminin ıslatabilirliğe katkısını araştırmışlardır. Parçacıklarının ilave yüzde oranının elde edilen kompozit üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla; ıslatabilirlik ölçümleri, soğuma süresi ve SiC parçacıklarının hacim oranının etkisini incelemişlerdir. Elde ettikleri deney sonuçlarında, SiC parçacıkların işlemsiz olarak kullanılmalarını, magnezyum alaşımının ıslatmada etkin rol oynadığını ve karıştırma işleminin, karışımın döküm işlemine kadar sürekli olarak devam etmesi gerektiğini tespit etmişlerdir. Aynı zamanda karışımın soğuma hızı süresinin azaltılması ile ıslatabilirliğin iyileşirken, SiC parçacık hacim oranının artması ile ıslatabilirlik özelliğinin kötü yönde etkilendiğini belirtmişlerdir [32].

Tham ve arkadaşları, Al/SiC esaslı kompozitlerde, matris-takviye elemanı ara yüzey reaksiyonlarının kontrolü ile dayanım özelliklerinin belirlenmesinin geleneksel olmayan bir uygulama olduğunu belirtmişlerdir. İki farklı tipte ara yüzey özelliğine sahip kompozitleri elde etmek için SiC parçacıklar ile ergimiş alüminyum matris alaşımını üretim esnasında temas sürelerini farklı tutarak üretmişlerdir. Yapmış oldukları incelemeler; matris ile SiC takviye elemanı arasında ince bir Al_4C_3 formundaki ara yüzey katmanının kompozitin çekme dayanımını, çalışma sertleşme oranını, kırılma dayanımını etkilediğini belirtmişlerdir. Aynı zamanda kırılma bölgesindeki kırılma formunun ara yüzey ayrılması ve baskın olarak parçacık kırılması şeklinde oluştuğunu tespit etmişlerdir. Bu dayanım özelliklerindeki değişimin matris alaşımı ve SiC parçacıklar arasındaki temas ve sıcaklığın etkisi ile ortaya çıkan ve matris-takviye elemanı arasında mekanik bir kenetlenme olarak tanımlanan Al_4C_3 formundaki iyi bir ara yüzey bağının etkisiyle oluştuğunu bildirmişlerdir. Bunun yanında güçlü bir arayüzey bağının oluşması ile kompozitin plastik deformasyonunun arttığını ve bu yüzden de kompozitin sünekliğinin azaldığını belirtmişlerdir [33].

Ted Guo ve Tsao, grafitin katı yağlayıcı özelliğe sahip olduğunu ve bu nedenle de araştırmacıların Al/Gr takviyeli kompozitlerin geliştirilmesine yönelik çalışmalar içerisinde olduklarını belirtmişlerdir. Fakat bu araştırmaların hala kısıtlı olduğunu nedeninin ise tüm kompozitlerde grafit takviyesinin mekanik özellikleri kötü yönde etkilemesine bağlamışlardır. Yaptıkları çalışmada toz metalurji (TM) üretim yönteminin yarı katı toz yoğunlaştırma tekniği ile ürettikleri, Al/SiC/Ni kaplı grafitten [Ni(K)Gr] oluşan karma takviyeli kompozitin metalurjik açıdan davranışlarını, içerdiği Ni(K)Gr parçacıklarının oranına bağlı olarak incelemişlerdir. Ürettikleri karma takviyeli kompozitte, alüminyum matris alaşımı içerisinde SiC ve Ni(K)Gr parçacıklarının homojen dağılımın sergilediklerini vurgulamışlardır. Kaplanmamış grafit takviye elemanları kullanarak ürettikleri kompozitlerde parçacık topaklanmasının Ni(K)Gr takviye elemanına kıyasla arttığını belirtmişlerdir. Deneyler sonucunda Ni(K)Gr parçacık oranının artmasıyla ısıl genleşme katsayısının azaldığını ve kırılma tokluğu değerinin yavaşça düştüğünü tespit etmişlerdir. Yine Ni(K)Gr takviyesinin miktarının arttırılması ile aşınmaya bağlı döküntülerin

azaldığını ve sürtünme katsayısının azalma eğiliminde olduğunu belirtmişlerdir. Aşınma deneyleri esnasında yekpare haldeki alüminyum alaşımının bütünlüğünü kaybettiğini (seizure) fakat Al/SiC ve Al/SiC/Ni(K)Gr MMK'lerde böyle bir durumla karşılaşılmadığını vurgulamışlardır. Aşınma deneylerinde yapı içerisinde yer alan grafitin açığa çıktığını ve kompozit ile sürtünen diğer parça yüzeyi arasında film tabakası oluşturduğunu belirtmişlerdir. Hacimce % 5 Ni(K)Gr parçacıkları ile takviyeli kompozitin ve sürtündüğü malzemenin aşınma miktarının diğer üretilen tüm malzemelere kıyasla arttığını ve bu değerden önceki ve sonraki oranlarda ise aşınma miktarının düştüğünü tespit etmişlerdir. Çalışmada Al/SiC takviyeli kompozitte, diğer tüm Ni(K)Gr takviyeli MMK'lere kıyasla aşınma miktarının daha az gerçekleştiğini ve bu nedenle de Ni(K)Gr parçacık ilavesinin aşınma miktarının azalmasına yönelik katkınsın olmadığını sadece mekanik özellik bakımından sürtünme katsayını azalttığını vurgulamışlardır [34].

Gupta ve arkadaşları, geleneksel döküm yöntemi ile üretilmiş AA-6061 alaşım matrisli ve SiC takviyeli kompozitlerde ara yüzey reaksiyonlarını belirlenmeye çalışmışlardır. Bu amaçla, AA-6061 alaşım matrisini yaklaşık olarak 54 μm ebadındaki SiC parçacıklarla takviye etmişlerdir. Bu işlemde, kütük alüminyum alaşımını belirli bir sıcaklıkta ergimeden önce, alkali bazlı çözelti ve değişik asit çözeltileri ile yıkayarak ergime sonrası yüzeyinde oluşacak oksit tabakasının inceltilmesini ve böylece de yüzey kirliliğini engelleyerek sıvı yüzey enerjisini azaltmayı amaçlamışlardır. Matrisin yüzey temizliği tamamlandıktan sonra ortamı nitrojen gazı koruyucu atmosferine alarak oksidasyonu engelleyerek ergime işleminin gerçekleşmesini sağlamışlardır. Matris alaşımının ıslatma özelliğinin iyileştirilmesi amacıyla, Mg ve Zr (Mg + Zr % 1'den daha küçük oranda) alaşım elementleri ilavesi yapmışlardır. Aynı zamanda SiC parçacıkları da ilave işlemi öncesinde 900 °C'de ön ısıtma işlemine tabi tutarak, matrisin mekanik bir karıştırıcı ile karıştırılması esnasında parçacıkların ilave işlemini gerçekleştirmişlerdir. Sıvı haldeki kompoziti 75 mm çapında ve 150 mm boyundaki dökme demir kalıp içerisine dökerek 10 ila 15 dakika kalıp içerisinde bir miktar soğutmuşlardır. Döküm kütük kompozitleri 540 °C'de 3 saat bekleterek gerilimlerini giderdikten sonra 500 °C'de 10:1 oranında ekstrüzyon işlemine tabi tutarak 16 mm çapında gözenek

oranı düşürülmüş kompozit çubuklar elde etmişlerdir. Bu işlemler sonrasında döküm yöntemi ile üretip ekstrüzyon uyguladıkları kompozitlerin dayanım özelliklerini ve ara yüzey özelliklerini belirlemek amacıyla çubuk kompozitlere üç kademeli ısıl işlem uygulamışlardır [35]. Uyguladıkları ısıl işlemle yaşlandırarak mekanik özellikleri iyileştirme işlem basamakları Çizelge 2.3'te görülmektedir.

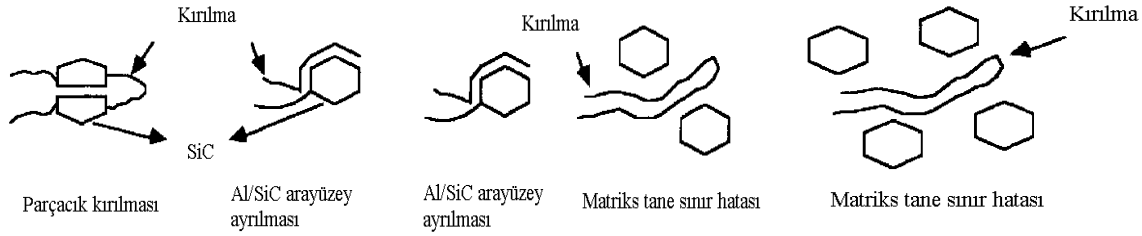
Çizelge 2.3. Al-6061/SiC parçacık takviyeli geleneksel döküm ve mekanik karıştırma ile üretim sonrası 1:10 oranında ekstrüzyon işlemi uygulanmış çubuk kompozitlerin yaşlandırma işlem basamakları [35]

Isıl İşlem Basamakları	**İşlem Tanımı**
#1	530 °C'de 1 saat bekletip sonrasında su ile soğutma; devamında 177 °C'de 2 saat bekleterek maksimum yaşlandırma işlemi.
#2	530 °C'de 1 saat bekletip sonrasında fırın içerisinde yaklaşık 3 °C/min soğuma hızında oda sıcaklığına kadar soğutma.
#3	530 °C'de 1 saat bekletip sonrasında fırın içerisinde yaklaşık 0,5 °C/min soğuma hızında oda sıcaklığına kadar soğutma.

Üretim ve ısıl işlemler sonrası kompozitlerin kırılma özelliklerini belirlemek amacıyla ASTM E8-81 standardına uygun numuneler üzerinde çekme deneyleri yapmışlardır. Her bir ısıl işlem için kırılma mekanizmalarının belirlenmesi amacıyla numunelerin çekme deneyi kopma bölgelerinde SEM mikroskobu ile ana kırılma mekanizmalarını belirlemeye çalışmışlardır. Bu işlem öncesinde kopma bölgelerini daha iyi karakterize etmek amacıyla karbon ile kaplamışlardır [35].

Yapmış oldukları incelemeler, #1 ile tanımladıkları Çizelge 2.3'te yer alan ısıl işlemin diğer basamaklara nazaran kompozitlerde sertliğin (#1 Hv=71, #2 Hv=41, #3 Hv=39) daha yüksek elde edilmesini sağladığını belirtmişlerdir. Mikroyapı incelemelerinde matris içerisinde dağılmış magnezyumca zengin intermetalik alaşım bölgeleri ve SiC parçacıklarının var olduğunu tespit etmişlerdir. #1 nolu ısıl işlem basamağında kırılma karakterinin Al/SiC arayüzey ayrılması, SiC parçacıklarının kırılması ve oyuklar halinde matristen parçacıkların ayrılması şeklinde oluştuğunu bildirmişlerdir. #2 nolu ısıl işlem basamağında ise koni şekilli sünek bir kırılmanın

oluştuğunu belirtmişlerdir. #3 nolu ısıl işlem basamağında da yine matrisin sünek olarak kopması şeklinde kırılma mekanizmasının oluştuğunu belirtmişlerdir [35]. Şekil 2.3'te uyguladıkları ısıl işlem basamaklarına ait kırılma mekanizmalarının detay görüntüleri gösterilmiştir.



(a) (b) (c)

Şekil 2.3. Isıl işlem farklılıklarına göre kompozitlerde görülen kırılma mekanizmaları [35]
a) #1 nolu ısıl işlem, b) #2 nolu ısıl işlem, c) #3 nolu ısıl işlem

Deney sonuçlarını değerlendirdiklerinde kompozitlerin kırılma davranışlarının uygulanan yük ve ısıl işlemle farklılık gösterdiğini ve aynı zamanda ilave alaşım elementlerinin ara yüzey reaksiyonlarını etkilediğini tespit etmişlerdir. Yaşlandırma ile yapmış oldukları mekanik özellikleri belirleme çalışmalarından maksimum yaşlandırma olarak tanımladıkları #1 nolu işlemde kırılma mekanizmasının parçacık kırılması ve arayüzey bağı ayrılması şeklinde oluştuğunu belirtmişlerdir. Dakikada 3 °C soğuma hızında fırın içerisinde bekletilerek yapılan ısıl işlemle elde edilen kompozitlerde ise kırılma mekanizmasının arayüzey bağının koparak ayrılması ve aynı zamanda matrisin tane sınırlarında çatlağın ilerlemesi ile gerçekleştiğini vurgulamışlardır. Dakikada 0,5 °C soğuma hızında fırın içerisinde bekletilerek yapılan ısıl işlemle elde edilen kompozitlerde de kırılmanın sadece matris tane sınırlarında çatlak ilerlemesi şeklinde sünek bir davranış sergileyerek oluştuğunu tespit etmişlerdir [35].

Tekmen ve arkadaşları, Al-Si matris alaşımına hacimce % 10 ve % 20 SiC parçacıklar takviye ederek ürettikleri döküm haldeki ve ekstrüzyon edilmiş MMK'ler ile döküm Al-Si aşlımı içerisinde oluşan gözenek miktarının mekanik özelliklere etkilerini araştırmışlardır. Matris alaşımını ve MMK'leri basınçlı döküm ve

sonrasında ekstrüzyon işlemine tabi tutarak üretmişlerdir. Deneyler sonucunda sıcak ekstrüzyon işleminin matris tane boyutu ve gözenekliliği dikkate değer miktarda azalttığını tespit etmişlerdir. Gözenek miktarının yapı içerisindeki oranının artmasıyla malzemelerin kırılma ve çekme dayanımının azaldığını belirtmişlerdir. Gözenekliliğin döküm yoluyla üretilen numunelerde takviye elemanının yüzde oranının artmasıyla çoğaldığını tespit emişlerdir [36].

Moustafa ve arkadaşları, akımsız kaplama yöntemi ile üzeri Ni kaplı SiC ve Al_2O_3 parçacıklar ve bu parçacıkları kaplanmamış halde bakır matrise TM yöntemi ile ilave ederek MMK malzemeler üretmişlerdir. Kaplanmış ve kaplamasız parçacıkların her birinden ağırlıkça % 20 değerinde bakır tozlarına ilave ederek, 360 rev/min karıştırma hızında 10 dakika süresince mekanik alaşımlamaya tabi tutulmuşlardır. Sonrasında 600 MPa soğuk presleyip 900 °C'de hidrojen atmosferinde sinterlemişlerdir. Araştırmaları sonrasında kaplamasız parçacıklarla takviyeli kompozitlere kıyasla nikel kaplanmış parçacıklarla takviyeli kompozitlerin mutlak yoğunluğunun daha yüksek ve gözenek miktarlarının da az olduğunu tespit etmişlerdir. Bunun nedenini ise Cu matrisin nikel kaplama ile yapışma eğiliminin yüksek oluşuna bağlamışlardır. Ayrıca kaplama uygulamasının MMK'lerin çekme ve basma dayanımlarının artmasını sağladığını da belirtmişlerdir [37].

Moustafa ve arkadaşları başka bir çalışmalarında, TM yöntemi ile ürettikleri Cu matrisli ve grafit takviyeli kompozitlerin aşınma davranışlarını araştırmışlardır. Takviye elemanı olarak kullandıkları grafit parçacıkları yalın ve akımsız kaplama yöntemi ile Cu kaplayarak ağırlıkça % 8 – 15 – 20 değerlerinde Cu matris tozlarıyla karıştırarak preslemişler ve sonrasında da sinterleyerek MMK malzemeleri üretmişlerdir. Aşınma testlerini pin – on – ring yöntemiyle 50 ila 500 N arasında değişen yüklerde test etmişlerdir. Testler sonrasında deneye tabi tutulan malzemeleri düşük, orta ve yüksek aşınma şeklinde ayırmışlardır. Cu kaplanmış grafit takviyeli kompozitin diğer kompozitler ve matris alaşımına kıyasla aşınmaya miktarı ve sürtünme katsayısının düşük olduğunu tespit etmişlerdir. Üretilen kompozitleri, en az aşındıkları ve kararlı kalabildikleri en fazla yüke göre sıraladıklarında; Cu kaplı grafitle takviyeli kompozitlerde ağırlıkça % 8 ile % 15 değerinde 450 N, %20

değerinde ise 500 N olduğunu, kaplanmamış grafitle takviyeli kompozitlerde ise bu durumun ağırlıkça % 8 değerinde 300 N, ağırlıkça % 15 ve % 20 değerlerinde ise 250 N olduğunu tespit etmişlerdir [38].

2.1.1. Kompozitlerin üretim ve mekanik özellikleri ile ilgili çalışmaların özeti

Kompozit malzemelerin kullanım alanlarının yaygınlaştırılmasının, ekonomik olarak üretim ve işleme parametrelerinin belirlenmesine ve tatminkar mekanik özelliklerin elde edilmiş olmasına bağlı olduğu yapılan çalışmalardan anlaşılmaktadır. Araştırmacılar yeni bir malzeme grubunun kullanım alanlarının yaygınlaştırılması amacı içerisindedir. Bu amaçla kompozitlerin üretiminde kullanılacak yeni üretim yöntemlerinin geliştirilmesi ya da var olan yöntemlerde karşılaşılan üretim zorluklarının azaltılmasına yönelik birçok çalışma yaptıkları görülmektedir. Aynı zamanda farklı üretim yöntemleri ve farklı kombinasyonlarda üretilen kompozit malzemelerin mikroyapı ve mekanik özelliklerini belirleyerek birbirleri ile kıyaslamakta ve böylelikle de uygun üretim ve uygun kombinasyonların belirlenmesine çalışmaktadırlar. Üretmiş oldukları kompozitleri ilk olarak ana faz malzemesine göre kıyasladıkları görülmektedir. Yapmış oldukları bu kıyaslama da elde ettikleri kompozitlerin matrise göre sertlik, çekme dayanımı, elastikiyet modülü, aşınma dayanımı ve yüksek sıcaklık dayanımları ile servis sıcaklık aralığının genişlediğini, fakat tokluk ve kırılma dayanımında azalma olduğunu belirtmektedirler.

MMK malzemelerin üretiminde ergimiş metal karıştırma, sıvı metal emdirme, reaksiyonla denge halinde faz oluşturma, toz metalurjisi ve sıcak presleme yaparak difüzyonla bağ oluşturma yöntemlerinin yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Bu yöntemlerin birbirlerine göre kısıtlı ve dezavantajlı yanlarının var olduğu görülmüştür. Bunların yanında genelde tek tip takviye elemanları ile değişik yüzde hacim ya da ağırlık oranlarında kompozitlerin imalinin gerçekleştirildiği görülmektedir. Ergimiş metal karıştırma yönteminin sıkıştırmalı basınç yöntemiyle birleştirilmesi ile istenilen forma yakın üretimin ekonomik olarak gerçekleştirilebildiği tespit edilmiştir. Bu yöntemin kısıtlı yanının, uzun fiber

takviyeli kompozitlerin imaline uygun olmamasıdır. Ayrıca bu yöntem sıvı hal üretim yöntemlerine nazaran kabul görmüş ekonomik bir uygulama olmasına rağmen, bir takım dezavantajlı yanlarının olduğu da anlaşılmıştır. Bu dezavantajlı yanları ise yüksek ergime ısısına sahip parçacıkların ilave edilmesi, kullanılan matris alaşımının akıcılığını düşürmekte ve kompozitin dökülme kabiliyetini azaltarak gözenek oluşumuna neden olmaktadır. Ayrıca bu yöntemde üretim parametrelerinin de göz ardı edilemeyeceği literatür incelemelerinden anlaşılmıştır. Bunlar da takviye elemanı ilavesinin ve homojen dağılım sergiletme özelliğinin zor olması, yüksek sıcaklıklarda yapılan bir üretim şekli olması nedeniyle parçacıklarla matris alaşımı temas bölgelerinde müsaade edilen sınırlar dahilinde ara yüzey bağının elde edilme zorluğunun bulunması, üretim sonrasında yapıda gözenek oluşmasının kaçınılmaz olduğu ve takviye elemanı ile matris alaşımı arasındaki ıslatma ve ıslanma kabiliyetlerinin muhakkak geliştirilmesi gerekliliği gibi nedenlerdir. Yapılan çalışmada, literatür incelemeleri sonrasında ergimiş metal karıştırma ve sıkıştırmalı döküm yönteminin kabul görmüş bir uygulama olduğu ve bazı üretim parametrelerin dikkate alınarak kompozitlerin imalatında kullanılması planlanmıştır. Ayrıca yapılan literatür incelemelerinde, parçacık takviyeli kompozitlerin karıştırma işleminin genellikle tek karıştırıcı ile yapıldığı ve etkili bir üretim parametresi olduğu görülmüştür. Bu nedenle yapılan bu çalışmada karıştırıcı formu ve karıştırma işleminin şeklinin kompozitlerin özelliklerine etkileri araştırılmıştır.

Mekanik özellikler yönünden literatür incelemeleri özellikle parçacık takviyeli kompozitlerde paylaşıma dayalı bir yük taşıma özelliğinin var olduğunu göstermektedir. Mekanik özelliklerin değişiminde, parçacık dağılımının ve uygun özelliklere sahip ara yüzey bağının elde edilmesinin etkili rol oynadığı tespit edilmiştir. Bunların yanında takviye elemanı hacim içeriğinin artmasıyla mekanik özelliklerin geliştiği, fakat kritik bir orandan sonra mekanik özelliklerin kötü yönde geliştiği tespit edilmiştir. Bu yüzden kritik takviye elemanı oranının belirlenmesi gerekmektedir.

2.2. MMK'lerin İşlenebilirlikleri ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Metal matrisli kompozitlerin mekanik ve yüksek sıcaklık özelliklerinin mükemmel olmasına rağmen, metal parçaların yerlerine kullanılmaları, işlenebilirlik kabiliyetlerinin kötü olmasından dolayı caydırıcı bir hal almaktadır. Bünyelerinde yer alan yüksek aşınma dirençli takviye fazları, kompozitlerin işlenmeleri esnasında kullanılan kesici takımların, çok kısa zamanda aşınmalarına ve böylelikle de işleme maliyetinin artmasına neden olmaktadır [39]. Kompozit malzemelerin bu kötü özelliklerinin, işleme maliyeti yönünden etkilerinin azaltılması amacıyla, optimum kesici takım malzemesi ve geometrisi ile kesme parametrelerinin seçiminin yapılması gerekmektedir. Bu amaçla araştırmacıların kompozit malzemelerin işlenebilirlik özelliklerinin belirlenmesi yönünde yapmış oldukları çalışmalar şöyledir;

El-Gallab ve Sklad, % 20 oranında SiC parçacıklarla takviyeli kompozitlerin kuru ortamda yüksek hızlarda tornalama işlemleri için optimum kesici takım malzemesi, takım geometrisi ve kesme parametrelerinin belirlenmesine yönelik çalışmışlardır. Elde ettikleri deney sonuçlarında, ÇKE kesici takımların kaplanmış karbür ve alümina esaslı seramik kesicilere nazaran daha tatminkar bir takım ömrüne sahip olduklarını görmüşlerdir. Ayrıca takım ömrü yönünden zayıf kalan karbür kesicilerde aşınma tiplerinin aşırı olarak yanak aşınması ve krater aşınması şeklinde oluştuğunu tespit etmişlerdir. Aynı zamanda bu kompozitlerde kullanılan ÇKE kesici takımların maliyet açısından ekonomik kullanımı için kuru ortamda talaş kaldırma işlemi ile 0,45 mm/rev gibi yüksek ilerleme ve 894 m/min kesme hızında ve 1,5 mm gibi kesme derinliğinde kullanılmasını önermektedirler. Tespit ettikleri bu kesme parametreleri ile kesme deneylerinde, kesici takım üzerinde oldukça küçük talaş yapışmaları ile kesici takımın aşınmalara karşı dayanımının arttığını ve oluşan aşınma şekillerinin abrasiv aşınma ve mikro çatlak oluşumu şeklinde olduğunu belirtmişlerdir. Bunların yanında ÇKE kesici takımın büyük burun yarıçaplı ve 0° talaş açısına sahip özelliklerde olmasını tavsiye etmişlerdir [40].

El-Gallab ve Sklad, diğer bir çalışmalarında Al/SiC MMK malzemenin işlenmesi için bir takım aşınma modeli geliştirmişlerdir. Bu geliştirilen modelle optimum takım

geometrisinin ve kesme parametrelerinin seçilmesi amaçlanmıştır. Takım-talaş ve takım-iş parçası ara yüzeylerindeki ısıl ve mekanik etkileşimler dikkate alınmıştır. Sıcaklığa bağlı malzeme özellikleri modele katılmıştır. Takım geometrisinin ve malzemesinin takım üzerinde oluşan gerilmeler ve sıcaklık üzerindeki etkisi sonlu elemanlar modeli kullanılarak gösterilmiştir. Model yardımıyla tahmin edilen sıcaklıklar ve gerilimler daha önce deneysel olarak yapılan ölçümlerle ve takım aşınması gözlemleriyle karşılaştırılmıştır ve iyi bir uyum içinde olduğu belirtilmiştir [40].

Hung ve arkadaşları, takviyesiz matris malzemelerine nazaran geliştirilebilen mekanik özelliklerinden dolayı, MMK'lerin birçok endüstriyel alanlarda kullanımlarının gün geçtikçe artarak yaygınlaştığını yinelemişlerdir. Özellikle bu kompozitlerin imalatında matris malzemesi olarak alüminyum alaşımlarının, takviye elemanı olarak da SiC seramik parçacıklarının yaygın olarak tercih edildiğini belirtmişlerdir. Fakat bu tercihin maliyete duyarlı üretimlerde işleme maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle her uygulama için geçerli olamayacağını da bildirmişlerdir. Yapmış oldukları çalışmada, geleneksel döküm ve toz metalurjisi ile üretilmiş SiC takviyeli kompozitlerin işlenebilirlik özelliklerini araştırmışlardır. Bunun için takım malzemesi, parçacık dağılımı, işleme yüzey özelliklerinin takım aşınmasına etkilerinin önceden tespit edilebilmesi için matematiksel bir model geliştirmişler ve bunu işlenebilirlik deney sonuçları ile kıyaslamışlardır. SiC parçacık takviyeli MMK'lerin kaba talaş işlemlerinin karbür kesici takımlarla ve ince talaş alma işlemlerinin de ÇKE kesicilerle yapılması halinde ekonomik olarak işlenebileceklerini 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 özeliklerine bağlı olmaksızın işlenen yüzeylerde parçacık kırılmaları ve ara yüzey bağından ayrılarak çıkmış takviye elemanlarının var olacağını vurgulamışlardır. Bu durumun kritik uygulamalar için kullanılan MMK'lerde göz ardı edilemeyeceğini bildirmişlerdir [41].

Chambers, Al-% 5 Mg alüminyum alaşımına % 5 oranında saffil ve % 15 oranında SiC parçacıklarla takviye edilmiş hybrid kompozit ile Duralcan firmasının üretmiş olduğu A356 alüminyum döküm alaşımı matrisli % 15 oranında SiC parçacık takviyeli kompozitlerin işlenebilirlik özelliklerini araştırmıştır. Yapmış olduğu işlenebilirlik testlerinde, takım aşınması ve talaş kaldırma hacim oranları bakımından kullanılan karbür ve ÇKE kesici takımları birbirleri ile kıyaslamıştır. Deney sonuçlarında Duralcan firmasının üretmiş olduğu % 15 SiC takviyeli kompozitin diğer hybrid kompozite nazaran daha iyi işlendiğini tespit etmiştir. Bunun yanında ÇKE kesici takımın her iki kompozitte de daha iyi performans sergilediğini tespit etmiştir. Bunun nedeni olarak da ÇKE elmas kesicilerin mükemmel aşınma dayanımlarının olduğunu belirtmiştir. Fakat maliyet açısından düşünüldüğünde ise kabul edilebilir takım ömrünün sementit karbür kesici takımlar ile düşük kesme hızlarında ve yüksek ilerleme hızlarında elde ettiğini vurgulamıştır [42].

Davim ve Baptista, % 20 SiC parçacık takviyeli A356 alaşımı MMK malzemelerin ÇKE kesici takımlarla işlenmesinde kesme kuvvetlerini ölçmüşler ve takım aşınma mekanizmalarını incelemişlerdir. Artan ilerleme miktarıyla takım aşınmasının azaldığı fakat kesme hızının artmasıyla takım yan kenar aşınma hızının aşırı arttığını görmüşlerdir. 250 m/min kesme hızında, 45 dakikada sadece 0,24 mm yan kenar aşınması oluşurken 700 m/min kesme hızında 2 dakikada 0,42 mm yan kenar aşınması oluşmuştur. Artan yan kenar aşınmasıyla kesme kuvvetlerinin düzenli olarak arttığı gözlemlenmiştir. Takım aşınmasının etkin olarak, yan yüzeyde olduğu ve aşınma mekanizmasının esas olarak abrasiv aşınma olmakla birlikte kısmen de adhesiv aşınmanın görüldüğü belirtilmiştir [43].

Clark, hacimce % 20 oranında ortalama 15 µm büyüklüğündeki SiC partiküllerle takviyeli alüminyum alaşımlı kompozitlerin (Al-% 20SiCp MMK) sentetik çok kristalli elmas (ÇKE) kesici takımlarla işlenebilirliğini inceleyerek, bu kesici takımları K10 tungsten karbür takım ile kıyaslamıştır. Otomobilin fren diskleri olarak üretilen bu Al - % 20 SiCp MMK 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, bununla

beraber bazı delme işlemlerine CTB010 (orta taneli) ÇKE takımı da başarılı bir şekilde kullanılmıştır. 0,3 mm/rev ilerleme hızının altında 400 m/min kesme hızının üzerinde ÇKE kesici takımla 1 μm ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerinden daha iyi bir yüzey kalitesi elde edilmiştir [44].

Andrewes ve arkadaşları, SiC takviyeli Al matrisli MMK malzemenin işlenebilirliğini deneysel olarak inceleyerek bu malzemenin işlenmesi esnasında ÇKE ve CVD elmas kaplamalı sementit karbür kesici takımların aşınma karakteristiklerini belirlemeye çalışmışlardır. İşledikleri iş parçası malzemesi % 20 hacim oranında ortalama 12,8 ±1,0 μm boyutunda SiC parçacık içeren bir MMK malzemedir. Bütün işlenebilirlik deneyleri 190 m/min kesme hızında kuru olarak yapılmıştır. Kesme derinliği 1 mm ve ilerleme hızı 0,1 mm/dev olarak kullanılmıştır. ÇKE kesici takımın toplam işleme zamanı 53 dakika ve CVD elmas kaplamalı kesicinin ki ise 19 dakika olarak bulunmuştur. Çeşitli sementit karbür kesici takımlar da kullanılmıştır fakat takım ömrü oldukça kısa olmuştur [45].

ÇKE kesici takımdaki aşınmanın başlangıçta iş parçası malzemesi içinde bulunan sert abrasiv SiC parçacıklardan kaynaklandığı belirtilmiştir. ÇKE SiC'den daha sert olduğu için burada oluşan abrasiv aşınmanın mikro-kesmeden ziyade mikro-mekanik deformasyonla ilişkili olabileceği belirtilmiştir. Bu aşınmış yan yüzeyin iş parçası malzemesinin adhezyonunu teşvik edeceği ve bu bölgenin üçüncü kesme bölgesinde (takım-iş parçası arayüzeyi) oluşan yüksek basınçtan dolayı çoğunlukla alüminyum filmle kaplanacağı belirtilmiştir ve yapılan EDAX analiziyle bu yüzeyin ince bir alüminyum tabakası ile kaplandığı görülmüştür. Bu durumun, abrasiv aşınmaya ilave olarak adhesiv aşınma mekanizmasının da kesici takım aşınmasında etkili olduğunu gösterdiği belirtilmiştir. Alüminyum filmin aşınmış yüzeye yapışması ve daha sonra SiC parçacıklarla uzaklaştırılmasıyla bir kısım ÇKE parçacıklarının da alüminyum filmle beraber kesici takımdan ayrılarak aşınmanın gerçekleştiği belirtilmiştir [45].

Davim, A356/SiC_p/20 (ortalama 20 μm) MMK malzemeyi ÇKE ve CVD yöntemiyle elmasla kaplanmış sementit karbür kesici takımlarla işlemiş ve bu kesici takımların

performansını karşılaştırmıştır [46]. Andrewes ve arkadaşlarının bulgularının aksine bu çalışmada CVD elmas kaplamalı kesici takım performansı ÇKE kesici takımın performansından oldukça düşük olmuştur [45]. CVD elmas kaplamalı sementit karbür 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 kesici takım için takım aşınma kriteri 0,6 mm ve ÇKE kesici takım için ise 0,25 mm olarak alınmıştır. Her iki kesici takımda da artan kesme hızıyla takım aşınması artmıştır. CVD elmas kaplamalı kesici takımda 4,5 dakika sonra 0,6 mm takım aşınmasına ulaşılmış ve ÇKE kesici takımda ise 0,25 mm değerindeki takım aşınmasına 45 dakika sonunda ulaşılmıştır. Buradan da ÇKE kesici takımın 5 kat daha fazla hızda elmas kaplamalı kesici takımdan 10 kat daha iyi performans gösterdiği belirtilmiştir. Ayrıca, 45 dakika sonunda ÇKE kesici takım yan yüzey aşınması yalnızca 0,25 mm olurken CVD elmas kaplamalı kesici takımda 0,6 mm aşınma gerçekleşmiştir [46].

Çiftçi ve arkadaşları, ağırlıkça % 8 ve % 16 oranında, ortalama 30, 45 ve 110 μm ebatlarında SiC parçacık takviyeli kompozitleri ergimiş metal karıştırma ve basınçlı döküm yöntemini kullanarak üretmişlerdir. İşleme testlerini sabit ilerleme ve talaş derinliğinde farklı kesme hızlarında kaplamasız karbür ve üç katlı kaplamalı karbür kesici takımları kullanarak gerçekleştirmişlerdir. İşleme testleri ile kesici takım kaplamsının ve kesme hızı değişiminin etkilerini incelemişlerdir. Aynı zamanda bu parametrelerin yüzey pürüzlülüğüne etkisini de araştırmışlardır. Deneyler sonucunda, kesme hızı ile birlikte takviye elemanı parçacık ebadı ve takviye oranının takım aşınmasını hızlandıran etkenler olduğunu tespit etmişlerdir. Takım aşınması yönünden kullandıkları kesici takımları incelediklerinde kaplamalı karbür kesicinin tüm işleme koşullarında en iyi performansı gösterdiğini ancak kaplamasız karbür takımında ortalama yüzey pürüzlülüğü dikkate alındığında düşük kesme hızlarında en iyi performansı sergilediğini bildirmişlerdir. Her ne kadar kesici takımlarda abrasiv aşınma mekanizmasının etkin olduğunu görseler de yapmış oldukları SEM incelemeleri yüksek kesme hızlarında kenar kısımlarında kırılmalarında etkin olduğunu göstermiştir [47].

Çiftçi ve arkadaşları yapmış oldukları başka bir çalışmada, ergimiş metal karıştırma ve basınçlı döküm yöntemi ile ortalama 30, 45 ve 110 μm boyutlu SiC parçacıkları alüminyum alaşımına takviye ederek üç ayrı MMK malzeme üretmişlerdir. Ürettikleri MMK'lerin KBN kesici takımlarla işlenme özelliklerini, sabit kesme derinliği ve ilerleme hızında kuru işleme şartlarında test etmişlerdir. MMK yapı içerisinde yer alan SiC parçacıklarının boyutları ile kesme hızının değişimine bağlı KBN kesici takımlarda oluşan aşınma mekanizmalarını incelemişlerdir. İlave olarak işlenen yüzey pürüzlülüğünü ölçmüşler ve kesici takım aşınmasına etki eden faktörlere bağlı değerlendirmişlerdir. Deneyler sonrasında 110 μm boyutlu SiC parçacıklar ile takviyeli MMK'in KBN kesici takımların kesme kenarı ve burun kısmını hızlı bir şekilde kırarak zarar verdiklerini tespit etmişleridir. Yapılan çalışmada 30 ve 45 μm tane boyutlu SiC parçacıklar ile takviyeli MMK'lerin 150 m/min kesme hızında, işleme deneylerinde kullanılan diğer kesme hızı değerlerine kıyasla, KBN takımlarda daha az yan yüzey ve burun aşınmasına neden olduklarını tespit etmişlerdir [48].

Özçatalbaş ve arkadaşları, alüminyum esaslı Al_4C_3 takviye fazına sahip kompozitleri mekanik alaşımlama (MA) yöntemini kullanarak üretmişlerdir. Takviye fazı yüzdesini mekanik alaşımlama yönteminin süresine bağlı olarak kontrol etmişlerdir. Ürettikleri MMK'lerin talaş formu, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü açısından işlenebilirliklerini değerlendirmişlerdir. Toz metal yöntemi ile ürettikleri MMK'lerin, mikroyapı ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Sonuçlar mekanik alaşımlama süresinin artmasıyla Al_4C_3 takviye fazının miktarının arttığını göstermiştir. Fakat artan takviye fazı oranının malzemelerin sertlik değerlerini arttırırken dayanım özelliklerini kötü yönde etkilemiştir. İşleme testleri sonucunda, talaşların kısa yay formlu oluştuğunu belirtmişlerdir. Al_4C_3 takviye fazı bakımından yüksek hacim içerikli MMK'lerde, yığıntı talaş (YT) oluşumunun ve yüksek kesme hızlarında yüzey pürüzlülük değerinin azaldığını tespit etmişlerdir. Al_4C_3 takviye fazının işleme deneylerinde kayma düzleminde talaş çıkışının çatlak ilerlemesi şeklinde oluştuğunu ve bu durumun kesme kuvvetlerini düşürerek talaş temas boyu ve deforme olmuş talaş kalınlığını azalttığını vurgulamışlardır [49].

2.2.1. MMK'lerin işlenebilirlikleri ile ilgili yapılan çalışmaların özeti

MMK malzemeler, geleneksel metal ve alaşımlarına göre üstün özellik sergilemeleri nedeniyle imalat endüstrisinde ilgi çeken bir malzeme grubudur. Fakat bu malzemelerin işlenebilirliklerinin zor olması yaygın olarak kullanılmalarını engellemektedir. Çeşitli yöntemlerle üretilmiş MMK malzemeler, istenilen net şekle yakın üretilmiş olsalar bile genellikle talaşlı imalat yöntemi ile istenilen boyut ve yüzey kalitesine getirilmeleri gerekmektedir. Fakat günümüzde talaşlı imalatta kullanılan kesici takım malzemelerinin birçoğu (HSS, karbür, seramik ve KBN) kompozit yapı içerisinde yer alan takviye elemanlarından (SiC, Al_2O_3 gibi) ya daha düşük ya da bir miktar fazla serttirler. Bu nedenle bu tür malzemelerin işlenmeleri matris alaşımlarına katılan dayanımı ve elastikiyet modülü yüksek ve oldukça sert olan takviye elemanları nedeniyle zorlaşmaktadır.

Parçacık ve kısa elyaf takviyeli MMK malzemelerin işlenebilirliği üzerine yapılan çalışmalarda, bu malzemeleri işlerken kaba talaş alma işlemlerinin karbür ya da KBN'lü kesici takımlarla yapılması ve ince talaş alma işlemlerinin de yalnızca ÇKE kesici takımlarla kabul edilebilir bir takım ömründe yapılabileceği bildirilmiştir. Aynı zamanda çeşitli seramik kesici takımların yüksek oranlarda takım aşınmasına maruz kaldıkları görülmektedir. ÇKE kesici takımlarla bu malzemelerin işlenmesinde uygun kesme parametrelerinin, takım aşınmasının ve takım aşınma mekanizmalarının belirlenmesine yönelik çalışma sayısı oldukça fazladır. ÇKE takımların çok pahalı olması ve kaba işlemler için de uygun olmaması daha ucuz alternatif takımlara olan ihtiyacı gündeme getirmektedir. Sementit karbür kesici takımların ise yalnızca düşük kesme hızları ve yüksek ilerleme miktarlarında, kısmen kullanılabileceği önerilmektedir.

Yapılan çalışmalar genellikle tek tip takviye elemanları ile takviyeli MMK malzeme üzerine yoğunlaşmıştır. Takviye elamanı boyutu ve içeriğinin bu malzemelerin işlenebilirlikleri üzerindeki etkisini inceleyen sistemli olarak yapılmış çalışma sayısı da oldukça azdır. ÇKE kesici takımların bu malzemelerin işlenmesinde en iyi kesici takım olduğu görülmektedir. Fakat maliyet açısından düşünüldüğünde ekonomik

olmadığı da ortadadır. KBN kesici takımlar oldukça yüksek sertliklerinden dolayı sementit karbür kesici takımlara göre oldukça iyi performans sergilemektedirler. Bu nedenle çalışmada üretimi gerçekleştirilen tek ve karma parçacıklarla takviyeli MMK'lerin, işleme maliyetlerinin azaltılması amacıyla SK ve KBN kesici takımlarla işleme özelliklerinin optimum değerlerinin tespiti amaçlanmıştır. Çalışmada, üretilen MMK'lerin sementit karbür ve KBN kesici takımlar ile işlenmelerinde kesici takımların aşınma davranışlarının, aşınma mekanizmalarının, kesme parametrelerinin ve malzeme mikroyapısının (takviye elamanı tipi, takviye şekli, parçacık büyüklüğü ve yüzde hacim oranı) işlenebilirliğe etkilerinin incelenmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır.

2.3. Yapılan Çalışmalarla İlgili Genel Değerlendirme

Araştırmacılar, hayatı kolaylaştırmak için tasarladıkları araç ve teçhizatlarda kullanılan materyallerin hafif, dayanımı yüksek ve uzun ömürlü olması için çalışmalar yapmaktadırlar. Bu amaçla düşük yoğunluk, yüksek dayanım özelliklerine sahip, kullanım ömürlerinin diğer malzemelere göre daha uzun ve verimli olduğu bilinen kompozit malzemelere odaklanıldığı görülmüştür. Kompozitlerin üretimlerinde karşılaşılan problemlerin azaltılması, mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi, şekillendirme kabiliyetlerinin artırılması ve kullanım alanlarının yaygınlaştırılması üzerine çalışmalar sürmektedir.

İncelemelerde MMK malzemelerin üretiminde ergimiş metal karıştırma, sıvı metal emdirme, reaksiyonla denge halinde faz oluşturma, toz metalürjisi ve sıcak presleme yaparak difüzyonla bağ oluşturma yöntemlerinin yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Bu yöntemlerin birbirlerine göre kısıtlı ve dezavantajlı yanlarının var olduğu görülmüştür.

Mekanik özelliklerin değişiminde, parçacık dağılımının ve uygun özelliklere sahip ara yüzey bağının elde edilmesinin etkili rol oynadığı tespit edilmiştir. Bunların yanında takviye elemanı miktarının artmasıyla mekanik özelliklerin geliştiği, fakat kritik bir orandan sonra mekanik özelliklerin kötü yönde geliştiği tespit edilmiştir.

MMK malzemelerin talaşlı imalat ile istenilen boyut ve yüzey kalitesinde işlenebilmeleri, muhtevasındaki dayanımı ve sertliği kesici takım malzemelerinin çoğundan yüksek olan takviye elemanları nedeniyle zorlaşmaktadır. Literatürde, karbür ve KBN kesicilerle kaba talaş, ÇKE kesicilerle ince talaş kaldırma işlemleriyle, kısmen de olsa kesme parametrelerini optimize ederek ürün maliyetlerinin düşürüldüğü görülmüştür.

Yapılan çalışmada ise MMK malzeme üretiminin ergimiş metal karıştırma ve basınçlı döküm yöntemi ile gerçekleştirilebilmesi amacıyla bir üretim laboratuarı kurulmuştur. Bu laboratuarda MMK malzeme üretimleri gerçek zamanlı deneyler ile gerçekleştirilmiştir. Böylelikle bu yöntemle literatürde pek izahatı bulunmayan MMK malzeme üretim parametrelerinin belirlenmesi her ne kadar zor olsa da, gerçek üretim şartlarında ergimiş metal karıştırma ve basınçlı döküm yöntemi ile MMK malzeme üretim parametreleri tespit edilmiş ve literatürden farklı bir karıştırıcı formuna sahip yeni bir değişken hızlı karıştırma yöntemi geliştirilmiştir. Geliştirilen MMK malzeme üretim laboratuarında deneylerle tek ve karma takviyeli kompozitler üretilmiştir. Literatürde karma takviye elemanlı MMK malzeme üretimlerinin sınırlı olduğu ve üretim parametrelerinin detaylandırılmadığı görülmüştür. Aynı zamanda yapılan çoğu çalışmada MMK malzeme üretimlerinin mikroyapı ve mekanik özellikler bakımından incelendiği ve işlenebilirlik özelliklerinin bağımsız olarak incelendiği görülmüştür. Yapılan çalışmada üretilen karma ve tekli parçacık takviyeli kompozitlerin üretim parametreleri ile mikroyapı ve bazı mekanik özelliklerinin belirlenmesinin yanında işlenebilirliklerinin de takım aşınması, kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve talaş kökü morfolojisi bakımından değerlendirilmiş olması, bu tür MMK'lerin ürün-işlenebilirlik arasındaki ilişkinin değerlendirilmesinde önemli katkılar sağlanmıştır.

3. KOMPOZİT MALZEMELER

3.1. Giriş

Günümüzde geleneksel malzemeler olarak adlandırılan metaller, seramikler ve plastik malzemelere göre ayrı bir özellik taşıyan kompozit malzemeler, yukarıdaki malzemelerden farklı, ama tamamen bağımsız olarak düşünemeyeceğimiz bir malzeme grubunu oluşturmaktadır. Bu yeni malzeme grubunu oluşturan kompozitler, endüstriyel kullanım alanları bakımından, gün geçtikçe daha fazla ilgi çeken bir malzeme grubu olmaya devam etmektedir. Kompozit malzemelerin genel anlamda kabul görmüş bir tanımlamalarının olmamasına rağmen, günümüzde, iki veya daha fazla fiziksel ya da kimyasal özellik yönünden birbirinden farklı malzemelerin, makro düzeyde bir araya getirilmesi olarak tanımlanmaktadır [1].

Kompozit malzemeleri diğer malzeme guruplarından ayırt eden en önemli özellikleri;

a) Düşük yoğunluklarına rağmen sergilemiş oldukları yüksek dayanım özellikleri,
b) Kendisini oluşturan malzemelerin güç birliğine dayanan bir yük paylaşımı,
c) İstenilen dayanım özelliklerine göre farklı kombinasyonlarda üretilebilme kolaylığı,
d) Yorulma, tokluk ve yüksek sıcaklıklarda göstermiş oldukları kararlılık özellikleri yönünden geleneksel malzemelerden daha iyi özellik sergilemeleri,
e) Oksitlenme ve aşınma dayanımlarının yüksek olması

vb.'dir.

Sayılan bu özelliklerinden dolayı kompozitler çeşitli endüstriyel ve ticari alanlarda (uzay araştırma endüstrisi, hava, deniz ve tren yolları endüstrisi, otomotiv ve spor endüstrisi gibi) dikkate değer bir kullanım alanına sahiptirler ve kullanım alanları gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır.

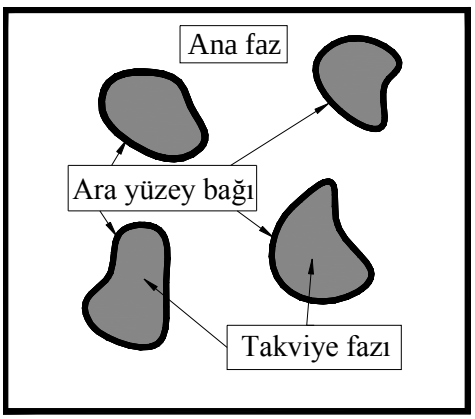
Kompozit malzemelerin bu avantajlarının yanında, bir takım dezavantajlarının da var olduğu bilinmektedir. Bunlar kısaca aşağıda özetlenmiştir:

a) Kompozit malzemelerinin birçoğu mekanik özellikleri bakımından, farklı yönlerden gelen kuvvetlere karşı farklı dayanım özellikleri sergilemektedirler.
b) Birçok polimer esaslı kompozitlerde çalıştıkları ortamda yer alan çözücü ve aşındırıcı sıvılar nedeniyle matrisin özelliğini yitirmesi,
c) Kompozitlerin üretimlerinde kullanılan malzemelerin pahalı olması,
d) Her türlü montaj yöntemine uygun olmamaları, örneğin kaynaklı birleştirmelerinin kısıtlı olması,
e) Üretimlerinde kullanılan yöntemlerin zahmetli, yavaş ve pahalı olması,
f) Üretim sonrası şekillendirme işlemlerinin kısıtlı ve bünyelerinde yer alan aşındırıcılar nedeniyle geleneksel talaşlı üretimle şekillendirilmelerinin zor olması,
g) Çoğu kompozitlerin tekrar yenilenerek üretilmelerinin mümkün olmaması gibi dezavantajlı yanlarının da var olduğu bilinmektedir.

Bu tür dezavantajlarının olmasına rağmen kompozit malzemeler, sergilemiş oldukları yüksek dayanım özellikleri nedeniyle, geleneksel malzemelere nazaran daha fazla çalışma zamanına sahip olmaları ve enerji tasarrufunun sağlanmasında bu zamanın etkili olması gibi nedenlerden dolayı ekonomik olmayı hala sürdürmektedir [1-3].

3.2. Kompozitlerin Yapısı

Kompozit malzemeler en az bir ana faz ve yine en az bir takviye fazından oluşacak şekilde imal edilmektedirler [1-2]. Kompoziti oluşturan takviye ve ana faz malzemeleri, kompozitin imali esnasında kullanılan üretim yöntemine ve tasarlanan şekle bağlı olarak fiziki bir birliktelik sergilemektedir. Çeşitli yöntemlerle bir araya getirilmiş olan ana malzeme ve takviye fazı, kendi özelliklerini tamamı ile kaybetmeden sergilemek üzere, aralarında ara yüzey tabiri kullanılan bir bağlantı bölgesi oluşturarak, tasarlanan formlarını korumaktadırlar [3-6]. Şekil 3.1'de parçacık takviyeli bir kompozitin yapısı gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Parçacık takviyeli bir kompozitin bünyesindeki farklı yapılar

Kompoziti meydana getiren, ana faz, takviye fazı ve ara yüzey bağının, tasarlanan malzeme formunu korumada üstlendikleri bir takım görevler mevcuttur. Burada;

- Ana fazın görevi, takviye fazını tasarlanan malzeme formunu koruyarak bir arada tutmak ve uygulanan her hangi bir kuvveti, tahribata uğramadan, ara yüzey bağı vasıtası ile takviye fazına iletmek ve dağıtmaktır [2].

- Takviye fazının görevi ise üretim esnasında ana fazın tane büyüklüğünü kontrol etmek, tane sınırlarındaki hareketleri engellemek ve ana faz tarafından iletilen kuvvetleri paylaşarak, karşı koymakla sorumludur. Kompozit malzemelerde takviye fazı daima gelen kuvvetleri karşılayacak diye bir şey söylenemez. Örneğin; elyaf takviyeli kompozitlerde, malzemeye gelen yükün birçoğunu elyaflar üstlenirken, parçacık takviyeli kompozitlerde ise yük paylaşımından söz etmek mümkündür [4,6].

- Ana faz ile takviye fazı arasında bağlayıcılık görevi yapan ara yüzey bağıda, genellikle seramik gibi kırılgan özellik sergilemesine rağmen, ana fazın takviye elemanına iletmek istediği yükü, herhangi bir çözülme ya da kırılmaya uğramadan, takviye fazına iletmekle görevlidir. Aynı zamanda malzemenin elastikiyet modülünü etkileyen en önemli bölgedir. Çünkü bilindiği üzere geleneksel bir malzemenin rijitliği, atomlar arası bağın bir göstergesidir. Atomlar arası bağ kuvvetini de, metalin erime sıcaklığının derecesi belirler. Atomlar arası

bağ ne kadar iyi ise malzemenin elastikiyet modülü iyi demektir. Kompozit malzemelerde elastikiyet modülünü ve tokluğu daha çok ara yüzey bağı belirlemektedir. Bu yüzden kompozitin dayanımının iyi olması için ara yüzey bağının istenilen şekilde oluşması beklenir [4,6].

3.3. Kompozitlerde Kullanılan Ana Faz (Matris) Malzemeleri

Kompozit malzemelerin yapı taşlarından biri olan matris fazı, iki önemli görevi yerine getirmektedir. Bunlar; takviye fazını, tasarlanan biçimde, içerisinde yer değiştirmesine olanak vermeden tutmak ve kompozite uygulanan herhangi bir kuvveti tahribata uğramadan takviye fazına iletmek ve dağıtmakla görevlidir. Bunun yanı sıra, kompozitin imalatında seçilmiş olan ana fazın çalıştığı ortamlarda kendisinden istenilen bir takım özellikleri de yerine getirmesi gerekmektedir. Örneğin; su altında veya oksidasyon ortamında çalışan bir kompozitin oksidasyona ve korozyona karşı dirençli olması istenir, bu da matris fazı tarafından yerine getirilir; elektrik iletkenliğinin ya da elektrik iletkenliğine karşı direncin istenildiği yerlerde de yine bu görevi matris fazı üstlenmektedir. Bu gibi görevleri yanında matris fazının hafif, kolay elde edilebilir, oksidasyon direnci yüksek, termal farklılıklara karşı uyum gösterebilmesi gibi özellikleri de taşıması gerekmektedir [2].

Kompozit malzemelerin imalatında ana faz malzemesi olarak başarıyla kullanılabilen malzemelerin başında plastik ve türevleri, metaller ve seramikler gelmektedir. Bunlara ilaveten refraktör malzemeler olarak adlandırılan cam, karbon, grafit gibi malzemelerde kompozitlerin imalatlarında kullanılmaktadır.

Ana faz seçimini etkileyen önemli faktörler; tasarlanan kompozitin üretim yöntemi, kullanılacak olan takviye fazı uyum durumu (matrisin ıslatma kabiliyeti, ısıl genleşme katsayı farklılıkları, vb.), üretim sırasındaki matristen istenilen hal değişimleri, üretim sonrası uygulanacak olan ısıl işlem ve mekanik şekil değiştirme kabiliyetleri, kullanım alanının durumu (oksidasyon, korozyon, mekanik aşınma, elektrik iletkenliği ya da elektrik direnci, yüke karşı çalışma durumu, vb.), montaj işleminin tipi (civatalı, perçinli, kaynaklı, vb.), üretim sonrası kullanılacak son

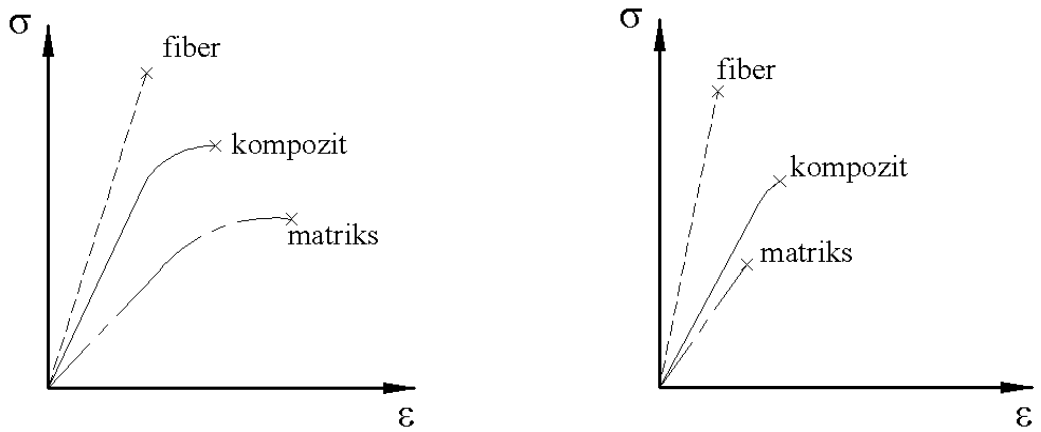
profilin verilmesindeki işleme yönteminin var olup olmaması ve tipi gibi faktörler kompozit malzeme üretiminde kullanılacak olan ana fazın seçiminde etkili olan kıstaslardır [4,7,8].

3.4. Kompozit Malzemelerin Ana Malzemeye Göre Üstünlükleri

Kompozit malzemeler üretimlerinde kullanılan ana faz malzemesine göre bazı üstün özelliklere sahiptirler. Bunlar;

a) Kendisini oluşturan ana malzemeye göre akma ve çekme dayanımları (σ_{ak}, $\sigma_{ç}$) artar.

Metal matrisli kompozitlerde kompozitin dayanım özellikleri genelde matris ile takviye elemanı arasında, matrise göre tokluk özelliği kötüleşmiş iken seramik matrisli kompozitlerde ise kompozitin dayanım özellikleri yine matrise göre bir miktar iyileşirken, elastikiyet modülü yükselir ve tokluk özellikleri iyileşir. Şekil 3.2'de metal ve seramik matrisli kompozitlerin dayanım özellikleri şematik olarak gösterilmektedir [4,6].



(a) (b)

Şekil 3.2. Kompozitlerin dayanım özelliklerinin kıyaslanması
a) Metal matrisli kompozit, b) Seramik matrisli kompozit

b) Yüksek elastikiyet modülüne sahiptirler.

Elastikiyet modülü malzemenin eğilip bükülmeye karşı göstermiş olduğu direnç olarak tanımlanmaktadır. Elastikiyet modülü yapıdan bağımsızdır ve atomlar arası bağın bir fonksiyonudur. Atomlar arası bağı ergime sıcaklığının derecesi belirler. Bağ zayıfsa elastikiyet modülü küçüktür. Çizelge 3.1'de bazı malzemelere ait ergime sıcaklıkları ve bunlara bağlı elastikiyet modülleri verilmiştir.

Çizelge 3.1. Bazı malzemelerin ergime sıcaklıklarına bağlı elastikiyet modülleri [5]

Malzeme	Ergime sıcaklığı (°C)	Elastikiyet modülü, (ε) (CPa)
Alüminyum	660	72
Bakır	1083	100
Çelik	1535	200
Paslanmaz çelik	1400	193
Titanyum	1300	110
Tungsten	3300	400

Kompozit malzemelerde elastikiyet modülü ve tokluğu daha çok ara yüzey bağı belirlemektedir. Bu yüzden kompozitin dayanımının iyi olması için ara yüzey bağının istenilen şekilde oluşması beklenir [6].

c) Farklı sıcaklıklarda termal boyut dengesine sahiptirler.

Özellikle metallerde ısınma ile birlikte belli bir miktar genleşme, soğuma ile de büzülme meydana gelir. Servis sıcaklık aralığı geniş olan malzemelerde (bir taraf çok sıcak diğer taraf ise soğuk çalışma zorunluluğu olan malzemeler), termal genleşme farklılıklarından dolayı gerilim yorulması kaçınılmazdır. Endüstrinin bir çok alanında kullanılan malzemelerin ana bozulma nedenleri yorulma yada sürünmedir. Yorulmanın ana nedeni de gerilim yorulmasıdır. Yorulma değişken yük altında zamanla meydana gelir. Termal boyut dengesi sağlanabiliyorsa, termal yorulma minimize edilmiş olur.

d) Yüksek sertlik ve böylece de yüksek aşınma dayanımına sahiptirler.

e) Yüksek yorulma dayanımı elde edilir.
f) Yüksek sürünme dayanımına sahiptirler.

Elde edilebilen bu iyi dayanım özelliklerinin yanında matrise göre bazı kötü yönde değişen dayanım özellikleri de mevcuttur. Özellikle metal matrisli kompozitlerde tokluk özellikleri matrise göre azalmaktadır. Bu yüzdende kırılganlıkları artmaktadır [4-6].

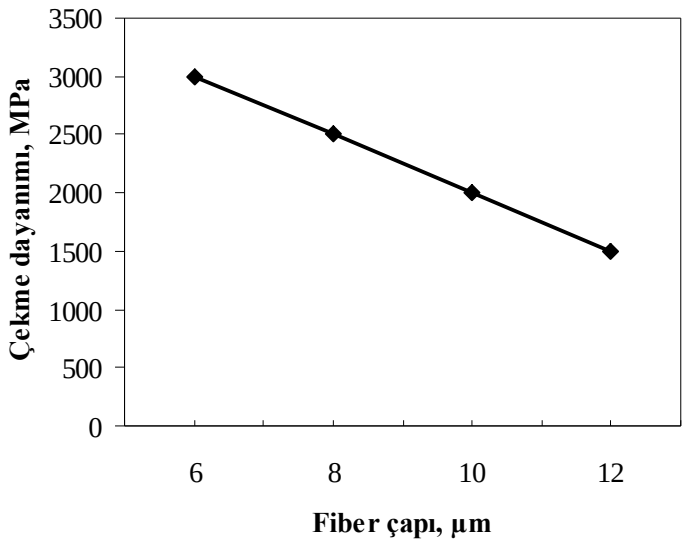
3.5. Kompozit Malzemelerde Kullanılan Takviye Elemanları

MMK malzemelerin üretimlerinde takviye elemanları istenilen özel dayanım özelliklerini yansıtacak şekilde farklı tip ve formlarda, tasarıma uygun olarak seçilerek kullanılmaktadırlar. Genellikle takviye elemanları; fiber, kılcal kristal, ince plakalar, parçacık ve partikül formlarında kullanılmaktadırlar [8]. Özellikle 1930'lu yılların sonunda polimer endüstrisinin gelişmesi ile birlikte cam fiberlerin mühendislik malzemelerinde kullanılmaya başlamasıyla kompozit malzemeler önem arz etmeye başlamıştır. Polimerlerin elyaflarla takviye edilmesi sonucu elde edilen yüksek performans ve dayanım özellikleri, araştırmacıları bu alanda kullanılmak üzere farklı organik ve inorganik takviye elemanlarının geliştirilmesine yönlendirmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda boron, karbon, aramit ve yüksek elastikiyet modüllü fiber takviyeleri geliştirilmiştir [2,7,8].

Polimer esaslı kompozitlerde ve takviye elemanlarındaki bu gelişmeler; araştırmacıların çalışmalarını, metal matrisli kompozit (MMK), seramik matrisli kompozit ve intermetalik matrisli kompozitler ve bunlarda kullanılan takviye elemanlarının geliştirilmesinde teşvik edici bir rol oynamışlardır. Bu tür kompozitlerde kullanılan takviye elamanlarının, sadece yüksek dayanım ve yüksek elastikiyet modülü özelliklerine sahip olmaları değil, aynı zamanda çok iyi bir kimyasal kararlılık ve yüksek sıcaklılara dayanım özelliklerinin olması istenilmektedir. Bu kıstasa uygun olarak, karbon fiberler, silikon bazlı nanoksit fiberler ve alümina bazlı oksitli fiberler, yüksek sıcaklıklarda dayanım özellikleri bakımından geniş bir uygulama alanına sahiptirler [2].

3.5.1. Fiberler

Genellikle enine kesitleri dairesel (bazen oval, dikdörtgen ve hekzagonal olabilir), çapları yaklaşık olarak 100 μm ve boy/çap oranları 100 ve daha yukarısı olanlar uzun fiber veya elyaf olarak adlandırılmaktadırlar. Boy/çap oranları 10 ila 100 arasında olanlar ise kısa fiber olarak adlandırılmaktadır. Fiberler yapı bakımından karmaşık şekilli, çok kristalli ve tek kristalli yapıdadırlar. Metal matrisli kompozit malzemelerde fiberler genellikle mekanik özellikler ve yüksek sıcaklık dayanım özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla kullanılmaktadırlar [3]. Seramik esaslı kompozitlerde ise genellikle matrisin tokluk özelliğinin iyileştirilerek bu sayede mekanik özelliklerinin geliştirilmesi amacı ile kullanılmaktadırlar. Fiberlerle takviye edilmiş kompozitlerde dayanım özellikleri, fiberlerin yönüne ve çapına göre değişim göstermektedir. Fiberlerin çapının azalmasıyla kompozitin dayanım özellikleri artış göstermektedir. Şekil 3.3'de fiber çapının değişiminin, kompozitin fiber ekseni yönündeki çekme dayanımı üzerine etkisi görülmektedir [3].



Şekil 3.3. Fiber çapının kompozitin çekme dayanımı üzerine etkisi [3]

Fiber takviyeli kompozitlerde takviye elemanı olarak birçok malzemeden elde edilmiş fiberler kullanılabilmektedir. Bunlardan en önemlileri camdan elde edilen fiberler, boron fiber, karbon fiberler, yüksek performanslı organik fiberler, alümina

ve alümina bazlı fiberler, Silisyum karbür ve SiC esaslı fiberler, Silisyum nitrür esaslı fiberler, metal esaslı çelik ve tungstenden yapılmış fiberlerdir.

3.5.2. Kılcal kristaller

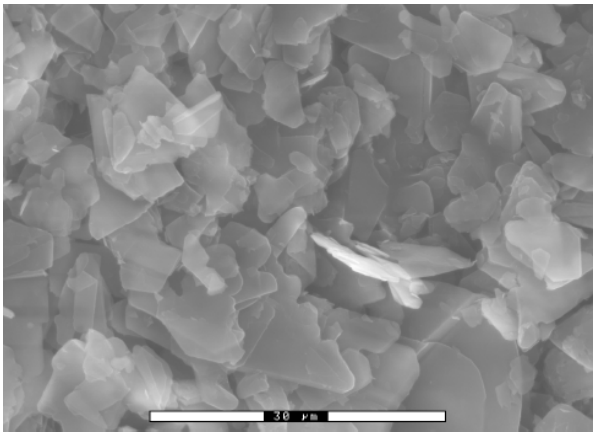
Kılcal kristal (whiskers) ya da tek kristalli parçacık olarak tanımlanan takviye elemanları, genellikle 1 mm'den daha küçük çapta ve boy/çap oranları da 10'dan daha küçük olan takviye elemanlarıdır. Kılcal kristaller, yapılarının tek kristalli olması, ebat olarak oldukça küçük çap ve boy/çap oranına sahip olmaları, yapısal özelliklerinin ve kimyasal kararlılıklarından dolayı, mükemmel bir dayanım, elastikiyet modülü ve kırılma uzamasına sahiptirler. Fakat sürekli fiberlerle kıyaslandıklarında kompoziti güçlendirme yönünden fiberler kadar etkili değildirler. Buna rağmen MMK malzemeler ve SMK malzemelerde takviye elemanı olarak kullanıldıklarında, aşınma direncinin ve tokluğun geliştirilmesi bakımından katkıları göz ardı edilemez [2].

Kılcal kristallerde mekanik özellikler üzerinde etkili olan en önemli faktör kılcal kristalin çapıdır. Çapın artmasıyla boy/çap oranının azalması ile dayanım özelliklerinin muhtemelen artacağı bilinmektedir. Başlıca kullanılan kılcal kristaller, karbon, SiC, Safire (α–Al_2O_3), Si_3N_4, SiO_2 esaslı takviye elemanlarıdır [2].

Kılcal kristallerle yapılan çalışmalarda mikron altı çapları ve iğnemsi yapılarından dolayı kompozitlerin üretimi esnasında ve talaşlı imalatla şekillendirilmelerinde insan sağlığını tehlikeli yönde etkileyeceği göz ardı edilmemelidir [2].

3.5.3. İnce yassı parçacıklar ve özel form verilmiş plakalar

İnce plaka halindeki parçacıklar genellikle, her yerde yaklaşık olarak aynı kalınlıkta fakat yüzey alanları değişebilen, mikron seviyesindeki ince yassı parçacıklardır. Parçacıklar ve fiberlere nazaran kompozit malzemelerde kullanımları sınırlıdır. Resim 3.1'de ince plaka halindeki parçacıkların SEM fotoğrafı görülmektedir.

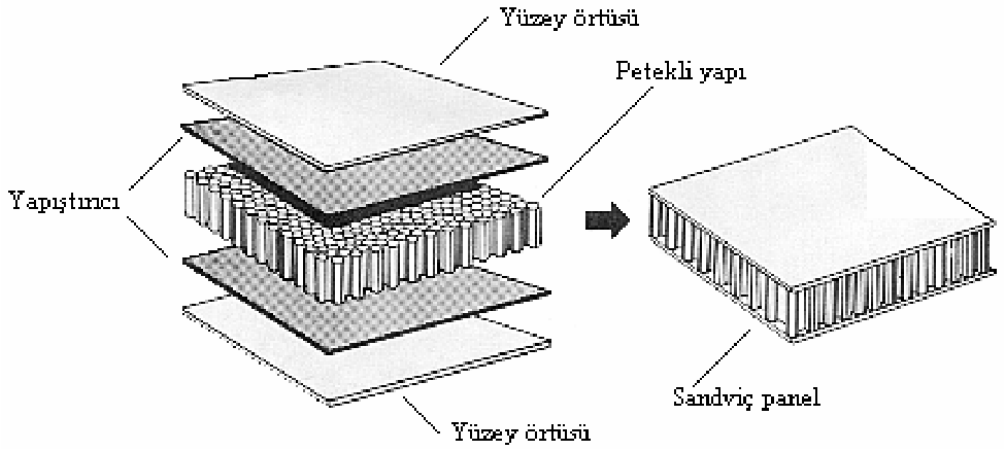


Resim 3.1. İnce plaka halindeki bor nitrür (BN) yassı plaka takviye elemanı [50] (Ölçek:30 μm)

Özel form verilmiş plakalardan en yaygın kullanılan ve bilinen tipi bal peteği formunda metal levhalardan şekillendirilmiş takviye elemanlarıdır. Bunlar genellikle büyük hacimli parçalarda yüksek dayanım ve düşük ağırlık özelliği ve esneklik istenilen parçaların imalatında kullanılmaktadır. Diğer bir deyişle, petekli kompozit yapılar, özellikle çarpma sonucu ortaya çıkan enerjinin absorbe edildiği, yüksek mekanik dayanım gerektiren tasarımlarda kullanılır. Oldukça hafif sistemler elde etmek için, sandviç yapıların iç ve dış tabakaları arasına bu petekli yapılar yerleştirilir. Tabakalar arasına petekli yapının yerleştirilmesi, yapının atalet momentinin ve eğilme dayanımının artmasını sağlar. Ondüle edilmiş plakaların birleştirilmesi sonucu elde edilen petek yapılı hücreler, sandviç yapıların iç (dolgu) malzemesini oluşturur [51].

Günümüzde kullanılan petekli yapıların büyük bir çoğunluğu bir yapıştırıcı sayesinde hücrelerin birbirleri ile yapıştırılması sonucu oluşturulurlar. Petekli yapılar genellikle sandviç yapılarda dolgu elemanı olarak kullanılırlar. Bir sandviç panel, petekli yapının alt ve üst yüzeylerin yapıştırıcı kullanılarak yüzey örtüleri ile yapıştırılması sonucu elde edilir (Şekil 3.4). Çelik, titanyum ve nikel alaşımlı metal hücre yapılı petekli yapılar yapıştırıcı yerine daha çok kaynak ve lehimleme ile birleştirilirler. Bu tür hücreler öncelikle yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılır. Yüksek rijitlik ve dayanım/ağırlık oranına sahip olan sandviç yapılar son derece hafif konstrüksiyonlardır. Petek yapılı kompozitler, diğer sandviç konstrüksiyon ara

malzemelerine oranla daha pahalıdır ve sandviç yapı haline dönüştürülmesi daha özel işçilik gerektirmektedir. Bu nedenle, genellikle denizcilik, havacılık ve uzay sektöründe yüksek mekanik dayanım sağlamak amacıyla kullanılmaktadır [51].



Şekil 3.4. Sandviç panelin yapıştırılarak elde edilmesi [51]

3.5.4. Parçacık ve partiküller

Kullanım miktarları bakımından, kompozitlerin imalinde en yaygın kullanılan takviye elemanları arasında mikrondan, nanometreye kadar değişen boyutları ile parçacıklar ve partiküller yer almaktadır. Boyutları 1 μm'den daha büyük olanlar parçacık, 1 μm'den daha küçük boyutlular ise partikül olarak adlandırılmaktadır [3].

Parçacık ya da partiküllerle takviyeli kompozitlerde matris içerisindeki takviye fazının hemen hemen homojen dağılım sergilemesi nedeniyle, kompozitin dayanımın özellikleri her yere yaklaşık olarak aynı özellikleri sergilemektedir. Partikül takviyeli kompozitlerde, matrisin içerisine yer alan partiküller nedeniyle dağılım sertleşmesi ile mekanik özellikleri iyileşmektedir. Bu da partiküllerin tane sınırlarında oluşan kaymaları engellemesi ile gerçekleşmektedir. Bu tür partiküllerle takviyeli kompozitlerde takviye fazının malzemeye gelen yükü taşıması gibi bir durum söz konusu değildir.

Genellikle toz metalürjisi yöntemi ile malzeme üretiminde kullanılan metal tozlar, metal malzeme ve kompozit üretimi açısından ortalama boyutları birkaç mikrondan

birkaç yüz mikrona kadar parçalanmış nanometre boyutlu partiküllerdir. Bunlar; toz olarak adlandırılmıştır. Tozun geometrik şekli üretim yöntemine bağlı olarak küreselden, dentritik formlara kadar farlılık göstermektedir. Aynı şekilde tozun yüzey durumu da yani düzgün veya gözenekli olması da yine üretim yöntemine göre değişiklik göstermektedir. Tozun ortalama boyutları, şekli ve yüzey durumu parça imali açısından önemlidir. Toz üretimi, esas olarak mekanik, fizikokimyasal, kimyasal, ve elektrokimyasal olmak üzere dört ana grupta toplanmaktadır [4].

Parçacık olarak adlandırılan takviye elemanları genelde seramik parçacıklar, elmas tozları, grafit ve karbondan elde edilmiş 1 μm'dan büyük tanelerdir. MMK'lerin imalinde en yaygın olarak kullanılan parçacıklar; SiC, Al_2O_3, ZiO_2, TiC, TiB_2, Si_3N_4, WC, elmas, grafit, karbon gibi aşınma dayanımları yüksek belirli bir formları olamayan çeşitli seramik, karbür bileşikleri, grafit ve karbon taneleridir. Çizelge 3.2'de de çeşitli parçacık takviye elemanlarına ait teknik veriler bulunmaktadır.

Çizelge 3.2. Çeşitli parçacık tipindeki takviye elemanlarının tipik özellikleri [2,3]

Malzeme	**Yoğunluk (g/cm^3)**	**Ergime Nok.(°C)**	**Sertlik (Moh)**	**Isı iletkenliği** KCal/sa/cm/°C	**Isıl gen. kat.** (20-800°C), ($x10^{-6}$ $°C^{-1}$)
SiC	3,2	2320	9,2	35,83	4,68
Al_2O_3	3,2-3,8	2015	9	2,04	7,9
Karbon	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

3.6. Takviye Elemanlarının Kompozitin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesindeki Rolü

Takviye elemanları, metal ve seramik esaslı kompozitlerde kompozit yapı içerisinde, farklı görevleri yerine getirmek amacıyla kullanılmaktadırlar. Metal esaslı kompozitlerde takviye elemanı; yapı içerisinde var olan yada uygulanan dış kuvvetlerle ortaya çıkan çatlakların ilerlemesini ve termal boyut dengesini sağlayarak yorulmayı engeller. Fakat ana malzeme ile aralarında oluşan kırılgan ara yüzey

bağının var olması, topaklanma eğilimleri, kırılgan yapı ve şekilleri nedeniyle kompozitin tokluğunu azaltarak kırılganlığını arttırır. Seramik esaslı kompozit malzemelerde ise takviye elemanı tokluk özelliğini iyileştirmek ve dayanım özelliklerinde bir miktar artış sağlayarak yüksek sıcaklıkta çalışma özelliklerini iyileştirmek amacıyla kullanılmaktadır [6].

Takviye elemanlarının mekanik özellikleri iyileştirmesi üstlendikleri farklı mekanizmalar ile gerçekleşmektedir. Metal esaslı kompozitlerde partiküller soğuma esnasında tane sınırlarına itilerek bu bölgelerde yerleşmek zorunda kalmaktadırlar. Bu bölgelerde takviye elemanları çekirdeklenmeyi sağlar. Takviye elemanı hem tane sınırlarını bloke eder hem de çekirdeklenmeyi hızlandırarak tane boyutunu büyütür. Fakat matris ve takviye elemanı arasında ısıl genleşme katsayısı farkı yüksek ise katılaşma esnasında bu farklılıktan dolayı tane boyutu küçülmektedir. Bu fark azaltılarak takviye elemanı etrafındaki bölgelerde tane büyüklükleri artırılabilir.

Yüksek sıcaklık ve yük altında meydana gelen sürünme tane sınırlarında etkilidir. Çünkü tane sınırlarındaki atomların koordinasyon sayısı düşüktür. Başka bir deyişle komşu özdeş atom sayısı azdır ve aynı zamanda farklı tipteki atomların yerleştiği yerlerdir. Bu nedenle atomun enerji potansiyeli yüksektir. Isı ve kuvvetle atom sürünmenin bir etkisi olarak enerji düzeyi yönünden daha dengeli yere doğru hareket eder. Tane sınırlarındaki bu atom hareketleri bölgesel deformasyonları oluşturmaktadır. Bu deformasyonlar tane sınırları yakınlarında bulunarak alt tane sınırlarını oluşturan parçacık ya da partiküller tarafından engellenmekte ve belirli bir yerde bloke edilmektedir. Takviye elemanları tarafından yapılan bu engelleme kompozitin çekme ve akma dayanımında matrise nazaran artışın elde edilmesini sağlamaktadır. Aynı zamanda kompozitin sürünme dayanımı ve elastikiyet modülü artmaktadır. Kompozit yapı içerisinde genellikle aşınma dayanımı yüksek takviye elemanlarının var olması nedeniyle de matrise nazaran aşınma dayanımında da mükemmel bir artış söz konusudur.

Üretim yöntemleri takviye ve matris alaşımının yapı özelliklerine göre kompozitin dayanım özellikleri farklılık göstermektedir. Metal esaslı kompozitlerde takviye

elemanlarının cinsine göre mekanik özellikler değişim gösterir. Bunlar; en iyi özellikten en kötü dayanım özelliğine doğru;

Sürekli elyaf	>	*Kısa elyaf ve kılcal kristal*	>	*Parçacık*	>	*Partikül*
% 99 yük taşır.		% 40-60 yük taşır.		Yük paylaşımı vardır.		Yük taşımaz.

sıralanabilir.

Sürekli elyaf takviyeli kompozitlerde çekme dayanımında % 30 ila % 110 oranında elastikiyet modülünde % 30 ila % 250 civarında matrise göre artış sağlanabilir. Fakat süneklikte ise % 50 ila % 70 oranında azalma vardır. Bu oranlar fiber hacim oranı ve türüne göre değişim gösterir [6].

Partikül takviyeli kompozitlerde takviye elemanı yük taşımaz. Çökelek ve partiküllerin mikroyapı ve dislokasyon etkilerinin bir sonucu olarak ana malzeme mekanik özellikleri gelişir [6].

3.7. Kompozitlerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler farklı şekillerde sınıflandırılmaktadırlar. En genel anlamda kompozitleri iki sınıfa ayırabiliriz:

a) Doğal kompozit malzemeler
b) Yapay kompozit malzemeler

Doğal kompozit malzemeler doğada var olan insan tarafından üretilmemiş malzemelerdir. Bunlara örnek olarak ağaçları, insan ve hayvan vücutlarını, doğal kamışları, salyangoz kabuğu, yer kabuğu ve bunlara benzerleri verilebilir.

Yapay kompozit malzemeler ise insanlar tarafından üretilen genellikle endüstriyel alanlarda ve insan hayatını kolaylaştırmak amacıyla çeşitli alanlarda kullanılan

kompozit malzeme grubudur. Yapay kompozit malzemeler kendi aralarında gruplandırılırsa;

a) Güncel yaşamda kullanılan kompozit malzemeler. Bunlar arasında; zift – çakıl taş karışımı asfalt yollar, saman ve kil karışımı tuğlalar, çelik çubuk – çimento ve toprak karışımı inşaat kolonları, çakıl taş – çimento ve toprak mozaik karışımları, değişik birleştiriciler kullanılarak bir araya getirilmiş granit ve mermer karışımları, vb. sayılabilir.

b) Endüstriyel alanlarda makine ve imalat sektöründe kullanılan kompozit malzemeler.

İkinci grupta yer alan kompozit malzemeler bünyelerinde yer alan takviye fazının şekline ve matris fazının tipine göre iki şekilde ayrı ayrı gruplandırılmaktadırlar. Bunlardan birincisi takviye fazının şekline bağlı olarak yapılan sınıflandırmadır. Bunlar da;

A. Elyaf (fiber) takviyeli kompozit malzemeler

a) Sürekli elyaf takviyeli kompozitler

a1.) Doğrusal yönlendirilmiş sürekli elyaf takviyeli kompozitler

I – Tek yönlü yönlendirilmiş elyaflarla sürekli elyaf takviyeli kompozitler

II – İki yönlü yönlendirilmiş elyaflarla sürekli elyaf takviyeli kompozitler

III – Üç yönlü yönlendirilmiş elyaflarla sürekli elyaf takviyeli kompozitler.

a2.) Açısal yönlendirilmiş sürekli elyaf takviyeli kompozitler.

a3.) Rastgele yönlendirilmiş sürekli elyaf takviyeli kompozitler.

b) Kısa elyaflarla takviyeli kompozit malzemeler.

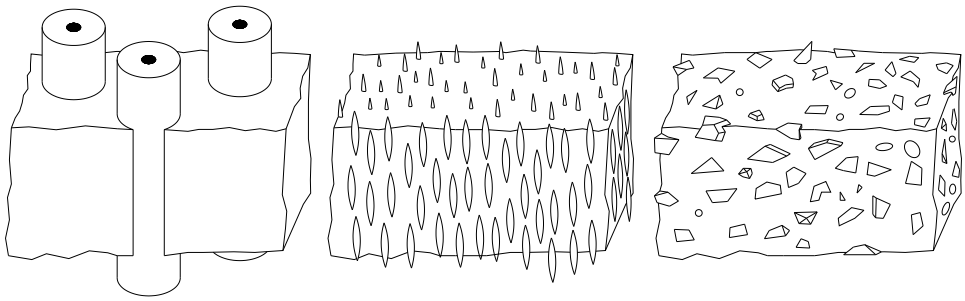
B. Kılcal kristal (whisker) takviyeli kompozit malzemeler.

C. Parçacık yada partikül takviyeli kompozitler.

D. Plaka takviyeli kompozitler.

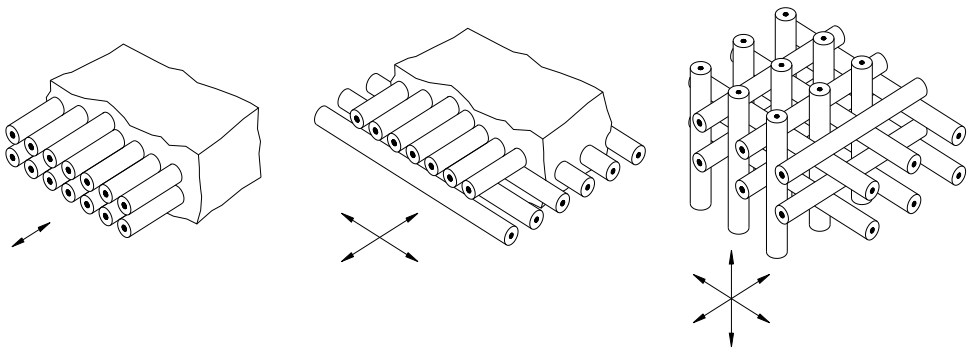
E. Karma (hybrid) takviyeli kompozit malzemeler olarak gruplandırılmaktadırlar.

Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'da takviye fazının şekline göre sınıflandırma işlemlerinin teknik resim olarak detayları sunulmaktadır.



(a) (b) (c)

Şekil 3.5. Takviye fazının şekline göre endüstriyel kompozitlerin sınıflandırılması
a) Elyaf takviyeli kompozitler, b) Kılcal kristal takviyeli kompozitler,
c) Parçacık takviyeli kompozitler



(a) (b) (c)

Şekil 3.6. Doğrusal yönlü elyaflarla takviye edilmiş kompozitlerin farklı şekillerdeki takviye işlemi
a) Tek yönlü yönlendirilmiş elyaflar, b) İki yönlü yönlendirilmiş elyaflar,
c) Üç yönlü ya da karmaşık yönlendirilmiş elyaflar

İkinci sınıflandırma şekli olan matris fazının çeşidine göre, kompozit malzemeler aşağıdaki gibi gruplandırılabilir;

A. Polimer esaslı kompozit malzemeler,
B. Metal esaslı kompozit malzemeler,
C. Cam esaslı kompozit malzemeler,
D. Refraktör malzeme esaslı kompozit malzemeler,

a) Seramik esaslı kompozit malzemeler,
b) Karbon esaslı kompozit malzemeler.

3.7.1. Polimer esaslı kompozit malzemeler

Polimer malzemeler, düşük yoğunluğa sahip olmaları, kolay elde edilebilmeleri, bunlarla kompozit üretiminin klasik polimer malzeme üretim teknolojisi ile bire bir uyum sağlıyor olması, kompozit üretimlerinde yüksek sıcaklıklarla uğraşılmaması ve elektrik iletkenliklerinin olmaması gibi nedenlerden dolayı en çok kullanılan ana faz malzemelerindendirler. Polimer esaslı kompozit malzemeler ise polimer malzemelere ilaveten, yüksek aşınma ve korozyon direnci, sıcaklık dayanımlarının polimerlere göre yüksek oluşu gibi ilave nedenlerden dolayı endüstride uçaklarda, savaş helikopterlerinde, roket, uzay araçları ve otomotiv sanayi gibi alanlarda oldukça fazla kullanım alanı bulmaktadırlar [4,50].

En çok kullanılan polimer esaslı kompozit malzeme kombinasyonları; Cam elyafı + polyester, karbon elyafı + epoksi ve aramid elyafi + epoksi birleşimleridir. Kompozit malzemeler katlı tabakalar veya ince tabakalar halinde uygulanabilmektedir. Çeşitli plastik malzemelerin, seramik, metal, bazen de sert polimerlerin elyafları ile güçlendirilerek özellikleri daha iyi olan malzemeler üretmek mümkündür. Polimer esaslı kompozit malzemeler içindeki plastik sayesinde kolaylıkla şekil verilebilmeleri ve takviye elyaflar sayesinde son derece sağlam, sert ve hafif olan bu malzeme kombinasyonları, yepyeni uygulama alanlarında karşımıza çıkmaktadırlar [53].

Plastikler, metallerle karşılaştırıldığında çok düşük dayanım ve elastikiyet modülüne sahip oldukları ve aynı zorlama için daha büyük hacimler gerektirdiğinden dolayı her zaman tercih edilmezler. Kuvvet etkisinde oda sıcaklığında bile sünme ve zamana bağlı şekil değiştirmeler oluşabilmektedir [8].

3.7.2. Metal matrisli kompozit malzemeler

Genelde kompozitler matris fazı içerisinde takviye fazının düzenli olarak dağıtılması ile üretilmektedirler. Takviye elemanı olarak da genellikle parçacık, kılcal kristal (whiskers), kısa fiber ya da sürekli fiberle kullanılmaktadır. Burada matris fazı olarak metallerin kullanılması, üretilen bu kompozit malzemelerin MMK olarak adlandırılmalarını ve böylece diğer kompozitlerden ticari anlamda ayrılmalarını sağlamaktadır.

Metal matrisli kompozitlerde mekanik özellikleri belirleyen, yapıları içerisinde yer alan üç önemli ana bileşen mevcuttur. Bunlar, takviye fazı, matris elemanı ve ara yüzey bağıdır. Buradaki en önemli görev matris fazına düşmektedir. Görevi yapı içerisinde yer alan takviye fazını, tasarlanan biçimde bir arada tutmak ve gelen kuvvetleri herhangi bir değişime uğramadan takviye fazına iletmektir. Bu durum özellikle en genel manada polimer matrisli kompozitlerde matris fazından beklenen özelliktir. Buna rağmen, matrisin mikro yapısının kompozitin mekanik özelliklerine ve tüm kullanım performansına etkisinin var olduğunun farkına daha yeni varılmıştır. Metal matrisli kompozitlerde matrisin bu etkisinin var olduğu bir gerçektir. Çünkü metal matris fazına kompozitin üretimi esnasında uygulanan yöntem ve ilave edilen takviye fazı elemanlarının bünyesinde var olması nedeniyle mikro yapısının değişime uğradığı ve bu değişiminde kompozitin mekanik özelliklerine doğrudan yansıdığı bilinmektedir [2].

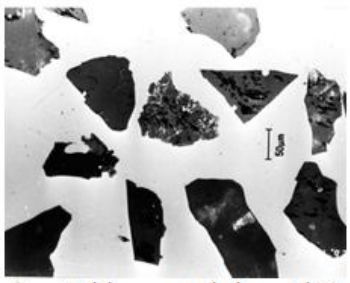
Metal matrisli kompozit malzeme çeşitleri

MMK'ler bünyelerinde yer alan takviye fazlarının tiplerine göre beş farklı yapıda sınıflandırılmaktadırlar. Resim 3.2'de farklı tipteki kompozitlerin mikroyapı fotoğrafları sunulmaktadır.

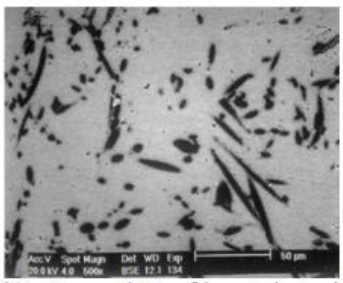
a) Parçacık takviyeli kompozitler,
b) Kısa fiber yada kılcal kristal takviyeli kompozitler,
c) Sürekli elyaf takviyeli kompozitler,

d) Plaka takviyeli kompozitler,

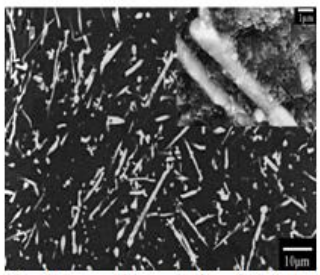
e) Karma (hybrid) takviyeli kompozitler.



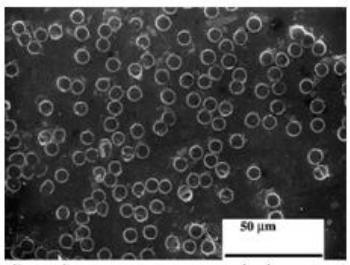
a) Çelik matriksli Al_2O_3 parçacık takviyeli kompozit.



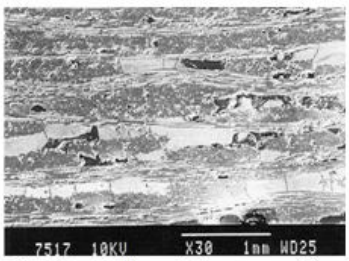
b) Kısa Al_2O_3 fiber takviyeli alüminyum matriksli kompozit.



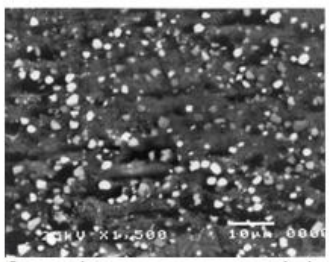
c) Seramik esaslı, hacimce %15 oranında Ti_xCN_{1-x} kılcal kristal takviyeli kompozit.



d) Alüminyum matriksli, %30 oranında Nikel kaplı karbon fiber takviyeli kompozit



e) Seramik plaka ve fiber katmanlı kompozit.



f) Alüminyum matriksli, Al_2O_3 ve TiC parçacık takviyeli kompozit.

Resim 3.2. Farklı tipteki kompozit malzeme mikroyapıları
a) Parçacık takviyeli [18], b) Kısa fiber takviyeli [15],
c) Kılcal kristal takviyeli [54], d) Sürekli elyaf takviyeli [55],
e) Plaka takviyeli [56], f) Hybrid takviyeli [52]

Parçacık, kılcal kristal, kısa fiber takviyeli ve hybrid takviyeli kompozitler; sürekli elyaf takviyeli kompozitler ve metallerle kıyaslandığında, aşağıdaki nedenlerden dolayı özel önem taşımaktadırlar.

- Bu tipteki kompozitlerin sürekli elyaf takviyeli kompozitlere göre üretimleri daha kolay ve ucuzdur.
- Geleneksel metalürji üretim yöntemleri (döküm ve toz metalürjisi, vb.) ile üretilebilir ve sonrasında geleneksel ikincil şekillendirme yöntemleri (ısıl işlem, ekstrüzyon, soğuk ve sıcak presleme, vb.) ile şekillendirilmeleri mümkündür.
- Metallerle karşılaştırıldıklarında yüksek sıcaklık dayanımları daha yüksektir.
- Elastikiyet modülleri (malzemenin eğilip bükülmeye karşı göstermiş olduğu direnç) ve dayanımları daha iyidir.

- Isıl genleşme katsayıları metallere nazaran daha düşüktür.
- Mükemmel aşınma dayanımına sahiptirler.

Sürekli elyaf takviyeli kompozitlerle kıyaslandıklarında mekanik özellikleri nispeten her bölgelerinde aynıdır. Dayanımları sürekli elyaf takviyeli kompozitlerde olduğu gibi fiber yönüne göre değişim göstermez [3,4,6].

Yaygın olarak kullanılan metal matris malzemeleri

Matris malzemesi olarak metal ve alaşımlarının birçoğu MMK'lerin üretiminde kullanılmaktadır. Kompozitlerin üretiminde yaygın olarak kullanılan alüminyum, titanyum, magnezyum, bakır metallerinin özellikleri ve genel kullanım alanları aşağıdadır.

Alüminyum ve alaşımları

Alüminyum ve alaşımları düşük yoğunlukları, iyi tokluk, dayanım ve süneklik özellikleri, atmosfere ve diğer ortamlara karşı yüksek korozyon dirençleri, şekillendirme kabiliyetlerinin ve mekanik özelliklerinin ikincil işlemlerle modifiye edilebiliyor olması gibi avantajlı özelliklerinden dolayı genlikle otomotiv, spor, uzay ve havacılık endüstrilerinde tercih edilen malzemelerdendirler. Başlıca alaşım elementleri Mg, Mn, Si, Cu ve Zn' dir. Bu alaşım elementlerinden Al-Cu-Mg ve Al-Zn-Mg-Cu içerikli alüminyum alaşımları, yaşlandırma yöntemi ile sertleşebilmektedirler [9].

Yukarıdaki bu iyi özelliklerinin yanında alüminyum'un döküm yoluyla üretimlerinde, oksijene olan yüksek ilgisi nedeniyle, mekanik özelliklerinin kötü yönde etkilenmesi söz konusudur. Ancak bu durum, alaşım elementleri ve üretimlerinde asal gazlardan (Argon, helyum) oluşan koruyucu atmosferler kullanılarak en aza indirilebilmektedir. Ayrıca kaynaklı birleştirmelerinin çeliklere nazaran kötü olması da dezavantajlı yanlarındandır [9].

Alüminyum alaşımları, üretim yöntemlerine göre işlem alaşımları ve döküm alaşımları olarak iki ana gruba ayrılmaktadır. İşlem alaşımları; yeniden ergitme ve döküm, yüzey uzaklaştırma, ön ısıtma veya homejenizasyon, sıcak haddeleme, soğuk haddeleme işlemlerinden geçerek üretilmektedir. Bu alüminyum alaşımları dört basamaklı bir kodlama yöntemi ile içerisinde yer alan ana alaşım elementlerine göre gruplandırılmaktadır. Döküm alaşımlarında da yine işlem alaşımlarına benzer, dört basamaklı bir kodlama yöntemi kullanılmaktadır. Fakat son sayısı nokta ya da kesir işareti ile ayrılmıştır [9]. Alüminyum alaşımları ve ısıl işlem durumları Çizelge 3.3'te sunulmuştur.

Çizelge 3.3. Alüminyum alaşım çeşitleri ve ısıl işlem durumları [9]

İşlem (Dövme) Alüminyum alaşımları		
Ana alaşım elementleri	**Alaşım türü**	**Isıl işlem durumu**
Arı Al (% 99)	1xxx	Yaşlanmaz
Al – Bakır	2xxx	Yaşlanır
Al – Silisyum(Cu- Mg ilave edilmiş)	3xxx	Yaşlanmaz
Al – Silisyum	4xxx	Mg Eklenirse yaşlanır
Al – Magnezyum	5xxx	Yaşlanmaz
Al – Magnezyum ve Silisyum	6xxx	% 2 Mg içerirse yaşlanır
Al – Çinko	7xxx	Yaşlanmaz
Al – Kalay	8xxx	Yaşlanmaz
Al – Diğer elementler	9xxx	% 2 Cu, Mg içe. yaşlanır
Döküm Alüminyum alaşımları		
Ana alaşım elementleri	**Alaşım türü**	**Isıl işlem durumu**
Arı Al (% 99)	1xx.x	Yaşlanmaz
Al – Bakır	2xx.x	Yaşlanır
Al – Mangan	3xx.x	Yaşlanmaz
Al – Silisyum	4xx.x	Yaşlanmaz
Al – Magnezyum	5xx.x	Yaşlanmaz
Al – Magnezyum ve Silisyum	6xx.x	Yaşlanır
Al – Çinko	7xx.x	Yaşlanmaz
Al – Diğer elementler (Sn – Li)	8xx.x	Yaşlanır
Kullanılmamış seriler	9xx.x	% 2 Cu, Mg içe. yaşlanır

Çalışmada MMK'lerin imalatında ana faz malzemesi olarak AA-6082 alaşımı kullanılmıştır. Alüminyum magnezyum alaşımlarından olan AA-6082 alaşımı orta dereceli mukavemet ve mükemmel korozyon dayanımı ile dikkat çekmektedir. 6xxx serisi alüminyum alaşımları içerisinde en iyi mukavemete sahiptir. Aynı zamanda

yapı özellikleri ve faz değişimleri bilinen bir alüminyum alaşımıdır. Yeni bir alüminyum alaşım serisi olmasına rağmen yüksek dayanım özellikleri nedeniyle, yaygın olarak kullanılmakta olan AA-6061 alaşımının yerini almaktadır. Yapısında yer alan büyük miktarlı mangan sayesinde tane yapısı kontrol edilebilmektedir. T6 ve T651 yaşlandırma ısıl işlemleri ile işlenebilirliği iyileştirilebilir ve talaş kırıcılı takımlar kullanıldığında gevrek yapısından dolayı kısa yay formlu kırılmış talaş çıkışı meydana gelmektedir. Çizelge 3.4'te değişik ısıl işlemler neticesinde elde edilebilen mekanik özellikler ve Çizelge 3.5'te de bu alüminyum alaşımına ait tipik fiziksel özellikler görülmektedir.

Çizelge 3.4. Farklı ısıl işlemlerde AA-6082'ye ait tipik mekanik özellikler [4,9]

	O	**T4**	**T6/T651**
Deneme akma dayanımı (0,2% MPa)	60	170	310
Çekme dayanımı, (MPa)	130	260	340
Kayma dayanımı, (MPa)	85	170	210
Uzama miktarı, A5, (%)	27	19	11
Sertlik, Vickers, (HV)	35	75	100

Çizelge 3.5. AA-6082'nin tipik fiziksel özellikleri [4,9]

Özellik	**Değer**
Yoğunluk	2,70 g/cm^3
Ergime noktası	655 °C
Elastikiyet modülü	70 GPa
Elektrik direnci	0,038x10^{-6} Ω.m
Isı iletkenliği	180 W/m.K
Isıl genleşme miktarı	24x10^{-6} /K

Titanyum alaşımları

Titanyum alaşımları uzay endüstrisinde vazgeçilmez bir malzemedir. En önemli özelikleri yüksek ergime sıcaklığına sahip olması, diğer metallere göre ısıl genleşme katsayısı ve ısı iletim katsayısının düşük olması, yoğunluğunun düşük olmasına

rağmen dayanım özelliklerinin iyi olması, oksijene olan duyarlığı nedeniyle oda sıcaklığında bile yararlı oksitlenme dediğimiz yüzeyinde korozyon direnci yüksek TiO_2 tabakası oluşturması gibi nedenler sayılabilir. Tüm bu yararlı faktörler titanyumun havacılık ve uzay endüstrisinde ideal bir malzeme olmasını sağlamaktadır [4]. Titanyum alaşımları jet motorlarında türbin ve kompresör kanatlarında halen kullanılmaktadır.

Titanyum hemen hemen bütün silikat taşlarında (TiO_2), ilmenit ($FeTiO_3$) mineralinde ve boksitte bulunur. Saf titanyum eldesi $TiCl_4$ bileşiğinin magnezyum ile indirgenmesi sonucunda elde edilir [9].

Titanyum alaşımları α ve β olmak üzere iki farklı morfolojidedir. α – Titanyum hegzagonal sıkı paket kafes yapısındadır ve özelliğini 885 °C'nin altındaki sıcaklıklarda muhafaza edebilmektedir. β – Titanyum ise hacim merkezli kübik kafes yapısındadır ve yine 885 °C'nin altındaki sıcaklıklarda özelliklerini muhafaza edebilmektedir [4,9].

Magnezyum alaşımları

Magnezyum alaşımları hafif metallerin bir üyesidir. Günümüzde magnezyum, tuzlu su kaynaklarından ve deniz suyundan elde edilen bir bileşik olan erimiş magnezyum klorürün, elektrolizi yoluyla elde edilir. Bu yalın tepkimeye bir karbon atoma anot, bir demir atomuysa katot olarak katılır [9]. Özgül ağırlığı 1,74 g/cm^3 tür. Konstrüksiyon malzemesi olarak kullanılan metalik malzemeler içinde magnezyum en hafif olanıdır. Yoğunluğu ve buharlaşma özellikleri bakımından plastiklere benzerken, metallerinde mekanik özelliklerini sergilemektedir. Ayrıca magnezyum plastiklere göre çok daha katı ve çok daha fazla geri dönüşümü mümkün bir malzemedir. Magnezyumun yoğunluğu alüminyuma göre % 33, çeliğe göre % 75 daha düşüktür [4,9].

Yer kabuğunda bulunan minerallerin % 2,5 kadarı magnezyum içerir. Magnezyumun kazanıldığı üç temel kaynak bulunmaktadır. Bunlar, deniz suyu, mineral kayaçlar ve asbesttir [4,9].

Magnezyum alaşımları, 160-300 N/mm^2 çekme dayanımı, 80-190 N/mm^2 % 0,2 akma dayanımı ve % 2-15 kopma uzamasına sahip alaşımlardır. Bu alaşımlar kara taşıtlarında, elektronik, bilgisayar ve spor gereçleri endüstrisinde kullanım alanı bulmaktadır. Magnezyum alaşımlı MMK'ler da 350 °C'nin üzerindeki servis sıcaklıklarında motor elemanı, örneğin piston üretiminde kullanılmaktadır [4,9,58].

Geleneksel magnezyum alaşımları iki ana mekanizma ile güçlendirilirler:

- Katı eriyik sertleştirmesi,
- Çökelti sertleştirmesi [4,9].

Katı eriyik sertleştirmesi tamamen elementlerin atomik boyutları ile ilgilidir. Magnezyum içinde maksimum çözünebilen elementler IIB grubu elementleridir. Bunlardan en önemlileri HSP çinko ve kadmiyumdur. Sadece kadmiyum yüksek sıcaklıklarda (>253 °C) magnezyum ile sürekli katı eriyik oluşturur. Magnezyumun önemli alaşım grupları magnezyum-alüminyum, magnezyum-çinko ve magnezyum-toprak alkali olarak gruplandırılırlar. Ama en geniş spektrum alüminyum ve çinko grubudur. Magnezyum alaşımlarının geliştirilmesinde, çok az miktarda yüzey aktif elemenler olan Ca, Sr, Ba veya Sb, Sn, Pb ve Bi katılarak mikro-alaşımlandırma denenmektedir. Yüksek sıcaklık uygulamaları için geliştirilen yeni magnezyum alaşımlarında nadir toprak metalleri kullanılmaktadır [9,57,58].

Bakır alaşımları

Bakır, alaşımsız ve alaşımlı olarak endüstrinin birçok alanında yaygın olarak kullanıldığı için önemli bir mühendislik metalidir. Alaşımsız yapıda elektrik iletkenliğinin iyi oluşu elektrik endüstrisinin esas malzemesi olmasını sağlamıştır. Bakırın bazı önemli özellikleri; yüksek elektrik iletkenliği, korozyon direnci, kolay

fabrikasyon için yeterli çekme dayanımı, kontrol edilebilen tavlama özellikleri ve genel lehimleme ve birleştirme özellikleridir. Diğer metaller ile alaşımlanması sonucu elde edilen pirinç ve bronzun geniş çeşitliliği pek çok mühendislik uygulamaları için kullanım alanını arttırmaktadır [9].

Bakır ve bakır alaşımları, bakır geliştirme birliği ile yönetilen bir tasarım sistemine göre sınıflandırılır. Bu sistemde C100'den C799'a kadar numaralar dövme alaşımları, C800'den C999'a kadar numaralar döküm alaşımlarını belirler [9].

Bakır alaşımlı MMK'ler genellikle, toz metalürjisi ve ergimiş metal karıştırma yöntemleri ile seramik ya da grafit parçacık ve partiküllerle takviye edilerek, elektrik motorları ve çeşitli endüstri makinalarında, yataklama elemanı olarak, sürtünme dirençlerinin ve darbe dayanımlarının iyi olması nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır [9].

MMK'lerde kullanılan takviye elemanları

Takviye elemanları istenilen özel dayanım özelliklerini yansıtacak şekilde farklı tip ve formlarda, tasarıma uygun olarak seçilerek, MMK malzemelerin üretimlerinde kullanılmaktadırlar. Genellikle takviye elemanlarının formları; sürekli fiber, kılcal kristal, parçacık ve partikül olarak kullanılmaktadır. Kullanılan takviye çeşitleri bakımından, seramikler, genellikle yüksek sıcaklık ve dayanım özellikleri nedeniyle kullanılmaktadır. Bu seramikler oksitler, karbürler ve nitrürlerden oluşur. Yaygın olarak kullanılan takviye elemanları SiC, Al_2O_3, TiB_2, bor ve grafittir [7,8]. Takviye elemanı seçiminde dikkate alınması gereken hususlar:

- Elastikiyet modülü,
- Çekme dayanımı,
- Yoğunluk,
- Ergime sıcaklığı,
- Kimyasal kararlılık,

- Isıl genleşme katsayısı,
- Boyut ve şekil,
- Matris malzemesiyle uyumluluk,
- Maliyet,

şeklinde sıralanabilir [3,6-8].

Süreksiz takviyeli MMK malzemelerin yapısal etkinliği takviye fazlarının yoğunluğu, elastikiyet modülü ve çekme dayanımının bir fonksiyonudur. Takviye elemanının matris malzemesiyle kimyasal kararlılığı ve uyumluluğu MMK malzemelerin hem üretimleri esnasında ve hem de kullanımları esnasında önemlidir. Matris ve takviye elemanı arasındaki uyumsuzluk deformasyonu (mismatch strain), ε, kullanımları esnasında ısıl değişimlere maruz kalacak kompozitler için önemli bir faktördür. Eş. 3.1'e göre, ε, matris ve takviye elemanlarının ısıl genleşme katsayıları arasındaki farkın, $\Delta\alpha$, bir fonksiyonudur:

$$\varepsilon = \Delta\alpha\Delta T \qquad (3.1)$$

Burada, ΔT sıcaklık değişimidir. Deformasyon birikimini (strain accumulation) azaltmak için $\Delta\alpha$'nın azaltılması gerekir [4-7].

Alüminyum oksit takviye elemanı

Seramik malzemelerin metal oksitler sınıfında yer alan alüminyum oksit en yaygın kullanım alanına sahip seramiklerdendir. Ticari alüminyum oksitlerin birçoğu alüminyum hidroksitin ayrıştırılmasından elde edilir. Alüminyum oksit α, χ, η, δ, κ, θ, γ, ρ gibi birçok formda alüminyum hidroksit ya da alüminyum oksi hidroksitin ısıl işlemleri ile elde edilmektedir. Bunlardan termodinamik olarak en kararlı olanı, α-alüminyum oksittir (α-Al_2O_3). Bu nedenle çalışmada alüminyum oksit formlarından en üstün özelliğe sahip olan α-Al_2O_3 parçacıkları kullanılmıştır. Çizelge 3.6'da alüminanın farklı saflık derecelerindeki bazı özellikleri sunulmuştur.

Çizelge 3.6. Alüminyum oksitin saflık derecesine göre bazı fiziksel ve mekanik özellikleri [3,4,9]

	%86	**%94**	**%97,5**	**%99,5**	**%99,9**	**%99, 99**	**Saf**
Yoğunluk (g/cm^3)	3,5	3,7	3,78	3,89	3,9	3,9	3,985
Isı iletkenliği ($Wm^{-1}K^{-1}$)	15	20	24	26	28–35	28–35	41,9
Isıl genl. kat. (20-1000°C $x10^{-6}K^{-1}$)	7	7,6	8,1	8,3	8	8	5.8
Basma day. (MPa)	1800	2000	1750 – 2500	-	2200 – 2600	2200 – 2600	2100
Sertlik (HV, kgf/mm^2)	-	-	1500 – 1600	-	1500 – 1650	1500 – 1650	2500 – 3000

Karbon ve Grafit

Karbon ve grafit, mükemmel özellikleri nedeniyle özel imalat tasarımlarında, ürün tasarımcılarının vazgeçemediği malzemeler arasında yer almaktadırlar. Grafitin ısıl genleşme katsayısının düşük olması ve yüksek sıcaklıklarda diğer malzemelere nazaran mükemmel bir kafes yapısına doğru gitme eğilimi göstermesi, yüksek sıcaklıklarda dayanım özelliklerinin artmasına neden olmaktadır. Çoğu malzemenin aksine karbon ve grafitin mukavemet değerleri sıcaklığın artışıyla birlikte artar ve grafit 2500 °C'de maksimum mukavemete ulaşır. İzafi olarak, 2500 °C'deki mukavemeti, oda sıcaklığındaki değerin yaklaşık 2 katıdır. En yüksek mukavemet potansiyelinden faydalanmak için karbon malzemelerin sıcaklık ve basınç altında kullanılacağı tasarımlar uygulanmalıdır [4,9].

Karbon ürünler çözülmez ve erimez yapıda olup, organik çözücüler, antifrizler, soğutma maddeleri, boya ve reçine gibi yaklaşık tüm kimyasallara karşı dayanıklıdır. Birçok inorganik baz ve asitlere karşı da karbon yüksek dayanıklılık gösterir. Sentetik reçine ve metal emdirilmiş karbon parçalarının korozyona karşı dayanıklılığı, bulunduğu ortamın pH değerine bağlıdır. Genel olarak, sentetik reçine emdirilmiş karbonların asidik, metal emdirilmiş karbonların da alkalik (bazik) ortamlarda korozyona karşı dayanıklı olduğu kabul edilir. Ayrıca oksitlenme direnci yönünden karbon ve grafit yaklaşık olarak 500 °C'ye kadar havada oksitlenmeden kullanılabilirler [4,9]. Çizelge 3.7'de karbon ve grafit bileşimlerinin tipik özellikleri görülmektedir.

Çizelge 3.7. Karbon ve grafit bileşimlerinin tipik özelliklerinin değişimi [4,9]

	Karbon % 100	**Karbon-grafit (% 70 - % 30)**	**Karbon-grafit (% 30 - % 70)**	**Grafit % 100**
Yoğunluk (g/cm^3)	1,70	1,72	1,75	1,80
Sertlik, (BHN)	100	85	65	40
Basma dayanımı, (MN/m^2)	300	208	145	55
Eğilme dayanımı, (MN/m^2)	62	62	52	28
Elastikiyet modülü, (GN/m^2)	21	17	14	10
Isı iletkenliği, (W/m.°C)	5	9	12	85
Hava kul. sıc. sınırı (°C)	315	315	315	455

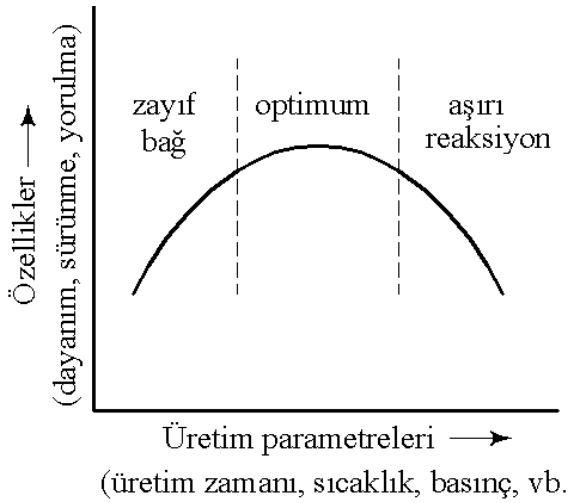
MMK'lerde tokluğun azalma ve kırılganlığın artma nedenleri

Malzemelerde mekanik özellikler ancak tek tip atomdan oluşan yapı ile en üst seviyede elde edilebilir. Fakat bu çoğu malzemenin ortamda bol miktarda bulunan oksijen gibi elementlere olan açlığı nedeniyle imkânsızdır. Bu nedenle alaşım elementlerinin kullanılıyor olması ve reaksiyonlar sonucu istenmeyen atomların yapı içerisinde oluşarak enerji düzeyi yönünden zayıf tane sınırlarında yerleşmesi nedeniyle, ana malzeme atomlarının koordinasyon katsayısını düşürmektedir. Bu nedenle de malzemenin mekanik özellikleri kötü yönde etkilenmektedir. Kompozit malzemelerde ise yapı içerisinde ikincil faz görevi gören partiküllerin varlığı ve matrisle yapmış oldukları ara yüzey bağ özelliklerinin zayıf ve kırılgan özellik sergilemesi matrisin tokluk ve kırılganlık özelliklerine çeşitli nedenlerle kötü yönde etkide bulunmaktadır [6]. Bu nedenler aşağıda açıklanmıştır.

a) Ara yüzey bağı özellikleri,

Kompozit yapı taşlarından biri olan ara yüzey bağı, kompozitin üretimi esnasında takviye ile matris fazı arasında meydana gelen kimyasal reaksiyonla oluşmuş, mekanik kenetlenme ve reaksiyon bağ kuvvetleri ile matris ile takviye elemanları arasında bağlantıyı gerçekleştiren bölgedir. Bu bölgelerin yapı özellikleri, kompozitin mekanik özelliklerini belirlemektedir. Matris-takviye elemanı temas bölgelerinde çeşitli üretim parametreleri (üretim zamanı, sıcaklık, basınç, vb.) etkisiyle oluşan ara yüzey bağı özellikleri farklılık göstermektedir. Başarı ile kontrol edilmiş üretim parametreleri ile elde edilmiş ara yüzey bağı kompozitin mekanik

özelliklerinin geliştirilmesine direkt olarak katkıda bulunacaktır. Şekil 3.7'de üretim parametrelerinin ara yüzey bağının oluşmasındaki etkileri ve sonucunda kompozitin mekanik özelliklerinin değişimi gösterilmektedir.

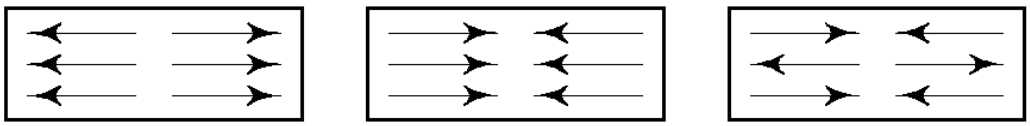


Şekil 3.7. Üretim parametrelerinin arayüzey bağı ve kompozitin mekanik özelliklerine etkileri [2]

Üretim parametrelerinin kontrolü ile optimum özelliklere sahip ara yüzey bağının elde edilmesi kompozitin dayanım özelliklerinin bazılarında iyileşme sağlarken, reaksiyon sonucu oluşan intermetalik (metaller arası faz) yada seramik türü kırılgan yapılar nedeniyle kompozitin tokluğu azalır ve kırılganlığı artar [6].

b) Gerilim yığılmalarının takviye elemanları etrafında daha yoğun olmakla birlikte ana malzeme içerisinde oluşması,

Gerilim yığılmaları, kompozitin üretimi ya da kompozit yapının ikincil metalürji işlemleri ile yeniden kristalleştirilmesi esnasında meydana gelen tane yönlenmeleri (texture) nedeniyle, belli yön ve doğrultulardaki mekanik özelliklerin değişmesine neden olmaktadır. Kompozit yapı içerisinde meydana gelen bu kalıcı gerilmelerin yönü önemlidir. Malzemelerde meydana gelen başlıca kalıcı gerilim yığılımı tipleri Şekil 3.8'de gösterilmiştir. Kompozitlerin üretimi esnasında matris ile takviye fazı arasındaki ısıl genleşme farklılıkları nedeniyle gerilim yığılmalarının oluşumu kaçınılmazdır [6].

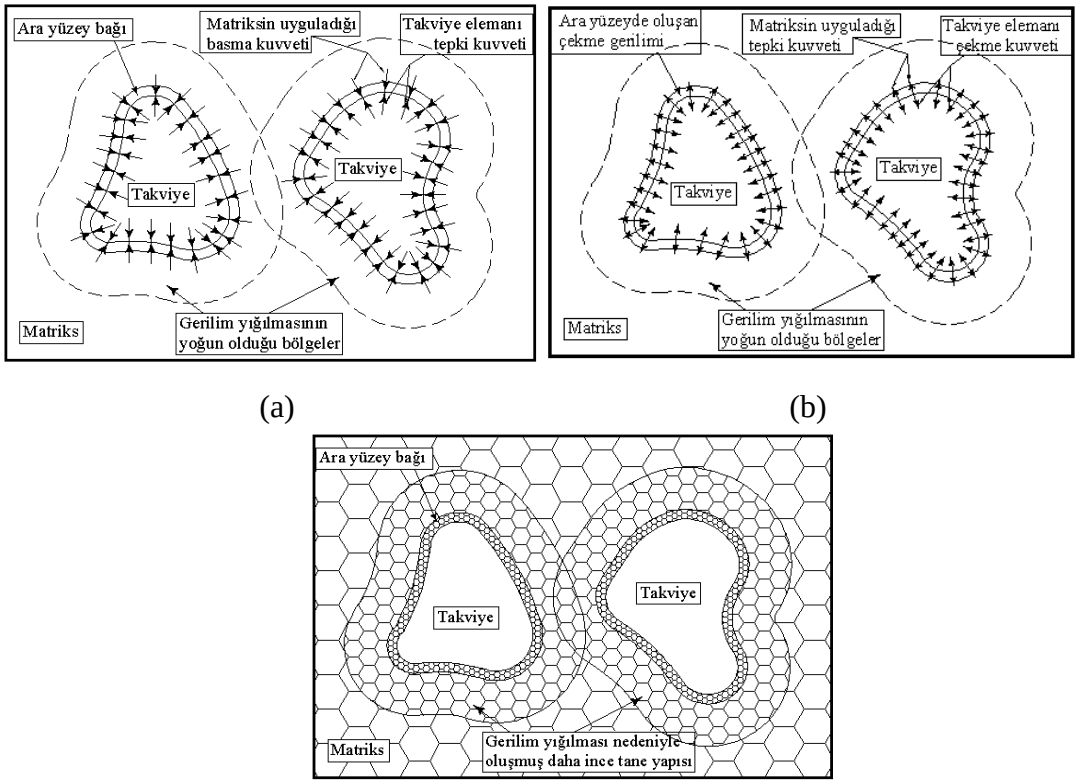


(a) (b) (c)

Şekil 3.8. Malzemelerde yapı içerisinde oluşan kalıcı gerilim yığılmaları
a) Çekme gerilmesi, b) Basma gerilmesi, c) Hem çekme hem basma gerilmesi

Şekil 3.8. a'da çekme gerilmesi yönünde gelen kuvvetlere malzemenin dayanımı zayıftır fakat basma kuvvetlerine karşı dayanımı iyidir. Şekil 3.8. b'de ise çekme kuvvetlerine karşı malzemenin dayanımı iyileşirken basma kuvvetlerine karşı kötüleşir. Hem basma hem de çekme gerilmesinin yapı içerisinde Şekil 3.8. c'de görüldüğü gibi içte çekme dışta basma gerilmesi olacak şekilde yönlendirilmesi ile malzeme dış darbelere karşı daha dayanımlı, kırılması zor ve aynı zamanda da çekme yönündeki kuvvetlere karşı dayanımı bir miktar iyileşmiş olmaktadır.

Kompozitlerde üretim sonrası katılaşma esnasında, fazla genleşen matris fazı takviye elemanlarına basma yönünde bir kuvvet uygular. Takviye elemanları da bu basma kuvvetine karşı etki-tepki prensibine göre ters yönlü kuvvetle karşılık verir. Fakat azda olsa genleşen ve soğuma esnasında büzülen parçacıklarda matrise ara yüzey vasıtası ile çekme kuvveti uygular. Bu nedenle matrisin uyguladığı basma gerilmesini, etki-tepki prensibine göre karşılık vererek dengeleyen takviye elemanları, büzülme sonrası matrise uyguladıkları çekme kuvvetini matrisinde yine etki-tepki prensibine göre ara yüzey bağı aracılığı ile karşılık vermesini gerektirmektedir. Bu yüzden de ara yüzey bağında çekme yönünde kalıcı gerilim yığılması meydana gelmektedir. Çizelge 3.8'de alüminyum, magnezyum ve SiC seramik takviye elemanlarına ait ısıl genleşme katsayıları verilmiştir. Şekil 3.9'da da kompozit yapı içerisinde, ısıl genleşme farklılıklarından dolayı soğuma esnasında ara yüzeyde çekme yönünde oluşan kalıcı gerilim yığılması ve matris ile takviye tarafından uygulanan kuvvetler gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Kompozit yapı içerisinde, ısıl genleşme farklılıklarından dolayı soğuma esnasında meydana gelen gerilimler
a) Soğuma esnasında ısı iletim katsayısı yüksek matrisin büzülme ile parçacığa uyguladığı basma kuvveti ve parçacığın tepki kuvveti, b) Takviye elemanının matrise uyguladığı çekme kuvveti sonucu ara yüzeyde oluşan çekme gerilmesi, c) Parçacıklar etrafında gerilim yığılmaları nedeniyle daha ince tane yapısına sahip matris bölgelerinin oluşması

Çizelge 3.8. Alüminyum, magnezyum ve SiC seramik takviye elemanlarına ait ısıl genleşme katsayıları [3]

Malzeme	**Isıl genleşme katsayısı (cm /cm / °C x 10^{-6})**
Alüminyum	26
Magnezyum	27
SiC	4,8

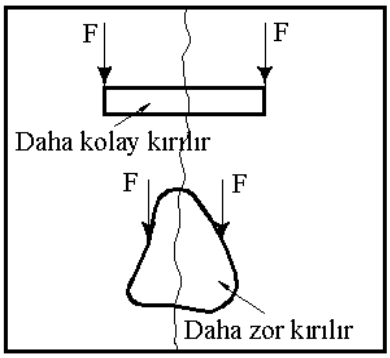
c) Tane sınır hareketlerinin takviye elemanları tarafından engellenmesi,

Tane sınırlarında yer değişimin zorlaşmasında özellikle tane boyutu 1 μm'den daha küçük partiküllerde Orovan mekanizması etkilidir. Bu mekanizmada taneler arası yer

değiştirme işlemlerinde, kafesler arası sürtünme söz konusudur. Bu nedenle yer değiştirme güçleşir, plastik deformasyon sınırlanır, tokluk azalır ve kırılganlık artar.

d) Takviye fazı parçacık boyutu ve şekli,

Takviye elemanlarının boyutu arttıkça ve çap/boy oranları azaldıkça kompozitin kırılganlığı artmaktadır. Şekil 3.10'da parçacık boyutu ve şekline bağlı kırılganlığın değişimi görülmektedir.



Şekil 3.10. Parçacık boyutu ve şekline bağlı olarak kırılganlığın değişimi

e) Takviye elemanı dağılım özellikleri,

Matris fazının az olduğu bölgelerde yoğun halde bulunan kırılgan takviye elemanları nedeniyle kırılganlık artmaktadır.

f) Parçacık ya da partiküllerin topaklanmaları,

Parçacık ya da partiküllerin topaklanmaları genelde sıvı üretim yöntemlerinde meydana gelir. Parçacık ya da partikül halindeki takviye elemanlarının ıslanma özelliklerinin kötü olmaması ve matrisin döküm sonrası yeniden kristalleşmesi esnasında yapı içerisinde oluşmaya başlayan dentritler tarafından takviye elemanlarının tane sınırlarına itilerek topaklanmaları söz konusudur. Topaklanmanın oluştuğu bu bölgelerde matrisin olmaması nedeniyle, kompozitin kırılganlığı artmaktadır.

g) Takviye elemanlarının hacim oranının artması,

Takviye elemanı hacim oranı arttıkça, takviyeyi çevreleyecek ana malzemeye olan ihtiyaç artmaktadır. Bu nedenle takviye elemanı hacim oranı içinde optimum bir hacim içeriğinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla Özdemir ve arkadaşları, ergimiş metal karıştırma ve sıkıştırmalı döküm yöntemi ile alüminyum matrisli, SiC parçacık takviyeli kompozitlerde, farklı hacim içeriği ve uygulanan farklı basınçlarda kompozitin mekanik özelliklerin değişimini incelemişlerdir. Bu inceleme sonrasında üretim esnasında uygulanan basınç ile mekanik özelliklerin iyileştiğini ve takviye elemanı yüzde hacim oranının kritik bir değeri aşması ile mekanik özelliklerin kötüleştiğini tespit etmişlerdir. Buna ilaveten SiC parçacık yüzde oranının artmasıyla kompozitin sünekliği ve tokluğunun azaldığını, kırılganlığının arttığını, optimum hacim içeriğine ulaşılıncaya kadar da çekme ve eğilme dayanımında artış meydana geldiğini, bu oran aşıldığında (% 17 hacim oranında SiC) ise dayanım özelliklerinin kötüleştiğini tespit etmişlerdir [25].

Yukarıdaki bu etkiler, kullanılan üretim yöntemleri ve seçilen matris-takviye elamanı tercihleri ile değişim gösteren mekanizmalarla, matrisin tokluğunu azaltan ve kırılganlığını arttıran sebepler olarak gösterilebilir.

4. METAL MATRİSLİ KOMPOZİTLERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ

MMK'lerin tasarımda metal ve seramikler gibi farklı iki malzeme grubunun en iyi özelliklerinin bir arada toplanması amaçlanmaktadır. Metal matrise, yüksek dayanımlı ve yüksek elastikiyet modüllü seramik parçacıklar ilave edilerek elde edilen bir kompozitin, mekanik özellikleri, genellikle bu iki malzemenin özelliklerinin ortalama bileşkesi olarak elde edilebilir. Metaller çoğu zaman yüksek dayanımlı, tokluk özellikleri iyi ve yüksek sıcaklıklarda dayanım özellikleri yüksektir fakat eğilip bükülmeye karşı göstermiş oldukları dayanım özellikleri düşük bir malzeme grubudurlar. Seramikler ise metallerin aksine eğilip bükülmeye karşı yüksek direnç gösteren, yüksek aşınma dayanımlı fakat darbe direnci düşük kırılmaya meyilli bir malzeme grubudur [30]. Örnek olarak, AA-6061 alüminyum alaşımı ile silisyum karbür ve bunların bir araya gelmesi ile elde edilen kompozitin, bazı mekanik özellikleri Çizelge 4.1'de sunulmuştur.

Çizelge 4.1. AA-6061 alaşımı, SiC parçacık ve bunlardan elde edilen AA-6061/% 17 SiCp içerikli kompozitin bazı özellikleri [30]

Malzemeler	Elastikiyet Modülü (GPa)	Isıl Genleş. Kat. ($x10^{-6}$ / °C)	Akma Day. (GPa)
AA-6061	70	24	35
SiCp	400	4	600
AA-6061/%17 SiCp (T6)	96,6	-	510

Alüminyum alaşımının elastikiyet modülü 70 GPa, SiC parçacıkların ise 400 GPa iken kompozitin elastikiyet modülü alüminyumdan fazla, fakat SiC'den daha düşüktür. Akma dayanımı ise yine alüminyum ile SiC dayanım özelliklerinin bir bileşkesi olarak ne alüminyum ile SiC'ün arasında, fakat iyi olana daha yakın olarak gözükmektedir. Kompozitin bu özelliklerinin iyi yönde geliştirilmesinde, karışımı oluşturan malzemelerin miktarı ve uygulanan üretim yöntemi ile üretim şartları etkili bir rol oynamaktadır. Metal matrisli kompozitlerin üretimlerinde sıvı hal, katı hal ve

sıvı-katı arası üretim yöntemleri başlıkları altında üç tip ana üretim yöntemi mevcuttur. Bu yöntemler kendi aralarında sınıflandırıldıklarında;

A. Sıvı hal üretim yöntemleri,
a) Ergimiş metal karıştırma,
i) Mekanik karıştırma,
ii) Ultrasonik titreşim ve piezo elektrik ile karıştırma,
b) Ergimiş metal emdirme,
i) Sıvı hareketi (kapilalite) ve vakum yardımı ile aşağı ve yukarı yönlü ergimiş metal emdirme,
ii) Basınçlı ergimiş metal emdirme,
c) Atomizasyon (sprey) halinde biriktirmeli döküm,
d) Denge halinde faz oluşturma,
B. Katı hal üretim yöntemleri,
a) Toz metalürji yöntemi,
b) Difüzyon bağı oluşturma,
i) Yüksek basınç altında izostatik (her yerde aynı sabit yük) presleme,
ii) Sıcak ve soğuk haddeleme (hot – cold rolling) ile difüzyonlu birleştirme,
C. Sıvı-katı arası (yarı katı) üretim yöntemi.

4.1. Sıvı Hal Üretim Yöntemleri

4.1.1. Ergimiş metal karıştırma yöntemi

Sürekli olmayan fiber ve parçacıklarla takviyeli kompozitlerin imalatlarında, en genel kabul görmüş ve pratikte ticari üretime uygun imalat yöntemi, ergimiş metal karıştırma yöntemidir. Bunun nedenleri arasında, bu yöntemin kolaylığı ve diğer yöntemlere nazaran ucuz olması, parça imalatının çeşitlilik yönünden geniş olması ve büyük miktarlardaki üretimlere olanak tanıması gibi faktörler gösterilebilir. Bu gibi özelliklerinden dolayı araştırmacıların dikkatini çeken bir üretim yöntemidir. Çünkü pratikte geleneksel metal ergitme yöntemlerinin kullanılıyor olması ve ürünün son şekline yakın dökümle üretilme özelliğine ve bu sayede de elde edilen ürünün

maliyetinin düşürülmesine olanak tanıması söz konusudur. Bu ergimiş metal üretim tekniği MMK'lerin kabul görmüş diğer üretim yöntemlerine nazaran oldukça fazla ekonomik ve sayıca çok miktarlı üretimlere uygun bir MMK üretim yöntemidir. Ayrıca bazı çalışmalar, ergimiş metal karıştırma yöntemi ile elde edilen kompozitlerin ürün maliyetinin, diğer metotlarla üretilen kompozitlerin ürün maliyetleri ile karşılaştırıldığında 1 / 3 oranında daha az olduğunu ve hatta sayıca fazla üretimlerde ise bu oranın 1 / 10 gibi bir değere düştüğünü göstermiştir [30].

Genelde metal matrisli kompozitlerin bu yöntemle üretim sentezi, üretim için seçilmiş olan metalin ergitilmesi ve sonrasında takviye fazının ilave edilerek, uygun bir dağılımının elde edilmesi için karıştırılmasından oluşmaktadır. Ergimiş metal karıştırma yöntemi ile MMK malzemelerin üretimlerinde birkaç faktörün dikkate alınması gerekmektedir. Bu faktörler;

a) Takviye fazının homojen dağılımının elde edilme zorluğu,
b) Matris ve takviye fazı arasındaki ıslatabilirliğin zorluğu,
c) Üretim sonrası elde edilen malzemede gözenek oluşacağı,
d) Genellikle yüksek sıcaklıklarda yapılan bir üretim yöntemi olduğu için matris ve takviye elemanları arasında temas yüzeylerinde kimyasal bir reaksiyonun meydana geleceği,

dikkate alınmalıdır [30].

MMK'lerin istenilen en optimum özelliklere sahip olması için, takviye elemanlarının matris fazı içerisinde homojen dağılımının sağlanması ve matris ile takviye elemanları arasındaki ıslatabilirliğin yada bağlayıcılığın iyileştirilmesi gerekmektedir. Bunun yanında, gözenek oranının minimize edilmesi ve ara yüzey bağının izin verilen sınırlar dahilinde uygun bir bağlayıcılık görevi yapmasının sağlanması önemlidir.

Ergimiş metal karıştırmada parçacık dağılımı ve önemi

Ergimiş metal karıştırma ile MMK'lerin üretilmesinde karşılaşılan ana problemlerin başında, ergimiş matris fazı içerisine takviye elemanlarının ilave edilme zorluğu gelmektedir. Bu da takviye elemanları ile matris fazı arasındaki yoğunluk farkı ve ergimiş metalin yüzey enerjisinin yüksek oluşu ve genellikle, çok küçük boyutlardaki takviye elemanlarının ergimiş matrisin iç kısımlarına nüfus edememesi nedeniyle meydana gelmektedir. Bir diğer üretim esnasında karşılaşılan problemlerden biride takviye elemanlarına matris içerisinde homojen bir dağılım sergiletme zorluğudur. Takviye elemanlarının matris içerisinde dağılımlarına etki eden birkaç etken mevcuttur. Bunlar; ilave işlemi esnasında sıvı metal içerisinde karıştırılmaları, ilave işlemi sonrasında bir miktar daha karıştırma işlemine tabi tutulmaları ve döküm işlemi sonrasında matrisin katılaşması esnasında dentritler tarafından yeniden farklı bir dağılımda yerleşmek zorunda kalmalarıdır [6-8,30,36]. Şekil 4.1'de katılaşma esnasında takviye elemanlarının tane sınırlarına itilerek oralarda yerleştikleri şematik olarak görülmektedir.

Ergimiş metal içerisine takviye elemanlarının ilave edilmesine olanak tanıyan tek yöntem ergimiş metal karıştırma yöntemidir. Fakat bu yöntemin dezavantajlı yanı, sürekli elyaf takviyeli kompozitlerin üretilememesidir. Bu yöntemde takviye elemanlarının ergimiş metal içerisine ilave işlemi farklı şekillerde yapılabilmektedir. Bunlar;

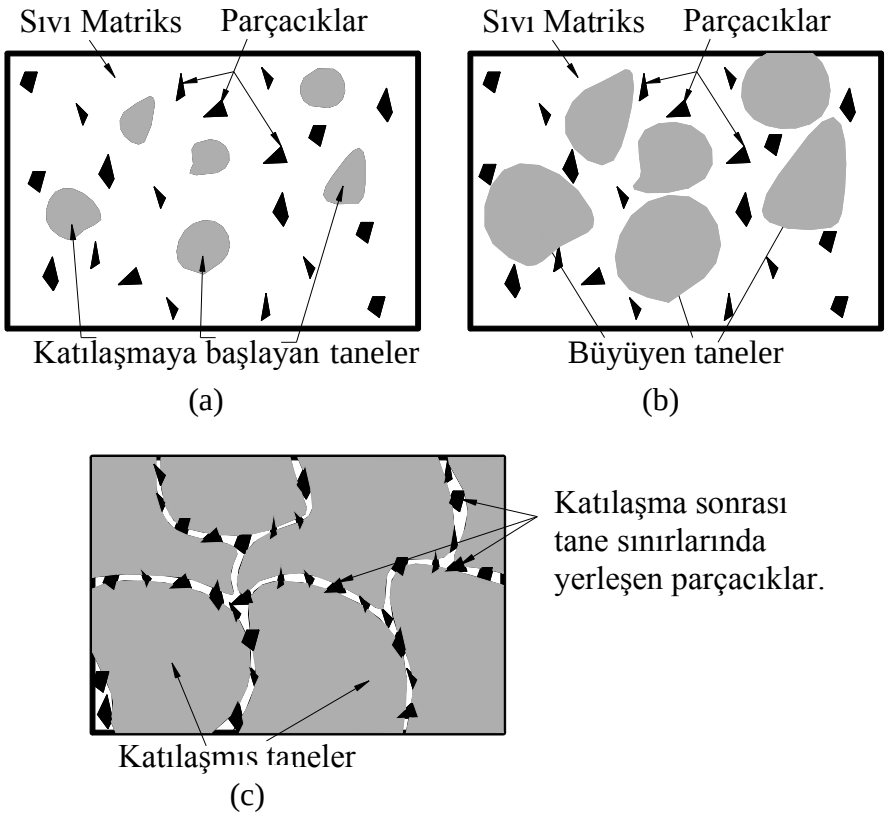
a) Asal bir gaz yardımı ile parçacıkların taşınarak karıştırma esnasında karıştırıcının oluşturduğu vorteks merkezine yakın bir noktadan gazın hızı ile takviye edilmesi,
b) Parçacıkların matris içerisine ergimeden önce boşluklar açılarak doldurulması,
c) Kamış şeklindeki ilave çubuğu ile ergimiş metale daldırılarak parçacıkların ilave edilmesi,
d) Merkezkaç hareketi kullanılarak ilave etme,
e) Matris alaşımını önceden, sıvı emdirme yöntemi ile parçacıklara belirli bir form (Genellikle küre ya da küp) elde edecek şekilde emdirip, sonrasında elde edilen

bu takviye elemanınca zengin formu, asıl kompozitin üretiminde, el ya da bir mekanizma ile ergimiş matris içerisine ilave edilmesi,

f) Ergimiş metal yüksek ultrasonik titreşim yaparken parçacıkların serpiştirilerek ya da basınçlı asal gazlar ile ilave edilmesi,

g) Parçacıkların belirli bir formda paketlenerek (Folyo yada balmumu gibi) karıştırma esnasında oluşan vortekse atılarak ilave edilmesi,

h) Yüksek vakum altında ve yüksek sıcaklıkta yerçekimi kuvveti ortadan kaldırılarak parçacıkların kendiliğinden matris içerisine girmesidir.



Şekil 4.1. Ergimiş metalin katılaşma işlemi esnasında parçacıkların yerleşimi
a) Ergimiş metalin üretim sonrası serbest olarak farklı yerlerinde katılaşan taneler, b) Zamanla büyüyen taneler, c) Katılaşmış matris tane sınırlarında yerleşmek zorunda kalan takviye elemanları

Yukarıdaki takviye fazı ilave yöntemlerinin birbirlerine göre sınırlı ve dezavantajlı yanları mevcuttur. Vorteks oluşumu esnasında, asal gaz yardımıyla parçacıkların ilave edilmesinde, karıştırıcıdan ve basınçlı gazın matris içerine nüfuz ederek kabarcıklar oluşturmasından kaynaklan, üretim sonrası gözeneklilik oranının

yükselmesi ve deformasyonların oluşması söz konusudur. Yine sürekli olarak karıştırma işlemi ve takviye elemanlarının ilave edilmesi nedeniyle, eriyiğin akıcılığı azalmakta ve döküm işlemi zorlaşmaktadır. Ultrasonik titreşimde ise üretim zor ve pahalı, ayrıca üretim hacmi sınırlıdır. Yerçekimsiz ilave yönteminde ise işlem basamakları karmaşık olup karakterize etme zorluğu mevcuttur. Tüm yöntemlerde parçacıkların veya ergimiş matrisin hava ile temas etmesi, parçacıkların ve ergimiş matrisin yüzeyinde oksit tabakaları veya cüruf oluşmasına ve bunun sonucunda da kirliliğe ve gözenekliliğe neden olmaktadır. Bu aynı zamanda, parçacıklar ile matris arası temas bölgesi olan ara yüzey oluşum formunu ve ıslatabilirliği etkilemektedir. Bu durumda, parçacıkların ilave edilme sıcaklığı ve ergimiş metalin viskozitesi hızla değişim göstererek, ürünün kalitesine kötü yönde etkilemektedir [30-36].

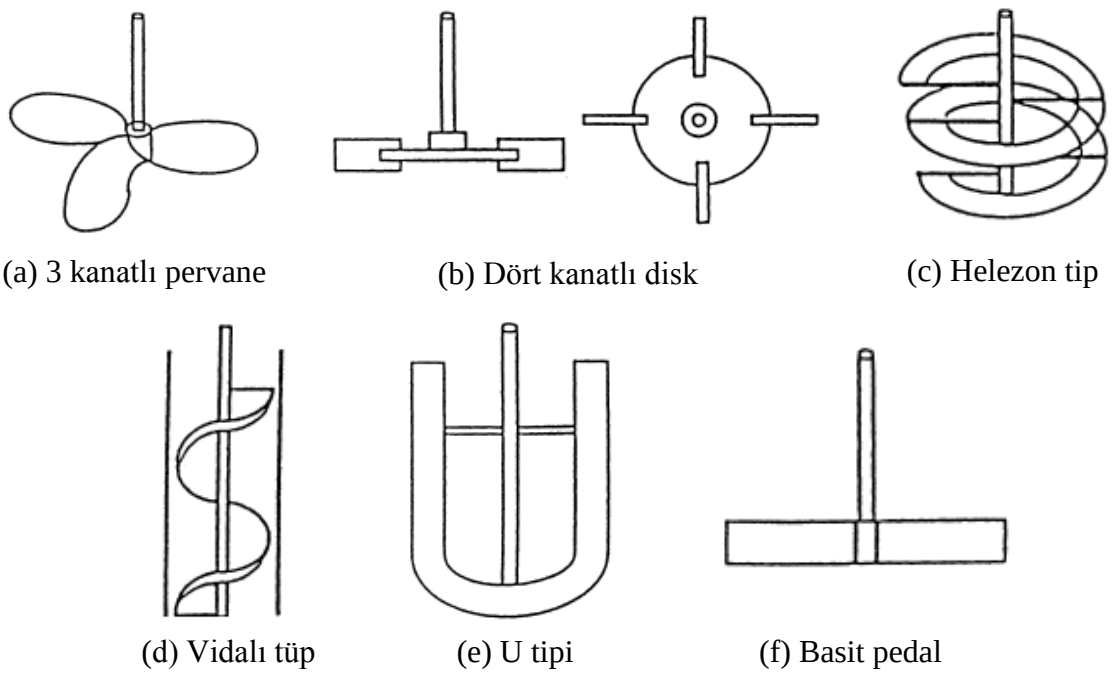
Döküm yoluyla üretilen kompozitlerde parçacıkların matris içerisinde dağılımları homojen olmamaktadır. Olsa bile ergimiş metale ilave işlemi sonrasında çamurumsu yapı içerisinde bundan bahsedilebilir. Çünkü çamur halindeki ergiyik kompozitin kalıba alımından sonra matrisin katılaşması sırasında, özellikle yavaş soğuma şartları altında, serbest olarak dış çeperlerinden başlayarak büyüyen iri taneler nedeniyle, parçacıklar tane sınırlarına itilerek buralarda yerleşmek zorunda kalmaktadırlar. Ancak soğuma işleminin hızlandırılması ile tane yapılarının ince oklar şeklinde oluşması sağlanmakta ve böylelikle parçacık dağılım homojenliğine tane yapıları fazla etkide bulunmamaktadır.

Ergimiş metal karıştırma yöntemi ile başarılı bir üretimden söz edilebilmesi için takviye fazının matris fazı içerisinde istenilen şekilde homojen olarak dağılmış olması gerekmektedir. Üretilmiş olan bir kompozitin mekanik özelliklerini en fazla etkileyen faktör, parçacık dağılımının homojenliğidir. Bunu da üretim esnasında karıştırma işlemindeki faktörler etkilemektedir. Bunların başlıcaları, karıştırma işleminin tipi ve karıştırıcı formu, ergiyik içerisindeki karıştırma yeri, karıştırma hızı, takviye fazının ilave şekli ve karıştırma sıcaklığı gibi faktörler sayılabilir. Araştırmacılar, karıştırma homojenliğinin ve ürün kalitesinin sağlanabilmesi için; matris ve takviye elemanlarının aynı sıcaklıkta karıştırılmalarını, karıştırıcı formunun ergimiş metalin yüzeyine yakın olarak karıştırmayı sağlayacak şekilde

tasarlanmasını, karıştırıcının vorteks oluşturma şeklinin müsaade edilen formda olmasını, karıştırma hızının çok fazla hızlı olmaması gerektiğini ve karıştırma işleminin döküm işlemi öncesine kadar devam etmesi gerektiğini vurgulamışlardır [30].

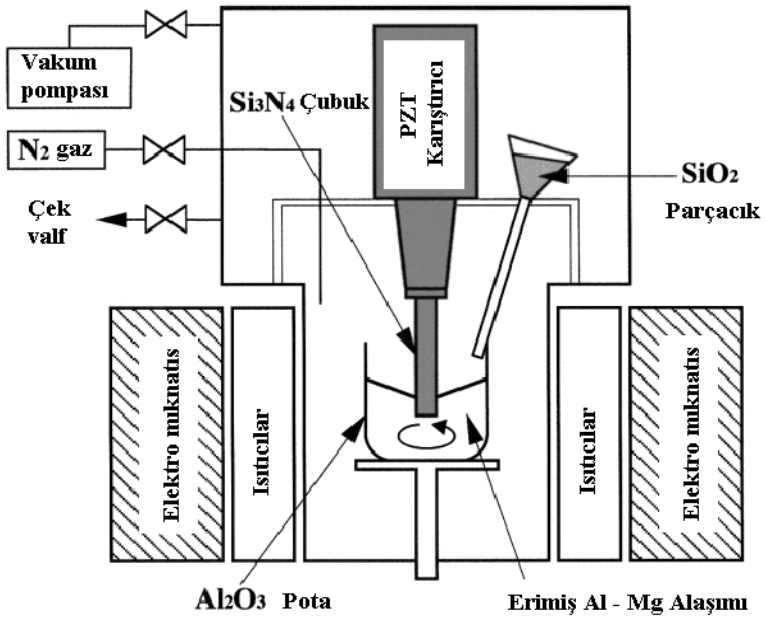
Ergimiş metal karıştırma yönteminde kullanılan karıştırma yöntemleri

Ergimiş metal karıştırma yönteminde genelde mekanik karıştırma yöntemi kullanılmaktadır. Buna ilaveten ultrasonik titreşimle birlikte piezo elektrik karıştırma yöntemi de kullanılmaktadır. Mekanik karıştırıcı olarak farklı form, geometri ve malzemeye sahip karıştırıcılar kullanılmaktadır. Karıştırıcının malzemesi genellikle matris fazı ile reaksiyona girmeyecek, yüksek sıcaklığa dayanımlı malzemelerden seçilmektedir. Karıştırıcılar genellikle, grafit, seramik veya kaplamalı ya da kaplamasız koruyucu katmanla boyalı dökme demir gibi malzemelerden imal edilmektedir. Yaygın olarak kullanılan bazı karıştırıcı formları Şekil 4.2'de görülmektedir.



Şekil 4.2. Değişik geometrilerde karıştırıcılar [30]

Bir başka karıştırma yöntemi olan ve hatta Tsunekawa ve arkadaşları, tarafından geliştirilerek kullanılan ultrasonik titreşim ve piezo elektrikli karıştırıcı Şekil 4.3'te görülmektedir. Burada elektro mıknatıslar vasıtası ile fırın içerisinde yer alan bir pota içerisindeki ergimiş metale, belirli frekanslarda titreşim verilmekte ve aynı zamanda piezo elektrikle titreşim yapabilen bir Si_3Ni_4 esaslı çubuk tipi karıştırıcı ile ergimiş metal karıştırılmaktadır. Aynı zamanda argon gazı ve vakum ile ortam koruma altına alınmıştır [28].



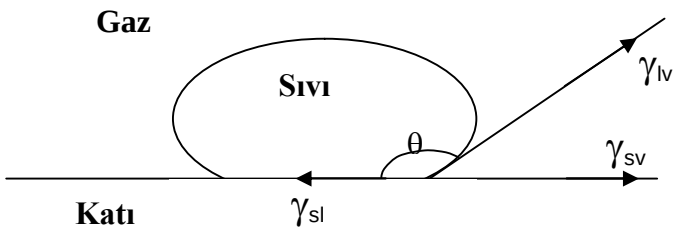
Şekil 4.3. Ultrasonik titreşimli ve piezo elektrikli karıştırıcılı ergimiş metal karıştırma ünitesi [28]

Ergimiş metal karıştırma yönteminde ıslatabilirlik ve ıslanabilirlik

Döküm yoluyla üretilen kompozitlerde bir diğer problemde, matris fazı ve takviye elemanları arasındaki ıslatma ve ıslanma özellikleridir. Islatabilirlik, bir sıvının bir katıyı çepeçevre sarma özelliği olarak tanımlanmaktadır. Islatabilirlik, katı ve sıvı arasındaki temas açısı ölçülerek "Young Dupré" eşitliğiyle (Eş. 4.1) belirlenir.

$$\cos\theta = \frac{\gamma_{sg} - \gamma_{sl}}{\gamma_{lg}} \qquad (4.1)$$

Burada, γ_{sl}, γ_{sg} ve γ_{lg} sırasıyla katı–sıvı, katı–gaz ve sıvı–gaz fazları arasındaki arayüzey enerjileridir. Temas açılarının büyüklüğü Şekil 4.4'de gösterildiği gibidir. $\theta = 0°$ iken mükemmel ıslanma, $\theta = 180°$ iken ıslanmama ve $\theta = 0°$ ile $180°$ arasında ise kısmen ıslanma gerçekleşir [30].



Şekil 4.4. Katı, sıvı ve gaz fazları arasında oluşan temas açıları [7,30]

Takviye elemanlarının ergimiş metal tarafından ıslanma özelliklerinin belirlenmesinde, takviye elemanlarının yüzey özellikleri ve kimyası ile yüzey enerjileri belirleyicidir. Burada parçacıkların yüzeylerinin kimyasal özellikleri, yüzey elementleri veya oksit tabakaları, ergimiş metalin yüzey enerjisi ve oksit oluşumu dikkate alınmalıdır. Takviye elemanlarının, ergimiş metalle ıslanabilirliğini iyileştirmek için çeşitli yaklaşımlar benimsenmiştir. Esas olan yaklaşım ise temas açısının (θ) azaltılmasıdır. Temas açısının azaltılmasında;

a) Katının yüzey enerjisinin artırılması,
b) Sıvının ara yüzey enerjisinin azaltılması,
c) Katı-sıvı ara yüzey enerjisinin azaltılması,

kullanılan en temel uygulamalardır [30,32].

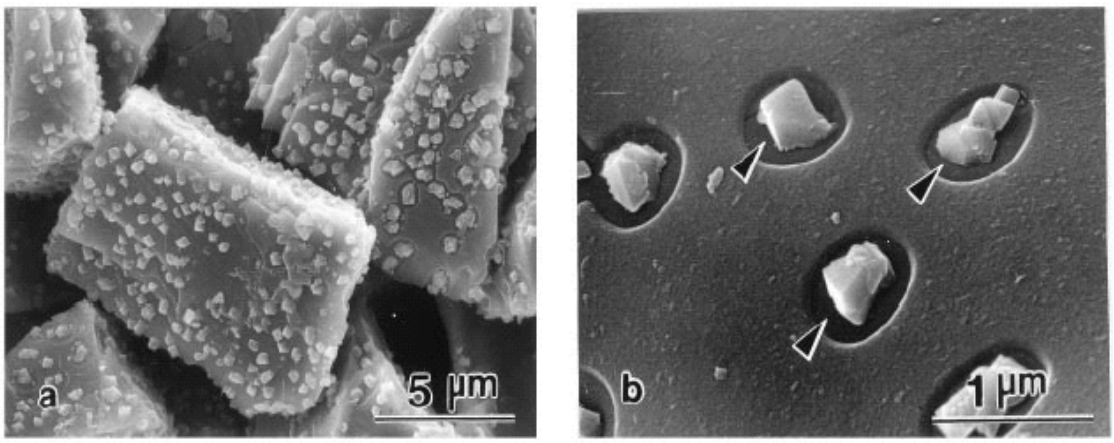
Günümüzde matris fazının, takviye fazını ıslatmasını kolaylaştırmak amacıyla birçok uygulamalar araştırmacılar tarafından yapılmıştır. Pratikte, ıslatmayı iyileştirmek için yapılan uygulamalar;

a) Takviye elemanlarına metalik kaplamalar uygulama,
b) Matris malzemesini reaktif elementlerle alaşımlama,

c) Takviye elemanlarını ısıl işlemelere tabi tutma,
d) Ergimiş metale ultrasonik titreşim yaptırma,

gibi işlemlerdir [6,7].

Örneğin, ısıl işlemle takviye elemanlarının ıslanabilirliğini iyileştirmek için, Lee ve diğerleri, seramik parçacıklarla takviye ettikleri AA-2014 alaşımlı kompozitlerde, SiC parçacıklarını ısıl işleme tabi tutarak ıslanabilirliğini iyileştirmişler ve ara yüzey reaksiyonlarını incelemişlerdir. Bunun yanında matris fazı içerisine ıslatabilirliği iyileştirici yönde rol oynayan % 2 oranında Mg ilavesi yapmışlardır. Yapmış oldukları çalışmada, SiC seramik parçacıklarını, 2 saat ve 6 saat gibi iki farklı bekletme zamanında ve 600 °C, 610 °C, 620 °C ve 1100 °C gibi farklı sıcaklıklarda tavlama işlemine tabi tutmuşlardır. Resim 4.1'de SiC parçacıkları 600 °C'de 2 saat tavlamaları sonucu parçacık yüzeyinde oluşan SiO_2 formundaki oksit tabakaları ve etrafında oluşan ıslanma Si ve $MgAl_2O_4$ çemberi görülmektedir [31].

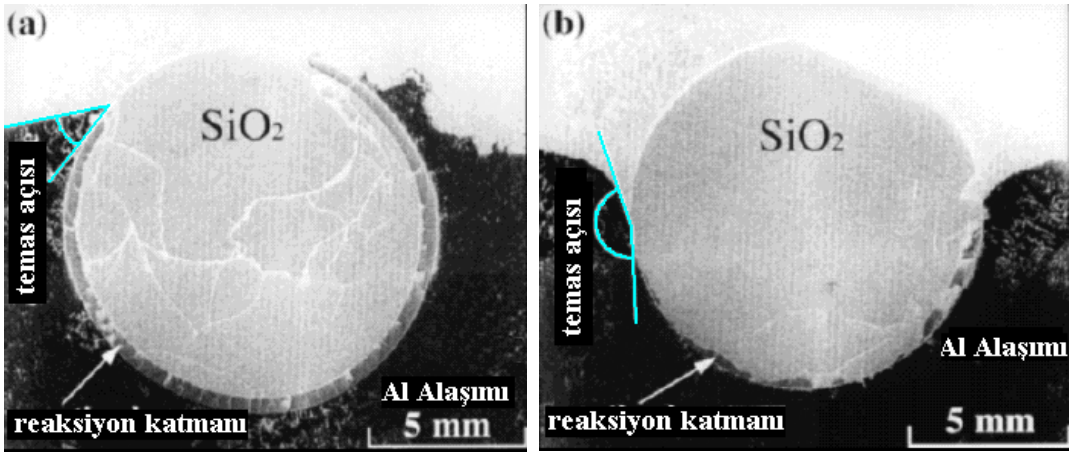


(a) (b)

Resim 4.1. SiC parçacıkların 600°C'de 2 saat bekletilmesi ile ıslanabilirliğinin iyileştirilmesi
a) 50 nm büyüklüğünde SiC parçacık yüzeyinde oluşan SiO_2 partikülleri,
b) SiC parçacık yüzeyinin daha büyük büyütmede yüzeyindeki SiO_2 partikülleri ve etrafında Si ve $MgAl_2O_4$ formunda oluşan ıslatma çemberi [31]

Yine, Tsunekawa ve arkadaşları, SiO_2 parçacıkların ergimiş metal tarafından kolayca ıslanabilmesi için ergimiş metale ultrasonik titreşim yaptırmışlardır [28]. Resim

4.2'de ultrasonik titreşim ve titreşimsiz olarak SiO_2 parçacıkların ergimiş metale ilave işlemi ve temas açıları görülmektedir.



Resim 4.2. SiO_2 parçacıkların ergimiş metalle ilave işlemi
a) Ultrasonik titreşim, b) Titreşimsiz [28]

Resim 4.2. a'da ultrasonik titreşim ile SiO_2 parçacıkların ergimiş metalle temas açılarının azaldığını ve ıslanabilirliklerinin kolaylaşarak ara yüzey reaksiyonlarının istenilen formda oluştuğu görülmektedir. Buna ilaveten Resim 4.2. b'de ultrasonik titreşim olmadığı için parçacıkların ergimiş metal tarafından ıslatılamayarak ara yüzey bağının istenilen şekilde oluşmadığı görülmektedir. Bu yöntemin, seramik parçacıkların yüzeyinde toplanmış gazları kısmen uzaklaştırdığı belirtilmiştir [28].

Genelde metalik olmayan bir yüzeye sahip takviye elemanlarının metalik bir ergiyik tarafından ıslatılması zordur. Takviye elemanları, ıslanabilir bir metalik kaplama ile kaplanması ile daha kolay ıslatılabilmektedir. Bu özelliği araştırmak üzere Loen ve Drew yapmış oldukları çalışmada, üzeri nikel kaplanmış alümina ve silisyum karbür seramik plakalarını 800 °C sıcaklıkta sıvı haldeki alüminyum alaşımının ıslatma davranışını ve sonrasında da arayüzey bağı özelliklerini incelemişlerdir. Seramik plakalara uyguladıkları kaplamanın ıslatılabilirliği iyileştirdiğini belirtmişlerdir. Seramik plakaların kötü olan Islanma özelliklerini kaplama sayesinde iyileştirdiklerini ve SiC esaslı plakada sıvı-katı temas açısının 12,2 derece, alümina plakada ise 11,6 derece olarak tespit etmişlerdir. Aynı zamanda nikel kaplamanın

seramik plaka üzerinde varlığı sayesinde ara yüzey bağının seramik özellikte oluşmasını engellediğini belirtmişlerdir. Alüminyum alaşımlarının SiC ile reaksiyona girerek ara yüzey bağının Al_4C_3 formunda seramik bileşik şeklinde oluştuğunu fakat nikel kaplamanın varlığı sayesinde bu ara yüzey bağının $NiAl_3$ ve Ni_2Al_3 oluştuğunu tespit etmişlerdir [59].

Metal kaplanmış takviye elemanlarının yüzey enerjileri artarak ıslanabilirlikleri iyileşmektedir. Bunun yanında metal–metal olmayan takviye elemanı teması yerine metal–metal teması sağlanmakta ve ara yüzey reaksiyonları kontrol altına alınmaktadır. Takviye elemanlarına genellikle uygulanan nikel ve bakır kaplamalar, düşük ergime noktaları ve birçok metal alaşımı tarafından kolay ıslanabilmeleri nedeniyle uygulanmaktadır. Takviye elemanlarına yapılan bu tür kaplama işlemleri üç nedenden dolayı yapılmaktadır. Bunlar; takviye elemanlarını dış etkilerden korumak, ıslanabilirliği iyileştirmek ve matrise ilave etme işleminden önce takviye elemanlarının topaklanmasını engellemektir [59].

Matrise Li, Mg, Ca, Ti, Zr ve P gibi reaktif elementler ilave edilerek metal-seramik sistemlerinin ıslanma özellikleri artırılır. Bu katkıların katı-sıvı arayüzey enerjisini ve ergimiş metalin yüzey enerjisini azaltmanın yanında arayüzeyde kimyasal reaksiyonlar oluşturarak ıslanabilirliği iyileştirdiği belirtilmiştir. Belirli alaşım elementlerinin katılması, parçacıklar ve sıvı metal arasında geçici bir katman oluşumuna neden olur. Düşük ıslanma açısına sahip bu geçici katman, sıvı metalin yüzey gerilimini azaltır ve parçacıkları, parçacıkların ve matrisin yapısına benzer bir yapıyla çevreler. Mg, Ca, Ti veya Zr gibi reaktif elementler ıslanabilirliği artırmak için katıldığında, sıvı metalürji yöntemleriyle üretilen kompozitlerde seramik ve metal arasında mükemmel bağ görülür. Ergimiş alüminyuma, özellikle alüminanın ıslanabilirliğini iyileştirmek için Mg ilavesi başarılı olmuştur ve farklı seramik parçacıkların (SiC, mika) ıslanabilirliğini iyileştirmek için magnezyum yaygın olarak kullanılır. Alüminyum alaşımlarıyla belirli seramiklerin ıslanabilirliği oksijenle yüksek birleşme eğilimli elementlerin (Li ve Mg gibi) ilave edilmesiyle artırılabilir [6,7].

Ergimiş metal karıştırma yöntemi ile üretilen kompozitlerde parçacık boyutu küçüldükçe tamamı ile mükemmel olarak ıslatılmış parçacıklardan söz etmek imkansızdır. Buda çok küçük ebatlardaki parçacıkların, ergimiş matrisin yüzey enerjisini aşarak iç kısımlarına doğru ilerlemelerinin zor olmasından kaynaklanmaktadır. Aynı zamanda çok küçük parçacık boyutlarındaki takviye elemanlarının çok büyük bir yüzey temas alanı oluşturacağından, matris içerisinde homojen dağılım sergilemeleri de oldukça zordur. Başka bir deyişle çok küçük parçacık boyutlarındaki takviye elemanları, kümelenme eğilimindedirler [30].

Ergimiş metal karıştırmada gözenek oluşumu

Döküm yolu ile üretilmiş kompozitlerin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde etkin rol oynayan bir başka etkende, ürün içerisinde yer alan gözeneklerdir. Burada, gözenekliliğin yapı içerisindeki yüzde oranı ve büyüklüğü önemlidir. Mekanik özelliklerin iyi olması için gözenek miktarının düşürülmesi gerekmektedir. Fakat döküm yolu ile üretimlerde gözeneklilik tamamıyla ortadan kaldırılamaz. Ancak oranı ve büyüklüğü kontrol edilebilmektedir. Gözenekliliğin oluşma nedenleri olarak;

a) Parçacıkların karıştırılması esnasında gazların veya hava kabarcıklarının ergimiş metal içerisine girmesi,
b) Ergimiş haldeki kompozitin akıcılığının düşmesi nedeniyle döküm işleminin sağlıklı yapılamaması,
c) Katılaşma esnasındaki büzülmeler,
d) Karıştırıcının tipi, karıştırma yeri ve karıştırma hızı,
e) Üretim zamanı,
f) Parçacık boyutu ve takviye oranı,
g) Islatma – ıslanma özellikleri ve parçacık topaklanmaları,

gösterilebilir.

Bu tür nedenlerden dolayı yapı içerisinde oluşan gözenek miktarının azaltılmasında uygulanacak değişik işlemler mevcuttur. Bunlarda;

a) Vakum ile basınçlı döküm uygulama,
b) Yoğun asal gaz ortamında üretimin gerçekleştirilmesi,
c) Döküm işleminin basınçla yapılması,
d) İkincil işlemlerle (presleme, çekme ve silindirleme) yapıyı gözeneksizleştirme,
e) Gaz giderici ilave alaşımlar kullanma,
f) Parçacıkların ilave ve karıştırılması esnasında vakumla ortamdaki havanın boşaltılması,

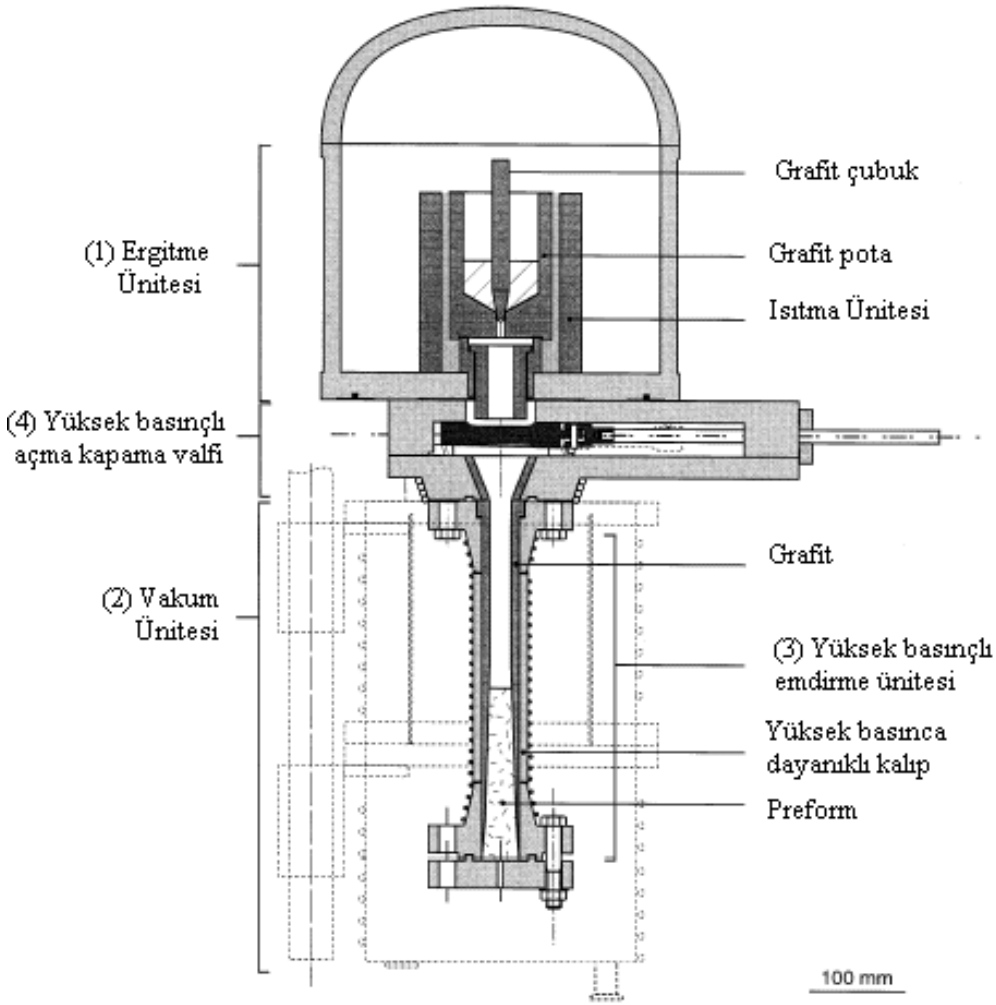
olarak sayılabilir.

Bunlara ilaveten, ergimiş haldeki kompozit malzemeyi kalıba alım işleminde kalıp sıcaklığının arttırılması dökümün kalitesini arttıracağından, porozitenin azaltılmasına katkıda bulunacaktır [30].

4.1.2. Ergimiş metal emdirme (infiltrasyon) yöntemi

Bu yöntem, kısmi olarak bir bölgesinde ya da en az % 30 civarında tamamıyla takviye elemanları ile güçlendirilecek kompozitlerin üretilmelerine olanak tanıyan bir uygulamadır. Genellikle, ön hazırlığı yapılmış kalıp içerisinde yer alan takviye elemanlarına, ergimiş metalin asal bir gaz veya mekanik bir sistemle basınç uygulanarak ya da ergimiş metalin kendiliğinden sızma (kapilarite) özelliğinden faydalanarak ve aynı zamanda gerekirse vakum uygulayarak emdirilmesiyle yapılan bir kompozit malzeme üretim şeklidir. Eğer kısmi takviyelendirme yapılacak ise kalıp içerisine, takviye elemanları matris fazı ile uyum içerisinde olan çok ince gözenek yapısına sahip, ergimiş metalin geçmesine izin veren süzgeç teller vasıtasıyla önceden yerleştirilmeli ve sonrasında ergimiş metal uygun yöntemle kalıp içerisine alınmalıdır. Üretilecek olan malzemenin son şekline yakın formda hazırlanan takviye elemanları, genellikle parçacık, kılcal kristal ya da kısa veya uzun fiberlerden oluşmaktadır.

Ergimiş metal emdirme yönteminde istenilen şekilde bir arayüzey bağının oluşmasında takviye elemanına uygulanan ısıl işlem ve uygulanan emdirme yönteminin önemi büyüktür. Bu kompozit üretim tekniğinde, farklı ergimiş metal emdirme yöntemleri kullanılmaktadır. Bunlar; ergimiş metalin yerçekimi ile kendiliğinden sızma özelliği ve gerekirse vakum desteği ile aşağı yönlü emdirme, yukarı yönlü kapilarite özelliği ve vakum ile emdirme, gaz ya da mekanik basınç uygulayarak ergimiş metal emdirme yöntemleridir. En çok kullanılan mekanik basınç uygulayarak ergimiş metal emdirme yöntemi Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Mekanik basınçla ergimiş metalin ön form verilmiş takviye elemanlı kalıba emdirilme işlemi [15]

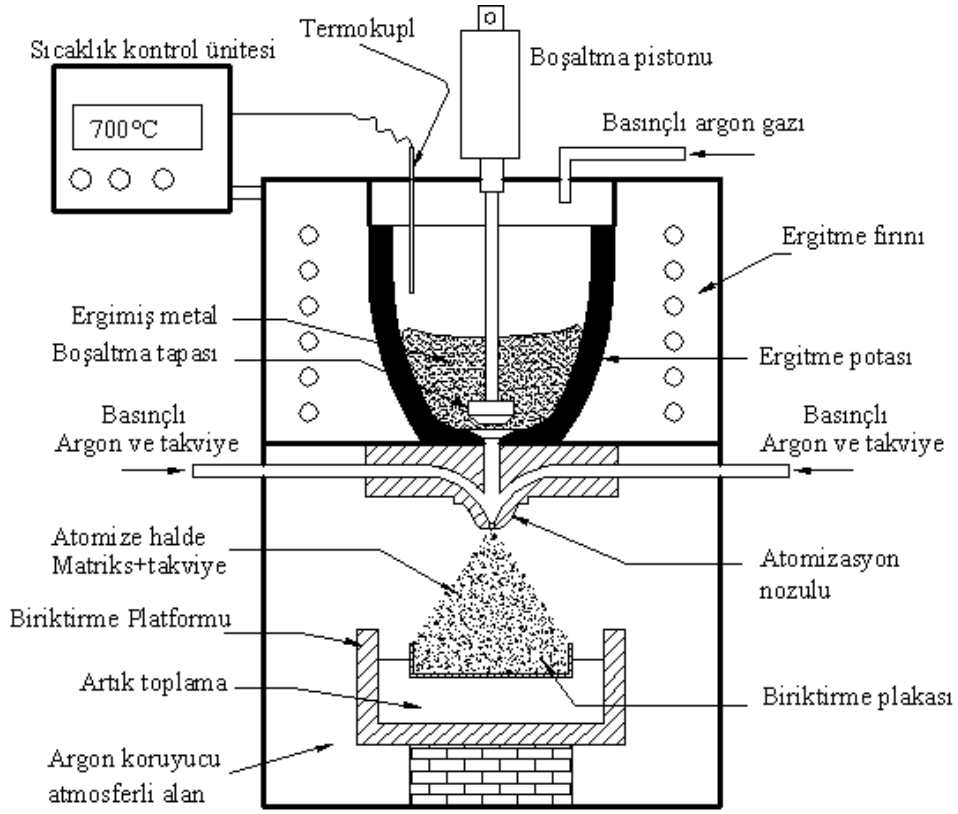
Ergimiş metal emdirme yönteminin dezavantajlı yanlarından biri parçacıklarla takviyeli kompozitlerin üretiminde parçacık hacim oranının düşük seviyelerde çalışılamıyor olmasıdır. İlave olarak ergimiş metalin 50-100 MPa civarında mekanik ya da gaz basıncı ile kalıba emdiriliyor olması, üretim ünitesinin karmaşık ve dayanımlı olmasını gerektirmektedir [15]. Fiber takviyeli kompozitlerde ise uygulanan yüksek basınç, fiber demetlerine ve fiberlere zarar verebilmektedir. Aynı zamanda takviye elemanı her ne olursa olsun önceden kalıp içerisinde bir form verilmesi gerekmektedir ve hazırlanan bu form içerisinde hava boşluklarının var olması, matris–takviye elemanı arayüzey reaksiyonlarını ve porozite oluşumunu etkilemektedir [15]. Elde edilen kompozitlerde de bu nedenlerden dolayı mekanik özellikler bakımından farklılıklar oluşabilmektedir. Bunlara ilaveten mekanik özelliklerin belirlenmesinde ergiyiğin emdirilme sıcaklığı, kalıp ve ön form verilmiş takviyelerin sıcaklığı, uygulanan emdirme basıncı, vakum miktarı ile ergiyiğin emdirme yönü de etkilidir [60,61]. Bu dezavantajlarının yanında sürekli fiber takviyeli metal esaslı kompozitlerin üretilmesinde kullanılabilecek en uygun üretim yöntemidir.

4.1.3. Atomizasyon (sprey) döküm yöntemi

Bu yöntem, kompozitin ya da matris alaşımının üretilecek olan şekle en yakın üretimini sağlayan bir üretim yöntemidir. Atomizasyon döküm yöntemi, ergimiş metalin asal gazlar yardımıyla bir püskürtücü (nozul) içerisinden basınçla geçirilerek, belirli uzaklıkta yer alan ve eksenel hareket ettirilebilen bir forma biriktirilmesidir. Bu form genellikle önceden hazırlanmış sürekli elyaflardan oluşmaktadır.

Bu teknikte, parçacık takviyeli kompozitlerin üretimi için püskürtülecek alaşım, indüksiyon fırınında ergitilir ve potaya basınç uygulanır. Ergimiş alaşım pota tabanından nozul ile püskürtülürken aynı zamanda parçacıklar atomize edilmiş sıvı içerisine asal gazlarla enjekte edilerek önceden ısıtılmış alt katman üzerine çökeltilir ve toplayıcı üzerinde katı bir çökelti oluşur. Soğuduktan sonra elde edilen form haddelenmesi için toplayıcıdan çıkartılır. Bu metot, alüminyum gibi ergime noktası

nispeten düşük olan metallere uygulanmaktadır. Şekil 4.6'da şematik olarak sprey biriktirme döküm yöntemi görülmektedir.



Şekil 4.6. Atomizasyon (sprey) biriktirmeli döküm ünitesi [63]

Bu metodun avantajlı yanları şunlardır;

a) Ergimiş metal zerrecikleri ile takviye elemanları arasında temas zamanı çok kısa olduğundan reaksiyon en aza indirilmekte veya oluşmamaktadır,
b) Katılaşma oldukça hızlı gerçekleştiğinden ince taneli, düzgün mikroyapı elde edilebilmektedir.

Ayrıca parçacıklar arası mesafenin kontrol edilebilmesi ve parçacıkların daha kolay yönlendirilmeleri diğer bir üstünlüğüdür [63]. Maliyet açısından düşünüldüğünde, toz metalürji yönteminden ucuz, ergimiş metal karıştırmalı döküm yöntemine göre

pahalı bir kompozit malzeme üretim metodudur. Bir dezavantajlı yanı da sadece parçacık ve partikül takviyeli kompozitler için uygulanabilir bir üretim yöntemidir.

4.1.4. Denge halinde (in-situ) reaksiyonla faz oluşturma yöntemi

Bu yöntem, matris fazı içerisinde termodinamik olarak dengede olan, parçacık boyutu ve hacim içeriğinin belirlenmesine izin veren bir kompozit malzeme üretim yöntemidir. Takviye elemanlarının denge halinde oluşturulabilmesi için ergimiş matrise dışarıdan katı-sıvı formlarından herhangi birinden alaşımlayıcı katkı maddelerinin ilavesi söz konusudur. Ergiyik içerisinde oluşacak takviye fazlarının, genellikle karbür ya da oksit içerikli seramik parçacıklar halinde oluşması sağlanır. Aynı zamanda bu ikincil seramik esaslı fazların yapı içerisinde homojen bir dağılım sergilemesi gerekmektedir. Denge halindeki takviye elemanlarının oluşması matris içerisindeki alaşım elementlerine ve miktarına bağlı olduğu için bu yöntem her türlü matris alaşımına uygulanamaz. Bu yöntemin avantajları olarak;

a) Takviye elemanları termodinamik yönden dengededir. Sıcaklık değişimlerinden yapı etkilenmez,
b) Takviye form kontrolü yapılabilir. Aynı zamanda farklı kimyasal ya da fiziksel özelliğe sahip takviye elemanları aynı ortamda oluşturulabilir,
c) Takviye elemanlarının şekli ve boyutları kontrol edilebilir,
d) Metalik ya da intermetalik malzemelere uygulanabilir,
e) İstenilen hacim oranında takviye elemanı ilave edilebilir,
f) Elde edilen kütük haldeki kompozit malzemeler klasik metalürji yöntemi ile (haddeleme, çubuk çekme, vb.) tekrar şekillendirilebilir.

Tsunekava ve arkadaşları, denge halinde reaksiyon oluşturarak MMK malzeme üretmek amacıyla, ultrasonik titreşim ve piezo elektrikli karıştırıcı ile Al-Mg alaşımına ergime işleminden sonra SiO_2 parçacıklar ilave etmişlerdir. Sonuçta 853 K sıcaklığında MgO formunda ve 1048 K sıcaklığında $MgAl_2O_4$ ve Al_2O_3 formunda reaksiyon sonucu parçacıkların oluştuğunu tespit etmişlerdir [28]. Bu sıcaklık değerlerinde oluşan tepkimelerin denklemleri şöyledir;

853 K $= 2Mg + SiO_2 \rightarrow 2MgO + Si$

1048 K $= 2MgO + 4Al + 3SiO_2 \rightarrow 2MgAl_2O_4 + 3Si$

$2Al + 3/2\ SiO_2 \rightarrow Al_2O_3 + 3/2\ Si$

Bu yöntemin dezavantajlı yanları şunlardır;

a) Çok detaylı bir teorik hesap gerektirmektedir.
b) Matris ve alaşım katkıları rasgele seçilemez.
c) Üretim maliyeti yüksektir.
d) Reaksiyon sonucu elde edilen parçacıkların hacim oranı ve büyüklüğünün kontrolü zordur.
e) Parametrelere çok duyarlı bir üretim metodudur.

4.2. Katı Hal Üretim Yöntemleri

Katı hal üretim yöntemleri; parçacık, kısa fiber ve uzun fiberler ile takviyeli metal matrisli kompozitlerin üretimlerinde kullanılmaktadır. Sıvı hal üretim yöntemleri ile kıyaslandıklarında;

a) Üretimin genelde düşük sıcaklıklarda gerçekleştiriliyor olması nedeniyle, özellikleri kötü yönde etkileyici reaksiyon oluşumu düşüktür,
b) Belirli formlarda boy malzeme üretimine olanak sağlamaktadır,
c) Elde edilen kompozitler mekanik özellikleri bakımından kıyaslandığında, sıvı hal üretim yöntemlerine göre daha iyi fakat dövme malzemelere nazaran kötü bir dayanıma sahiptirler,
d) Sıvı üretim yöntemlerine kıyasla daha pahalı bir üretim şeklidir,
e) Hammadde maliyeti (Matris ve takviye fazı) yüksektir,
f) Genelde özel tasarlanmış aparatlarla üretim gerçekleştirilmektedir ve buda maliyeti artırmaktadır.

4.2.1. Toz metalurji üretim yöntemi

Toz metalurji (TM) işlemi, ilk olarak geleneksel döküm, sıcak ve soğuk presleme ve talaş kaldırma üretim yöntemlerine alternatif olarak geliştirilmiştir. TM, çeşitli metal işleme teknolojileri arasında en farklı üretim tekniğidir. Yüksek kaliteli ve karmaşık parçaların ekonomik olarak üretilebilmesi, toz metalürjisini cazip kılmaktadır. TM farklı boyut, şekil ve paketlenme özelliğine sahip metal tozlarını sağlam, hassas ve yüksek performanslı parçalara dönüştürür. Bu işlem; şekillendirme veya presleme ve daha sonra parçacıkların sinterleme yolu ile ısıl bağlanması basamaklarını içerir. TM nispeten düşük enerji tüketimine, yüksek malzeme kullanımına ve düşük maliyete sahip otomatikleşmiş işlemleri verimlice kullanır. Sahip olunan bu özellikler ile TM, verimlilik, enerji ve hammadde gibi günümüz gereklerini ortadan kaldırır. Bunların sonucu olarak, TM konusu sürekli gelişmekte ve geleneksel metal şekillendirme operasyonlarının yerini almaktadır. Son yıllarda özellikle otomotiv endüstrisinde kullanılan parçaların bir bölümünün üretim tekniği tamamen TM`ne dayanmaktadır. Kalite dağılımının homojen olması, içeriğinin kontrol edilebilir olması ve birim maliyetin düşük kalması gibi faktörler nedeni ile TM üretim yöntemi son yıllarda imalat sektöründe müstakil üretim seçeneği olarak kullanılmaktadır [4,37].

Toz metalurjisi, “son şekle-yakın üretim” süreçleri olarak; sinterleme, sıcak presleme, sıcak izostatik presleme, toz metal enjeksiyonu, nano-parçacık teknikleri, mekanik alaşımlama gibi konularla sürekli büyüyen bir pazara hitap eden, çok karmaşık şekilli ürünlerin elde edilmesinde uygulanan yüksek teknolojilerden birisidir. Ayrıca volfram, titanyum, tantal ve bu malzemelerin karbürleri ile birlikte nikel, demir, kobalt gibi metallerle kompozit biçiminde üretimlerinde ve çok sert, üstün mukavemet, aşınma ve korozyon dayanımı ve diğer üstün fiziksel ve mekanik özellikte malzemelerin üretiminde kullanılır [4,37].

TM’nin uygulamaları oldukça geniştir. Tungsten lamba filamentleri, dişçilik, dişli çarklar, yağlamasız yataklar, elektrik kontakları, nükleer güç yakıt elemanları, ortopedik gereçler, ofis makinaları parçaları, yüksek sıcaklık filtreleri, uçak fren balataları, akü elemanları ve jet motor parçaları metal tozlarından üretilen parçalara

örnek olarak verilebilir. Ayrıca, metal tozları boyalar, gözenekli betonlar, basılmış devre levhaları, zenginleştirilmiş un, patlayıcılar, kaynak elektrotları, roket yakıtları, baskı mürekkepleri, lehimleme aletleri ve katalizörlerin üretilmesinde de kullanılmaktadır. TM parçaların dünya genelindeki pazar payının % 75'i otomotiv endüstrisi tarafından kullanılmaktadır. Avrupa yapımı arabalar 7 kg, Japon yapımı arabalar ise 5 kg TM parçaya sahip olduğu halde, Amerikan arabaları 16 kg'dan daha fazla TM parça içermektedir. Toz metalürjisinde kullanılan hemen hemen bütün malzemeler toz haline getirilebilir, fakat tozları üretmek için seçilen metotlar malzeme özelliklerine bağlıdır. Öğütme, elektroliz, kimyasal indirgeme ve atomizasyon dört ana toz üretim metodudur. Bu üretim metotlarına ilave olarak, bazı seçilmiş malzemeler için özel toz üretim teknikleri de kullanılır. Endüstride kullanılan tozların % 60'dan fazlası atomizasyon yöntemi ile üretilmektedir.

Toz metalürjisi ile imal edilen parçaların özelliklerini büyük oranda bu parçaların imalinde kullanılan tozların sahip olduğu özellikler belirlemektedir. Bu nedenle tozların özelliklerinin önemi ve aldıkları rolün iyi anlaşılması ve bazı uygun niceleyici karekterizasyon metotlarının uygulanması önemlidir. Toz özellikleri iki ana alt bölümde ayrılabilir;

1. Teknolojik özellikler:
- Toz akıcılığı
- Ham ve titreşimli yoğunluk
- Sıkıştırılabilirlik

2. Fiziksel özellikler:
- Toz şekli
- Toz boyutu dağılımı
- Spesifik yüzey alanı
- Safsızlık (oksijen, karbon, Na, Ca, Fe miktarı)

Tozların fiziksel özelliklerinden olan toz şekli, toz boyut dağılımı ve özel yüzey alanı tozların, ham yoğunluğuna, sıkıştırılma işlemi sırasında kalıba akış davranışlarına,

sıkıştırılabilirliğine ve sinterleme sonrası davranışlarına ve dayanımlarına doğrudan etki etmektedir [4,37].

Toz metalurji yönteminde üretim basamakları

TM uygulamasında parçayı oluşturan tozlar ve yağlayıcılar homojen bir karışım elde edilinceye kadar karıştırılırlar. Karışım daha sonra kalıbın içerisine doldurularak, basınç altında sıkıştırılır ve son olarak parçalar sinterlenir. Küresel ve iri bronz tozlarından filtre elemanlarının basınç kullanılmadan üretimi istisnai bir durumdur. Bu işlemde tozlar uygun şekilli kalıp içerisine doldurulur ve kalıpla birlikte sinterlenir. Tozları sıkıştırmanın tek eksenli presleme, haddeleme, ekstrüzyon, enjeksiyon kalıplama, izostatik presleme gibi bir çok metotları vardır. Bu metotların seçimi parça geometrisine ve üretim miktarına bağlıdır.

TM üretim basamakları imal edilecek parçanın karmaşıklığı, dayanım özellikleri ve içermesi gereken alaşım tozlarına göre değişiklik göstermektedir. En karmaşık ve dayanım özellikleri bakımından en iyi özellikleri elde etmek amacıyla uygulanması gereken başlıca TM parça üretim basamakları şöyle sıralanabilir;

- Karıştırma; Üretimde kullanılacak tozlar yapı içerisinde homojen dağılım sergilemeleri için çeşitli yöntemlerle (mekanik karıştırıcılar ile) karıştırılır.
- Presleme; Mekanik olarak soğuk presleme ile ön şekillendirme yapılır.
- Sinterleme; Toz taneler arası temas noktalarında ısı ve basınç altında difüzyon bağının oluşması ve numunenin mukavemet kazanması için sinterlenmesi,
- İnfiltrasyon; Bu yöntem ile parça içerisindeki birbirleri ile bağlantılı gözenekler, ana metalin sinterleme sıcaklığından daha düşük bir ergime sıcaklığına sahip bir alaşımla doldurulur.
- Yağ Emdirme; Sinterlenmiş parçalara yağ ve diğer metalik olmayan malzemeler emdirilerek korozyona karşı koruma artırılır.

- Boyutlandırma; Boyut hassasiyetini ve beraberinde yüzey kalitesini artırmak için ilave presleme işlemi yapılır.

- İkinci Presleme; İstenilen mekanik ve manyetik özelliklerin sağlanmasında gerekli olan parça yoğunluğunu elde etmek için bir gözenek azaltma işlemi olan ikinci presleme işlemi yapılır.
- Buharlama İşlemi; Demir esaslı parçaların üretilmesinde genellikle buharlama işlemi gerçekleştirilir. Bu işlem ile parçaları 550°C kadar ısıtarak ve onları su buharına maruz bırakarak, dış yüzeyleri ve iç bağlantılı boşlukları boyunca ince bir Fe_3O_4 tabakası oluşturulur.
- Talaşlı İmalat; Sinterlenmiş parçaların üretilmesindeki en önemli çekicilik karmaşık şekiller ve dar toleransa sahip parçaların üretilebilmesi olmasına rağmen, bazı sınırlamalar bulunur. Bundan dolayı frezeleme, delik delme (presleme doğrultusuna dik delikler), diş açma gibi talaşlı imalat operasyonları, kalıpta presleme ile elde edilemeyen şekillerin verilmesinde kullanılır.
- Çapak Alma*;* Bu işlem, presleme ve talaşlı imalattan kaynaklanan çapakları almak için kullanılır. En yaygın metot tamburlamadır ve bazı durumlarda içinde aşındırıcı toz bulunan sıvı ortamlar kullanılır.
- Birleştirme; Karmaşık ve büyük parçalar birleştirme ile üretilebilir. Difüzyonla birleştirme, sinter-birleştirme ve lazer kaynağı gibi bir çok birleştirme tekniği vardır.

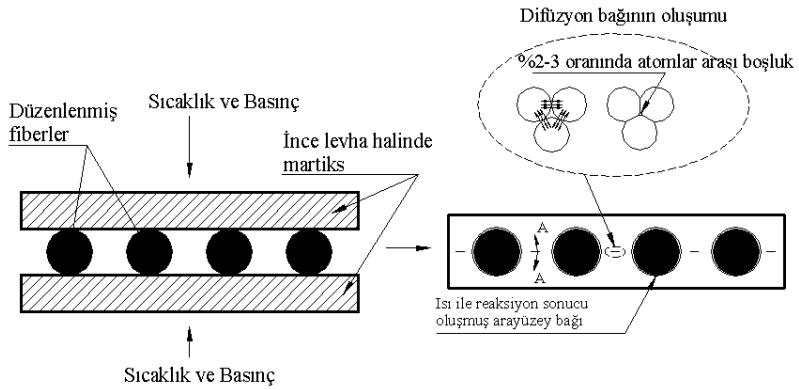
4.2.2. Difüzyonlu birleştirme yöntemi

Difüzyon bağı oluşturma işlemi katı halde üretim tekniklerinden en pratik olanlarından birisidir. Bu metotla metal matrisli kompozitler metal levha veya istenilen karmaşık formlarda üretilebilir. İnce metal plakalar üzerine tek kademeli fiberler istenilen açıda ve hacimde yerleştirilir. Bu işlem tamamlandıktan sonra ergime sıcaklığına yakın bir sıcaklıkta, izostatik preslenerek veya haddelenerek metal-metal teması sağlanır ve metal plaka temas noktalarında difüzyon bağı oluşarak paketlenmiş halde kompozit malzemeler üretilir. Difüzyonlu birleştirme yöntemi üç farklı uygulamada yapılabilmektedir. Bunlar;

- Sabit sıcaklık ve basınç altında (izostatik) presleme,
- Sıcak ve soğuk silindirleme (hot – cold rolling) ile difüzyonlu birleştirme

Sabit sıcaklık ve basınç altında (izostatik) presleme

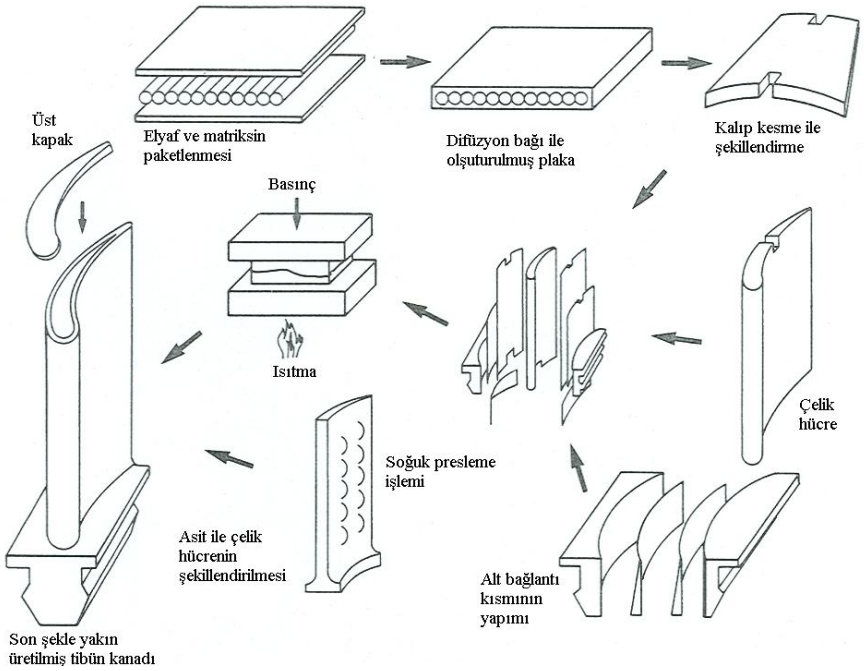
Sabit sıcaklık ve basınç altında yapılan bu üretim yöntemi ile karmaşık form özelliklerine sahip parçalar rahatlıkla ve ucuz olarak üretilebilmektedir. Aynı zamanda yüksek ergime sıcaklığına sahip matrislerin kompozit hale getirilmeleri bu yöntem ile daha kolay ve ucuzdur. Bu üretim metodunda basınç ve sıcaklık kademeli olarak arttırılarak ve ince matris plakalar arasında metal–metal teması sağlanarak difüzyonlu birleştirme gerçekleştirilir. Şekil 4.7'de bu işlemin şematik şekli ve Şekil 4.8'de de uygulama alanlarından uçak motoru tirbün kanatçığının bu yöntem ile üretim basamakları görülmektedir.



Şekil 4.7. Sabit sıcaklık ve basınç altında difüzyonlu birleştirme işlemi [3]

Bu işlemde ince metal levhalar ve fiberlerin yüzeylerinin çok temiz ve oksitsiz olması gerekir. Eğer bu şart sağlanmazsa matris plakalar arasında bir difüzyon bağı oluşturulamaz. Kompozitin dayanımı da oluşan bu difüzyon bağına bağlıdır. Matris–matris temas noktalarında difüzyon bağı oluşurken yine matris–fiberler arasında da sıcaklığın etkisi ile reaksiyonla arayüzey bağı oluşur. Fakat burada kompozitin mekanik özelliklerine direkt etkide bulunan bağ, matris–matris arası difüzyon bağının iyi bir şekilde gerçekleşmiş olmasıdır. İşlem basamaklarını eksiksiz olarak yerine getirebilmek için genellikle fiberlerin yüzeyi plazma püskürtme yöntemi ve iyon kaplama ile çeşitli kaplama metalleri ile kaplanır. Difüzyon bağı oluşturma işleminde sıvı halde üretim tekniğinde karşılaşılan problemlerden biri olan fiberlerin bozulması veya ayrışması problemine, sıvı halde üretim tekniğine göre daha düşük sıcaklıklarda üretildikleri için pek rastlanmaz. Fakat difüzyonlu birleştirmede ürün

içerisinde temas bölgelerinde ve Şekil 4.7'de de gösterildiği gibi bir boşluğun oluşması kaçınılmazdır. Bu yüzden bu tür kompozitlerde % 2 ila % 3 oranında boşluklar oluşmaktadır. Buda kompozitin mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir [62].

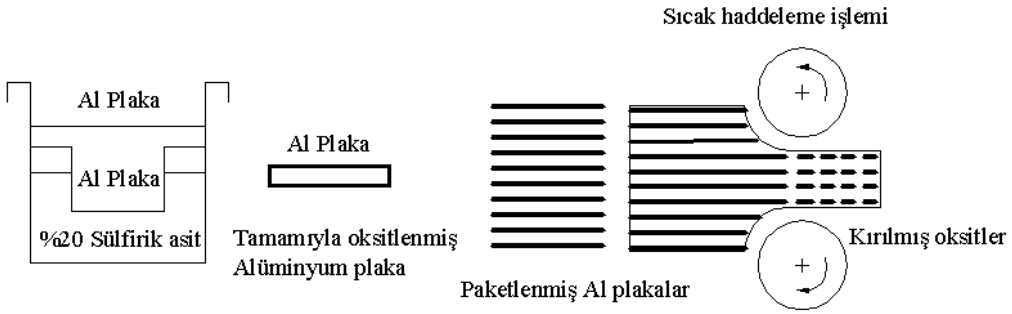


Şekil 4.8. Sabit sıcaklık ve basınç altında difüzyonlu birleştirme ile üretilmiş uçak motoru tirbün kanatçığı üretim işlem basamakları [3]

Sıcak ve soğuk silindirleme ile difüzyonlu birleştirme metodu

Yukarıdaki sabit sıcaklıkta ve basınçta difüzyon oluşturma yöntemi ile benzerlik göstermektedir. Fakat bu yöntem ile sadece plaka halinde kompozit malzemeler elde edilmektedir. Karmaşık formlu parçaların ise imalatı yapılamaz. İşlem basamakları olarak, ince levha halindeki metal plakaların uygun işlem ile oksitlendirilmesi, uygun formda paketlenmesi ve sonrasında sıcak ve soğuk silindirleme işlemleri ile plaka haline getirilmelerinden oluşmaktadır. Yu ve Lee, tarafından yapılan bir çalışmada, bu yöntemle plaka halinde kompozit malzeme üretiminin diğer sıvı ve katı yöntemlere nazaran daha ekonomik olduğu belirtilmiştir. Ayrıca bu yöntemle istenilen hacim oranlarında kompozit üretiminin başarıyla gerçekleştirilebildiğini belirtmişlerdir. Elde ettikleri kompozitlerin elastikiyet modülü ve çekme dayanımı

özelliklerinin matrise nazaran daha iyi olduğunu tespit etmişlerdir [62]. Kompozitlerin üretimlerinde kullandıkları işlem basamakları Şekil 4.9'da görülmektedir.



Şekil 4.9. Sıcak ve soğuk silindirleme ile kompozit üretim işlem basamakları [62]

Bu yöntemin diğer difüzyonlu üretime göre avantajlı yanı süreli takviye elemanları ile üretimin yapılabilmesini sağlamasıdır. Yu ve Lee tarafından yapılan çalışmada matris ince plakalar sülfürik asit gibi asitlere daldırılarak oksitlendirilebildiği gibi oksit yükleyici gazlı ortamlar ya da normal hava şartlarına bırakılarak ince metal esaslı levhaların yüzeylerinde 5 ila 15 μm kalınlıklarında oksitleme işlemleri yapılabilmektedir [62].

4.3. Katı + Sıvı Hal Üretim Yöntemi

"Compocasting" ve "Rheocasting" olarak da adlandırılır. Sıvı metal karıştırma yöntemindeki ıslanabilirlik problemini çözmek için geliştirilen yöntemlerden biridir. Bu yöntemde, seramik parçacıklar matris içerisine alaşımın sıvı-katı sıcaklığındaki bir sıcaklıkta katılır ve bu işlemi daha sonra düşük vizkoziteli karışımı mekanik olarak karıştırma işlemi takip eder. Karışımın yarı katı olması, karıştırma esnasında parçacık ilavesini kolaylaştırır. Seramik parçacıkların topaklanma eğilimi karışım içinde bulunan katı faz yardımıyla engellenir ve parçacıklar katı fazlar arasında mekanik olarak tutulur. Daha sonra sıvı matrisle etkileşime girerek bağ oluşturur. Ayrıca, mekanik karıştırma sonucu oluşan sürekli deformasyon sonucunda katı fazların kırılmasıyla parçacıkların topaklanması engellenir. Bazı araştırmacılar tarafından bu yöntemin, ıslanabilirliği iyileştirdiği ve iyi bir parçacık dağılımı sağladığı için etkili olduğu belirtilmektedir [7].

5. TALAŞLI İMALAT VE İŞLENEBİLİRLİK

5.1. Giriş

Endüstriyel makine parçalarının birçoğu son kullanım formlarına, talaşlı imalat yöntemiyle getirilmektedir. Sıcak ve soğuk haddeleme ya da presleme, döküm, dövme, enjeksiyonla kalıplama ve diğer şekillendirme yöntemleriyle üretilmiş mühendislik malzemelerinin kullanıma hazır hale getirilmesinde çoğu zaman talaşlı imalat yöntemi kullanılır. Talaşlı imalatta, hammadde formu ve istenilen geometri, kullanılacak takım tezgahı ve kesici takım seçiminde etkilidir. Hammadde üzerindeki fazlalıklar, uygun takım tezgahı, kesici takım ve kesme parametreleri kullanılarak, talaş kaldırmak suretiyle, istenilen ölçü toleransları ve yüzey kalitesinde istenilen geometriye getirilir. Talaşlı imalat işleminde etkin olan kesme hareketi iş parçasının kesici takım önündeki plastik deformasyonunu ve deforme olan bu katmanın talaşa dönüşmesini gerektirir. Bu yöntem çoğunlukla metalleri şekillendirmek için uygulansa da diğer bazı malzemeler de aynı yöntemle şekillendirilebilir [47,64,65] .

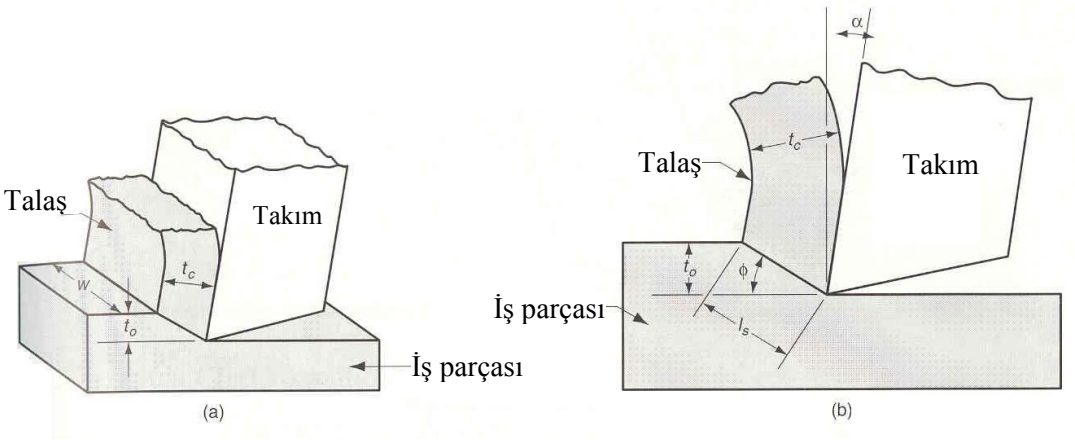
Endüstriyel ürünlerin imalatında, talaşlı imalat işlemi, maliyet açısından en önemli faktördür. Çoğu zaman ham madde maliyeti, talaşlı imalatla işleme maliyetinin çok altında kalmaktadır. Talaşlı imalatta kullanılan kesicilerin pahalı olması, asıl neden olarak gösterilebilir. Aynı zamanda hammaddenin, talaşlı imalatla şekillendirilme özelliklerinin yeterli derecede bilinmemesi de maliyetin dolaylı olarak artmasına neden olmaktadır. Öyleki, uygun seçilmeyen hammadde – takım çifti ve yine uygun seçilmeyen işleme parametreleri nedeniyle, etkili kullanılamayan kesici takım ya da fazla enerji tüketimi ile parça üretimi, parça başına maliyet oranının artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, üretim maliyetini azaltmak amacıyla, ham haldeki iş parçasının işlenebilirlik özelliklerini iyileştirmek, kesici takımların kesme performanslarını arttırarak işleme zamanını optimize etmek ve etkili takım ömrünü uzatmak amacıyla çok sayıda çalışma yapılmıştır.

İşlenebilirlik kavramı, evrensel olarak tanımlanmış veya standartlaştırılmış bir terim olmayıp, genel manada iş parçası imalinde kullanılacak malzemenin, talaşlı imalatla şekillendirme işlemi esnasında, insan faktörü ve ortam değişkenlerine bağlı olarak sergilediği davranış olarak tanımlanabilir. Başka bir deyişle "talaş kaldırarak iş parçası malzemesini şekillendirmenin nispi kolaylığı veya zorluğu" olarak tanımlamaktadır [65].

Talaşlı imalat işleminde iş parçası malzemelerinin işlenebilirliğinin ve kesici takımların kesme performanslarının artırılması çok sayıda bilimsel araştırmanın konusu olmuştur. Geleneksel malzemelere göre üstün özelliklere sahip yeni yüksek performanslı malzemelerin ve alaşımların (örnek olarak, süper alaşımlar ve kompozit malzemeler) geliştirilmesi, araştırmacıları bu yeni geliştirilen malzemelerin işlenebilirlik problemlerine yönlendirmiştir [66].

5.2. Talaşlı İmalat Mekaniği ve Talaş Oluşumu

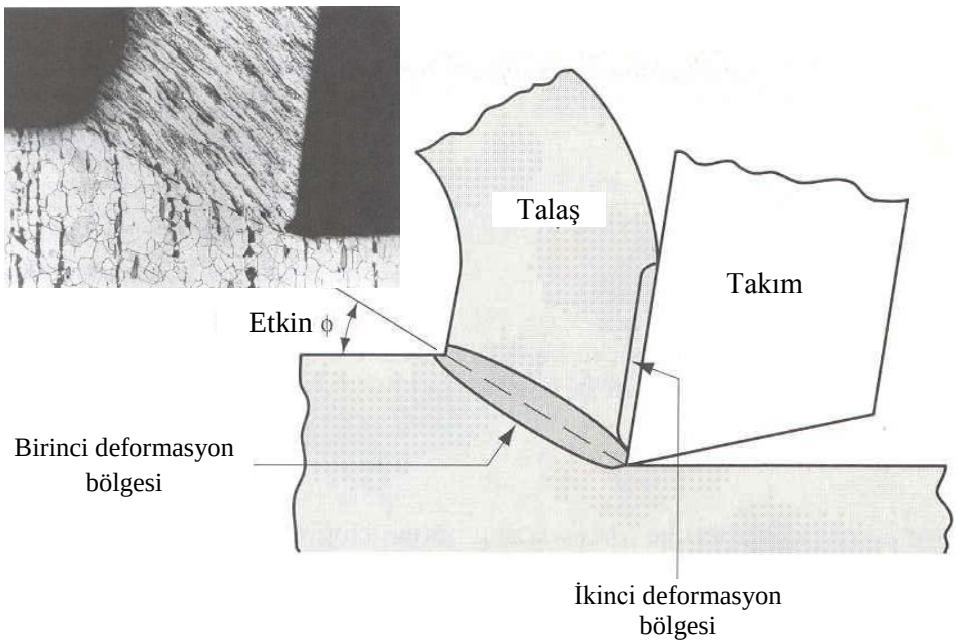
Talaşlı imalat işleminin mekaniği ve talaş oluşumu üzerine yapılan analizlerde genellikle iş parçası olarak metaller dikkate alınmıştır [61,66-68]. Bununla birlikte, metal dışı olan malzemelerin işlenmesinde de benzer kurallar uygulanabilir. Talaşlı imalat işlemi gerçekte üç boyutlu ve oldukça karmaşık olduğu için talaşlı imalat işleminin mekaniğinin tanımlanmasında iki boyutlu dik kesme (orthogonal) modeli kullanılır (Şekil 5.1). Bu yaklaşım basit olmakla birlikte talaşlı imalat mekaniğini yeterli doğrulukta tanımlar. İki boyutlu dik kesme modeli talaşlı imalat işleminin analizinde önemli bir rol oynar. Bu modele göre, kesici takımın iş parçasını plastik deformasyona zorlamasıyla, kesme parametreleri ve kesici takım geometrisine bağlı olarak farklı açılarda oluşan kayma düzleminde, iş parçasını oluşturan tanelerin, taneler arası yer değiştirmenin bir fonksiyonu olan elastikiyet modülüne bağlı olarak, kayma gerilmesinin aşılmasıyla talaş oluşumu gerçekleşir [3,7].



t_0 : deforme olmamış talaş kalınlığı
t_c : deforme olmuş talaş kalınlığı
w : iş parçası genişliği
l_s : kayma düzlemi uzunluğu
ϕ : kayma düzlemi açısı
α : kesici takım talaş açısı

Şekil 5.1. Dik kesme modeli [3,7]
a) İzometrik görünüş, b) Önden görünüş

Gerçekte ise talaş oluşumu ince bir bölgede gerçekleşir, Şekil 5.2. Talaş oluşumu plastik deformasyonun önemli derecede rol oynadığı bir işlemdir.



Şekil 5.2. Gerçek talaş oluşumu [3,7]

Talaşlı imalat işleminde talaş oluşumu, iş parçasının kesici takım önündeki bölgesel deformasyonu ile gerçekleşir. İş parçası ve kesici takım arasındaki nispi hareket sonucu iş parçasında oluşan gerilme, iş parçasını birinci deformasyon bölgesinde plastik deformasyona uğratarak talaş oluşumunu gerçekleştirir. Oluşan talaş, kesici takımın talaş yüzeyi üzerinden geçerek atılır. Birinci kayma (deformasyon) düzleminde oluşan talaş kesici takımın talaş yüzeyi üzerinden geçerken kayma veya yapışma sonucu ikinci defa deformasyona uğrar ve kesme bölgesinden atılır.

5.3. Takım-Talaş Arayüzeyi ve Yığıntı Talaş Oluşumu

Talaşlı imalat işlemi esnasında birinci deformasyon bölgesinden ayrılan talaş kesici takım-talaş yüzeyinden geçerek kesme bölgesinden atılır. Talaşın bu bölgeden geçerken kesici takımla etkileşimi ve davranışı talaşlı imalat performansını önemli ölçüde etkiler. Çoğu analizlerde bu bölgede kesici takım ve talaş arasında klasik sürtünme olduğu kabul edilmiştir, fakat bu yaklaşımın genellikle uygun olmadığı görülmüştür. Kesici takım, talaş ve ani durdurma ile elde edilen numuneler üzerinde yapılan metalografik incelemelerde, bu bölgede çoğunlukla klasik sürtünmenin olmadığı ve yapışma olduğu sonucuna varılmıştır [69]. Bu bölgede yüksek basınç ve sıcaklıktan dolayı iki yüzey birleşerek metalin kayma hareketini durdurur fakat takım-talaş arasındaki hareket devam ettiğinden dolayı ara yüzeyde akma bölgesi oluşur. Hareketin şekli çoğunlukla kesilen iş parçası malzemesinin özelliğine ve kesme parametrelerine bağlıdır. Bu bölge “akma bölgesi” veya “ikinci deformasyon bölgesi” olarak adlandırılır, (Şekil 5.2).

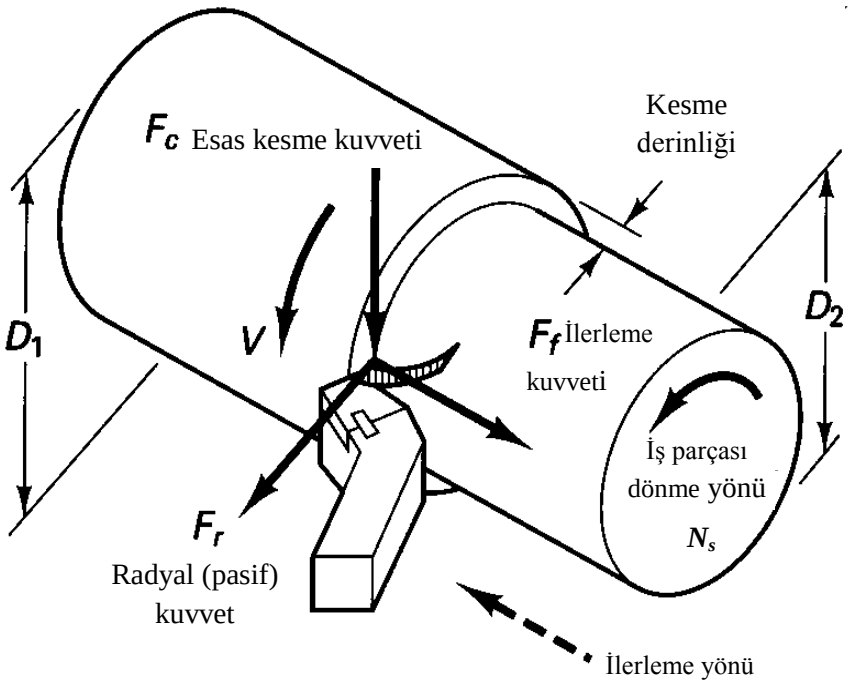
Ara yüzeyde yapışma sonucu akma bölgesi daima kesici takım yüzeyinde oluşmaz. Alternatif bir özellik olan yığıntı talaş, talaşlı imalat işlemlerinde sıkça görülür. Çoğunlukla orta seviyedeki kesme hızlarında görülen yığıntı talaş, yapılarında birden fazla faz bulunduran alaşımların işlenmesinde, pekleşen iş parçası malzemesinin kesici takım talaş yüzeyinde ve kesici uç etrafında kümelenerek talaşın kesici takımla doğrudan temasını engeller. Yığıntı talaş oluşumu ile yoğun ve hızlı kayma deformasyonu takım yüzeyinden yığıntı talaş yüzeyine taşınır [67].

Yığıntı talaş oluşumunun gerçekleştiği sıcaklık iş parçasının yeniden kristalleşme sıcaklığının altındadır. Yığıntı talaşın yapısı yeniden kristalleşmeye maruz kalmış akma bölgesinin yapısından tamamen farklıdır. Yığıntı talaş dinamik bir yapıya sahiptir. Metal kesme işlemi esnasındaki zor şartlarda sertleşen katmanların kümelenmesiyle oluşur ve belirli bir yüksekliğe ulaştıktan sonra talaş akışının neden olduğu kayma kuvvetlerine daha fazla dayanmayacağı için talaş veya iş parçası vasıtasıyla kesici uçtan uzaklaşır. Yığıntı talaş, kesici uçtan uzaklaştırılması ile tekrar oluşmaya başlar ve bu şekilde periyodik olarak oluşumu ve kırılması devam eder. Yığıntı talaşın kesici takım yüzeyinden atılması esnasında bir kısım kesici takım malzemesi veya kesici takım üzerinde yer alan kaplama malzemesi de yığıntı talaşla birlikte kopup gidebilir [62]. Bazı durumlarda yığıntı talaş kesici uç üzerinden iş parçası malzemesine doğru çıkıntı oluşturarak talaş derinliğini artırır ve bu çıkıntı düzensiz bir yapıya sahip olacağı için yüzey pürüzlülüğünü artırır [69].

Yığıntı talaşın şekli, özellikle kesici takım talaş açısını ve talaş derinliğini etkiler. Yığıntı talaş, talaşlı imalat işleminde çeşitli durum ve biçimlerde görülen ve genelde olumsuz kabul edilen bir faktördür ve oluştuğu kesme şartları değiştirilerek çoğunlukla oluşumu engellenebilir [48,49,65].

5.4. Talaşlı İmalat İşleminde Kesme Kuvvetleri

Talaş kaldırma işlemi esnasında oluşan kesme kuvvetleri, ısı oluşumu, takım ömrü, işlenen yüzeyin kalitesi ve iş parçasının boyutları üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Kesme kuvvetleri aynı zamanda takım tezgahlarının, kesici takımların ve gerekli bağlama kalıplarının tasarımında da kullanılır [3,67-71]. Tornalama işlemi esnasında oluşan kuvvetler Şekil 5.3'te şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Tornalama işleminde kesme kuvvetleri [67]

Şekil 5.3'te kesme kuvvetinin üç bileşeni mevcuttur.

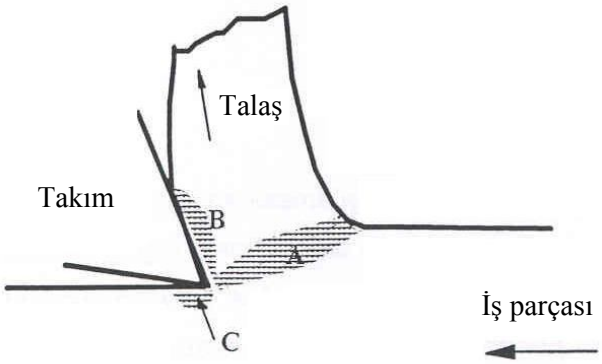
1. Esas kesme kuvveti (F_c): Kesme hızı yönünde etki eder. En büyük kuvvet olup metal kesme işleminde harcanan gücün genelde % 99'una karşılık gelir.
2. İlerleme kuvveti (F_f): Kesici takımın ilerlemesi yönünde etkiyen kuvvettir. Kesme kuvvetinin ekseriyetle yaklaşık % 50'si kadardır fakat ilerleme hızının kesme kuvvetiyle karşılaştırıldığında çok küçük olduğu için metal kesme işlemindeki gerekli gücün çok az bir kısmına karşılık gelir.
3. Radyal yada pasif kuvvet (F_r): İşlenen yüzeye dik etkiyen kuvvettir. Bu kuvvet de ilerleme kuvvetinin yaklaşık % 50'si kadardır [67].

Bileşke kuvvet bu üç kuvvetin vektörel olarak toplanması ile elde edilir ve aşağıdaki eşitlikle hesaplanır:

$$F = \sqrt{F_c^2 + F_f^2 + F_r^2} \tag{5.1}$$

5.5. Talaşlı İmalat İşleminde Isı ve Sıcaklık

Talaşlı imalat işleminde kullanılan güç ekseriyetle ısıya dönüşerek talaşın, iş parçasının ve kesici takımın sıcaklığını artırır. Sıcaklık artışı, metal kesme işlemi esnasında oluşan ısı ve aynı zamanda bu ısının uzaklaştırılması durumuna bağlıdır [68]. Oluşan ısı sonucu sıcaklık artışı kesici takım performansını ve iş parçası kalitesini etkiler [62]. Kesme bölgesinde ısı üretme kapasitesine göre ısı oluşturan üç bölge vardır (Şekil 5.4):



A – Esas ısı bölgesi (I. deformasyon bölgesi)

B – İkinci ısı bölgesi (II. deformasyon bölgesi)

C – Boşluk yüzeyi ısı bölgesi (III. deformasyon bölgesi)

Şekil 5.4. Kesme bölgesinde ısı oluşumu [7,69]

A - Kayma düzlemi; buradaki plastik deformasyon önemli bir ısı kaynağı olup oluşan ısının çoğu talaşta kalır.

B - Takım-talaş arayüzeyi temas bölgesi; buradaki ilave plastik deformasyon olur ve kayma hareketinden dolayı ısı oluşumunda önemli derecede etkilidir.

C - Takım yan yüzeyi, burada yeni oluşan iş parçası yüzeyinin takım yüzeyine sürtünmesiyle ısı oluşur. Özellikle bu sürtünme yan yüzey aşınması ile artar [67].

Isının takım aşınması ve takım ömrü üzerinde doğrudan bir etkisi vardır ve kesme hızının artışını sınırlandırır. Oluşan ısının çoğu, kesme bölgesinden talaş, iş parçası,

kesici takım ve ortam tarafından uzaklaştırılır, bunların her biri tarafından uzaklaştırılan ısının miktarı iş parçası malzemesi, kesme parametreleri, kesici takım malzemesi, takım geometrisi ve kesme şartlarıyla değişir [70].

Kesme hızı, kesme sıcaklığı üzerinde çok önemli bir etkiye sahiptir. Kesme hızının artmasıyla metal kesme işlemindeki deformasyon ve sürtünme için kullanılan birim zamandaki enerji artar ve bu da ısıyı ve dolayısıyla sıcaklığı artırır [70].

Aşırı sıcaklık, kısa takım ömrü ve kesme hızını sınırlandırmanın ana sebebidir. Kesici takım malzemelerinin geliştirilmesi, büyük bir oranda yüksek sıcaklık etkilerine dayanabilmeleri etrafında odaklanmıştır. Kesme bölgesindeki sıcaklık büyük oranda takım ile talaş arasındaki temasa, kesme kuvvetlerinin büyüklüğüne ve iş parçası ve kesici takım arasındaki sürtünmeye bağlıdır. Bu durumda düşük kesme hızları, iş parçasına iletilen ısıyı ve dolayısıyla sıcaklığı artırabilir. Yüksek kesme hızları enerjinin çoğunun talaşla atılmasının ve kesici takım ve iş parçasına az miktarda ısı iletilmesini sağlar. Metal kesme işleminde oluşan ısının çoğu kesme bölgesinden ideal olarak talaşla uzaklaştırılır. Talaştaki ısı, kesici takımı, talaş ve takım arasında temas olduğu sürece etkiler. Isının çoğu kayma bölgesinden kaynaklanır ve bu nedenle takım ve talaş arasındaki temasın ölçüsü, performansı etkiler. Küçük talaş açılarından kaynaklanabilen küçük kayma açıları iş parçasına iletilen ısı miktarını artırabilir [7,65].

5.6. Kesici takım malzemeleri

Talaşlı imalat işlemi esnasında yüksek sıcaklık ve gerilmeler nedeniyle kesici takımların etkin bir şekilde uzun süre kesme işlemi yapabilmesi için kesici takım malzemeleri aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır [65]:

a) Yüksek sertlik ve sıcak sertlik,
b) Yüksek tokluk,
c) İş parçasına karşı kimyasal olarak asallık,
d) Oksidasyon ve kimyasal olarak çözünmeye (dissolution) karşı kararlılık,

e) Isıl şoklara karşı direnç.

Endüstriyel alanlarda yaygın olarak kullanılan kesici takım malzemeleri aşağıda kısaca özetlenmiştir.

5.6.1. Yüksek hız çeliği

Yüksek hız çeliği, karbon ve düşük alaşımlı çeliklere nazaran yüksek sıcaklıklarda sertliğini koruyabilen, yüksek alaşımlı bir takım çeliğidir. Günümüzde kullanılan en önemli takım malzemelerinden biridir. Matkap, kılavuz, freze çakıları ve tığlar gibi karmaşık geometriye sahip kesici takımların üretiminde yaygın olarak kullanılırlar. Yüksek hız çeliği kesici takımlar sementit karbür ve seramik gibi daha sert kesici takımlardan daha iyi tokluk özellikleri sergilerler. Taşlamayla istenilen geometriye kolayca getirilebildikleri için, imalatçılar tarafından tek noktadan kesme işlemi yapan kesici takım olarak da kullanılırlar. Yüksek hız çeliği takımlar, özellikle matkaplar, kesme performanslarının önemli ölçüde artırılması için TiN ile kaplanırlar [69].

5.6.2. Sementit Karbürler

Sementit karbür kesici takımlar ilk olarak tungsten karbür (WC) ve kobalt (Co) parçacıklarından toz metalurjisi yöntemleriyle üretilmişlerdir. Sert WC parçacıklarından dolayı dökme demir ve çelik dışı metallerin işlenmesinde yüksek hız çeliğinden daha yüksek kesme hızlarında etkin bir şekilde kullanılmıştır [69].

Çelik ve WC-Co arasındaki güçlü bir kimyasal reaksiyondan dolayı takım-talaş arayüzeyinde adhezyon ve difüzyon vasıtasıyla özellikle çeliklerin işlenmesi esnasında hızlı krater aşınması oluştuğu için, WC-Co sementit karbür kesici takımlara TiC ve TaC ilave edilerek krater aşınma direnci önemli derecede iyileştirilmiştir. WC-TiC-TaC-Co kesici takımlar çeliğin işlenmesinde kullanılabilir [3,7,69].

İki tür sementit karbürün genel özellikleri benzer olup aşağıdaki gibidir:

- Yüksek basma dayanımı, düşük veya orta seviyede çekme dayanımı,
- Yüksek sertlik (90-95 HRA),
- Yüksek sıcak sertlik,
- İyi aşınma direnci,
- Yüksek ısıl iletkenlik,
- Yüksek elastikiyet modülü,
- Yüksek hız çeliğinden düşük tokluk [69].

Çelik dışı malzemelerin işlenmesinde kullanılan sementit karbür kesici takımlar alüminyum, pirinç, bakır, magnezyum, titanyum ve dökme demirin işlenmesinde kullanılır. Çelik türü malzemeler için olan sementit karbür ise düşük alaşımlı, paslanmaz ve diğer alaşımlı çeliklerin işlenmesinde kullanılır. Bu tür kesici takımlarda WC ile birlikte TiC ve/veya TaC'de kullanılır. Çoğunlukla % 10-25 oranında TiC ve TaC aynı oranda WC azaltılarak ilave edilir. Bu yapı, bu tür kesici takımlarda çeliğin işlenmesinde krater aşınma direncini artırır fakat çelik dışı malzemelerin işlenmesinde hızlı yan yüzey aşınmasına sebep olur [69].

5.6.3. Kaplamalı sementit karbür

Sementit karbürlerin aşınmaya dirençli TiC, TiN ve/veya Al_2O_3 gibi malzemelerle kaplanması kesici takım alanındaki en önemli gelişmelerden biri olarak kabul edilir. Kimyasal (CVD) veya fiziksel (PVD) buhar çökeltme yöntemleriyle sementit karbür altlık üzerine birkaç mikron kalınlığında tek veya çoklu katman olarak kaplanan bu malzemeler, sementit karbür kesici takımın performansını önemli ölçüde artırır [3,7].

Kaplamalar, geliştirildikleri ilk zamanlarda tek katman olarak uygulanmıştır fakat son zamanlarda çok katlı kaplamalar geliştirilmiştir. WC-Co kesici takıma, adhesiv olarak iyi birleşmelerinden ve birbirlerine yakın ısıl iletkenlik katsayılarından dolayı

çoğunlukla TiN veya TiCN uygulanır. Bu ilk katmanın üzerine TiN, TiCN ve Al_2O_3 uygulanması yaygındır [3,7].

5.6.4. Sermet

Sermet ifadesi seramik ve metal kelimelerinden türetilmiştir ve sementit karbürlerin müşterek ismidir. Sermet kesici takımda sert parçacıklar WC'den ziyade TiC, TiCN ve/veya TiN esaslı seramik parçacıklardan oluşurken birleştirici faz da nikel ve/veya molibdenden oluşur. Sermet kesici takımlar da sementit karbür gibi toz metalurjisi yöntemleriyle üretilirler. Çelik, paslanmaz çelik ve dökme demirin bitirme ve yarı bitirme işlemlerinde, yüksek kesme hızlarında kullanılırlar. Çeliklerin işlenmesinde kullanılan sementit karbür kesici takımlardan genellikle daha yüksek hızlarda kullanılırlar. Düşük ilerleme hızları kullanılarak iyi bir yüzey elde edilerek çoğunlukla taşlama işlemine gerek kalmaz [7,64,65].

5.6.5. Seramik

Seramik kesici takımlar esas olarak alüminyum oksit (Al_2O_3) ve silisyum nitrür (Si_3N_4) olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Sementit karbür kesici takımlarla karşılaştırıldıklarında, yüksek sertlik ve sıcak sertlik, yüksek aşınma ve plastik deformasyon direnci ve iyi kimyasal kararlılık özelliklerine sahip olmakla birlikte düşük ısıl şok direnci ve kırılma tokluğu özellikleri sergilerler. Al_2O_3 seramik kesici takımlar dökme demir ve çelik dökümün yüksek hızlarda işlenmesinde başarıyla kullanılırlar. Kararlı olarak bağlama gerçekleştirildiğinde, sertleştirilmiş çeliklerin bitirme işlemleri yüksek hız, düşük ilerleme ve düşük talaş derinliği kullanılarak gerçekleştirilebilir [66].

Üretimlerindeki ve sinterlenmelerindeki iyileştirmelerle ve tokluklarını artırıcı çeşitli elementlerin katılmasıyla seramik kesici takımlar daha iyi dayanım, ısıl şok direnci ve kırılma tokluğu gibi özelliklere sahip olmuşlardır ve dolayısıyla uygulama alanları genişlemiştir [66].

5.6.6. Çok sert kesici takımlar

Doğal elmas (tek kristalli), çok kristalli elmas (ÇKE) ve kübik bor nitrür (KBN) çok sert kesici takımlar grubuna giren malzemelerdir.

Doğada bilinen en sert malzeme doğal elmastır. Sementit karbür veya Al_2O_3'ten yaklaşık olarak 3-4 kat daha serttir. Anizotropik özellik sergilediği için ölçüm yapılan kristal düzlemine bağlı olarak sertliği 6500 – 12000 VSD arasında değişir. Çok yüksek sertliği, mükemmel aşınma direnci, düşük sürtünme katsayısı, düşük genleşme katsayısı ve ısıl şok direncini artıran yüksek iletkenliği ve iyi uç keskinliği tek kristalli elması takım malzemesi olarak cazip hale getirmiştir. Elmas kesici takımlar yüksek sertliklerinden dolayı karbür ve seramik kesici takımlardan aşınma direnci abrasif aşınma mekanizmasının hakim olduğu yerlerde çok daha iyidir [7,72].

Kesici takım olarak tek kristalli elmas özel uygulamalar için kullanılır. En yüksek sertliği veren kristal yönlenmesi seçilir ve kesici takım geometrisine lepleme ile getirilir. Kesici uçlar mükemmel biçim hassasiyetine getirilir, uçlar hazırlanır ve çok yüksek hassasiyette ve kalitede bitirme yüzeyleri elde edilebilir. Optik aletlerin üretimi için kullanılır. Bununla birlikte, düşük tokluklarından, kesici takım geometrisine getirilmedeki güçlüklerinden ve yüksek maliyetlerinden dolayı tek kristalli elmas kesici takımların kullanımları oldukça sınırlıdır [72].

Çok kristalli elmas kesici takımlar yapay elmasın grafitik karbondan çok yüksek sıcaklık ve basınç altında üretiminden sonra kullanılmaya başlanmıştır. Çeşitli boyut ve şekillerde üretilen elmas parçacıklar bir metalik birleştirici ile birlikte bir araya getirilerek sıcak presleme yöntemiyle çok yüksek basınç altında kesici takım geometrisinde imal edilir. Çoğunlukla 0,5 – 1 mm kalınlığındaki ÇKE, sementit karbür alt katman üzerinde kesici takım olarak kullanılır [69].

ÇKE kesici takımlar rastgele yönlenmiş elmas parçacıklarından oluştuğu için çoğu uygulamalarda izotropik davranış sergilerler. Doğal elmastan elde edilebilecek kadar mükemmel bir kesici ucun ÇKE kesici takımla elde edilmesi mümkün olmamakla

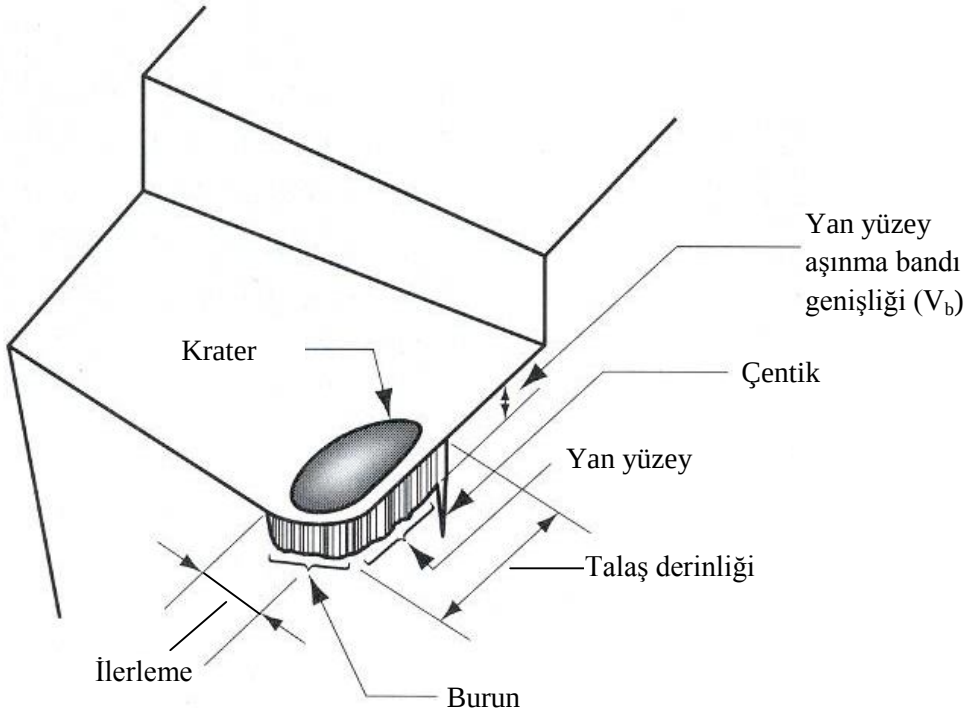
birlikte kesici uç deformasyona daha az duyarlıdır. Bununla birlikte diğer kesici takımlarla karşılaştırıldığında aşınmaya karşı dayanımı mükemmeldir. Çok uzun süre kesme hassasiyetini koruduğu için özel uygulamalar için çok uygundur. Doğal elmas gibi demir dışı ve metal dışı malzemelerin işlenmesinde kullanılır [69]. Yüksek dayanım ve sertliğine rağmen yüksek sıcaklıkta çeliğin işlenmesinde hızlı takım aşınmasından dolayı kullanılmaz. Yüksek sıcaklıkta elmasın grafite dönüşümü ve/veya elmas ile demir veya atmosfer arasındaki etkileşimden dolayı hızlı takım aşınması gerçekleşir [72].

Yapay elmas üretiminde kullanılan aynı teknoloji ile hekzagonal bor nitrürden KBN üretimi gerçekleştirilmiştir. 3500 – 4500 HV sertliği ile elmastan sonra sertlikte ikinci sırada yer alır. 1100 °C sıcaklıkta sertliği 1800 – 2000 HV olup sementit karbürün oda sıcaklığındaki sertliğine tekabül eder. Mükemmel aşınma direnci, iyi ısıl iletkenliği, düşük sürtünme ve ısıl genleşme katsayıları diğer özellikleridir [72].

ÇKE kesici takımlarda olduğu gibi KBN parçacıkları çok yüksek basınçlar kullanılarak kesici takım haline getirilir. Yoğunluğunu artırmak için başlangıç parçacıklara bir miktar metal tozu ilave edilir. KBN demir, kobalt ve nikel esaslı malzemelerin işlenmesinde kullanılır. Titanyum, alüminyum ve zirkonyum gibi nitrür ve bor oluşturan elementlerle reaksiyona girer [72].

5.7. Takım Aşınması

Hemen hemen bütün talaşlı imalat işlemleri esnasında kesici takımlar belirli bir süre sonra etkin olarak kesme kabiliyetlerini kaybederler. Şekil 5.5 kesici bir takım üzerindeki aşınmaları şematik olarak göstermektedir. Kesici takım geometrisindeki tedrici şekil değişikliği (aşınma), anlık yüksek kuvvetlerden dolayı kesici ucun kırılması ve yüksek sıcaklık ve gerilmeler nedeniyle kesici takım malzemesinin dayanımının azalarak plastik deformasyona uğraması, kesici takımın kesme kabiliyetini kaybetmesinin nedenlerindendir [3,7,72].



Şekil 5.5. Kesici takımdaki aşınmaların şematik olarak gösterilmesi [3,7]

Talaş kaldırma işlemi esnasında kesici takımın aşınması aşağıdakilerden biri veya birkaçının aynı anda gözlenmesiyle anlaşılır:

- Kesme kuvvetlerindeki aşırı yükselme,
- Sıcaklık artışı,
- Aşırı titreşim,
- Yüksek gürültü,
- İşlenen malzeme boyutlarındaki değişim,
- İşlenen yüzeyin bozulması [7,65].

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

1- *Kırılma:* Kesici takıma gelen anlık yüksek kuvvetler nedeniyle oluşan kırılmalar veya sürekli olmayan kesme işlemi (frezeleme işlemi gibi) esnasında mekanik ve

ısıl yorulmalar sonucu kırık oluşumundan dolayı kesici takımda kırılma ve pullanma-soyulma şeklinde oluşan aşınmalardır [7,65].

2- *Plastik deformasyon*: Kesici takımda plastik deformasyon, yüksek basınç ve sıcaklık sonucu oluşur. Plastik deformasyona uğramış kesici takım geometrisi değiştiği için kesme işlemini etkin bir şekilde yapamaz, sıcaklık artar ve talaş akışı değişir. Plastik deformasyona direnç için kesici takımın sıcak sertlik özelliğinin iyi olması gerekir. Ayrıca, uç yuvarlatma ve kesme geometrisi iyileştirilerek plastik deformasyona direnç artırılabilir [7,65].

3- *Tedrici takım aşınması:* Kesici takım üzerinde tedrici aşınma talaş yüzeyi ve yan yüzey olmak üzere iki bölgede görülür. Talaş yüzeyindeki aşınma "krater aşınması" ve yan yüzeydeki aşınma da "yan yüzey (yanak) aşınması" olarak isimlendirilir. Krater aşınması, kesici takım talaş yüzeyinde talaşın hareketiyle oluşan içbükey alandır. Krater aşınmasının büyüklüğü, bu alanın derinliği ve alanı ölçülerek belirlenir. Yan yüzey aşınması ise yeni oluşan iş parçası yüzeyi ile kesici takım yan yüzeyinin sürtünmesiyle oluşur. Yan yüzey aşınması bu aşınma bandının genişliği ile ölçülür. Kesici takımın iş parçası orijinal yüzeyi ile temasta olan yan yüzeyinde çoğunlukla daha fazla bir aşınma görülür. Çentik aşınması olarak adlandırılan bu aşınmanın sebebi iş parçası yüzeyinin soğuk haddeleme veya önceki işlemlerden dolayı sertleşmiş olması, dökümden kalan sert malzemeler ve diğer nedenlerdir [3,7,65].

5.8. İşlenebilirlik

İşlenebilirlik, talaşlı imalatla şekillendirilmek üzere seçilen hammaddenin özelliklerinin (alaşım elementleri ve mikroyapı özellikleri ile sertlik, akma ve çekme dayanımı, ısıl iletkenlik, taneler arası bağ özellikleri, elastik modülü gibi parametreleri), seçilen talaşlı imalat yöntemindeki parametrelere (işleme şekli, tezgah gücü ve özellikleri, takım tutucu ve formu, kesici uç malzemesi ve formu, kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği, kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, soğutma tipi ve yöntemi, vb.) bağlı olarak, hammaddenin ve talaşlı imalat

yönteminin değişkenlerinin ayrı ayrı ve bütün olarak sergiledikleri davranışlardır. İşlenebilirlik, ekseriyetle malzemenin özgül bir özelliği olarak algılansa da, sadece işlenen malzemeye bağlı olmayıp aynı zamanda işleme yöntemi ve işleme parametrelerini de kapsamaktadır [7,64].

Hammadde malzemesinin mikroyapı ve mekanik özelliklerinin optimum değerlerde olduğu var sayılarak, seçilen işleme yöntemi ve parametrelerin, hammaddenin işlenmesindeki sergiledikleri davranış ve etkilerin, işlenebilirlik açısından değerlendirilmesinde çeşitli kıstaslar kullanılır. Bunlardan en yaygın olanları:

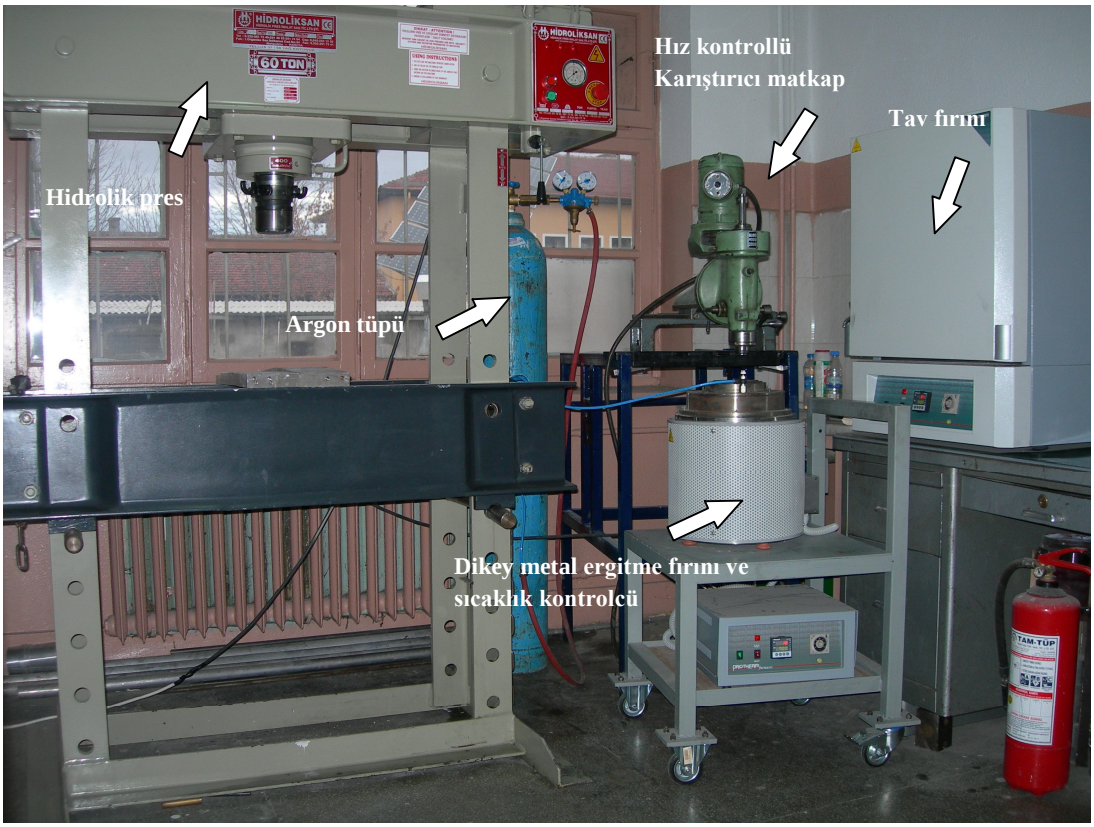
a) Takım ömrü,
b) Kesme kuvvetleri ve harcanan enerji veya güç,
c) İşlenen yüzey kalitesidir [65].

Malzemelerin işlenebilirliklerini etkileyen malzeme özellikleri sertlik, süneklik, ısıl iletkenlik, pekleşme, malzeme içindeki inklüzyonlar ve malzemenin kimyasal bileşimidir. Örnek olarak, sertlik arttıkça kesici takımda 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 (YT; built-up edge - BUE) oluşumu gerçekleştiği için yüzey kalitesi kötüleşir ve takım ömrü kısalır. Çok düşük sertlik talaşlı imalat işleminin performansını kötü yönde etkileyebilir. Örnek olarak, nispeten düşük sertliğe sahip düşük karbonlu çeliğin işlenmesinde kötü yüzey kalitesi oluşur ve talaş uzaklaştırılması ile ilgili problemlerle karşılaşılır. Bu nedenle, düşük karbonlu çeliklerde yüzey sertliğini artırmak ve talaş kırılmasını sağlamak için ekseriyetle soğuk çekme işleme uygulanır. Düşük süneklik, metal kesme işleminde genelde olumlu bir etki yaparak iyi talaş oluşumuna katkıda bulunur ve metal kesme işlemi için daha az güç gerektirir. Artan iş parçası dayanımı da kesme kuvvetleri, özgül enerji ve kesme sıcaklığını artıracağı için, artan dayanımla metal kesme işlemi zorlaşır. Bununla birlikte, yüksek ısıl iletkenlik kesme bölgesinden oluşan ısının hızlı olarak uzaklaştırılması demektir. Bu nedenle, yüksek ısıl iletkenlik işlenebilirlik yönünden genelde faydalıdır [7,65].

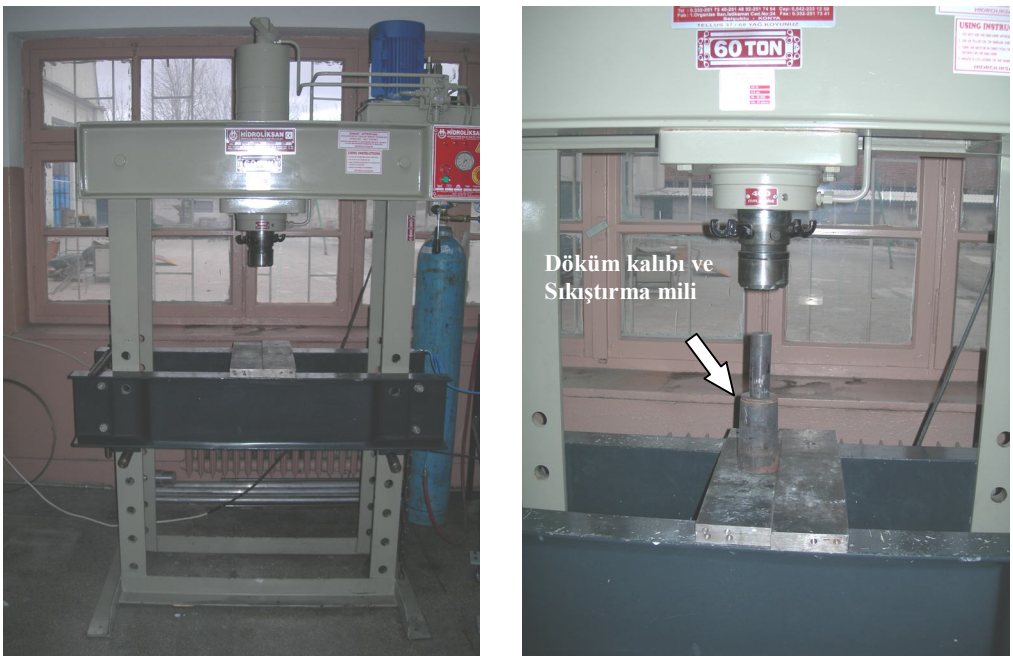
6. MATERYAL ve METOD

6.1. Kompozit Malzemelerin Üretiminde Kullanılan Makina ve Teçhizatlar

Karma takviyeli kompozit malzemelerin üretimi için, G.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi, Makina Eğitimi Bölümü, Talaşlı Üretim Anabilim Dalı, Proje Uygulama Atelyesinde bir "Kompozit Malzeme Geliştirme Laboratuarı" kurulmuş ve malzemelerin üretimi burada gerçekleştirilmiştir. Bu laboratuar, yine aynı anabilim dalı bünyesinde doktora tez çalışmasına paralel olarak yürütülen G.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri 07/2004-10 kodlu proje kapsamında alınan cihazlar ile Talaşlı Üretim Anabilim Dalı'ndan temin edilen cihaz ve ekipmanlar ile oluşturulmuştur. Bu cihazlar ve cihazlara ait teknik detaylar Resim 6.1- 6.5'te sunulmuştur.



Resim 6.1. Kompozit malzeme üretim ünitesi ve yardımcı ekipmanlar



(a) (b)

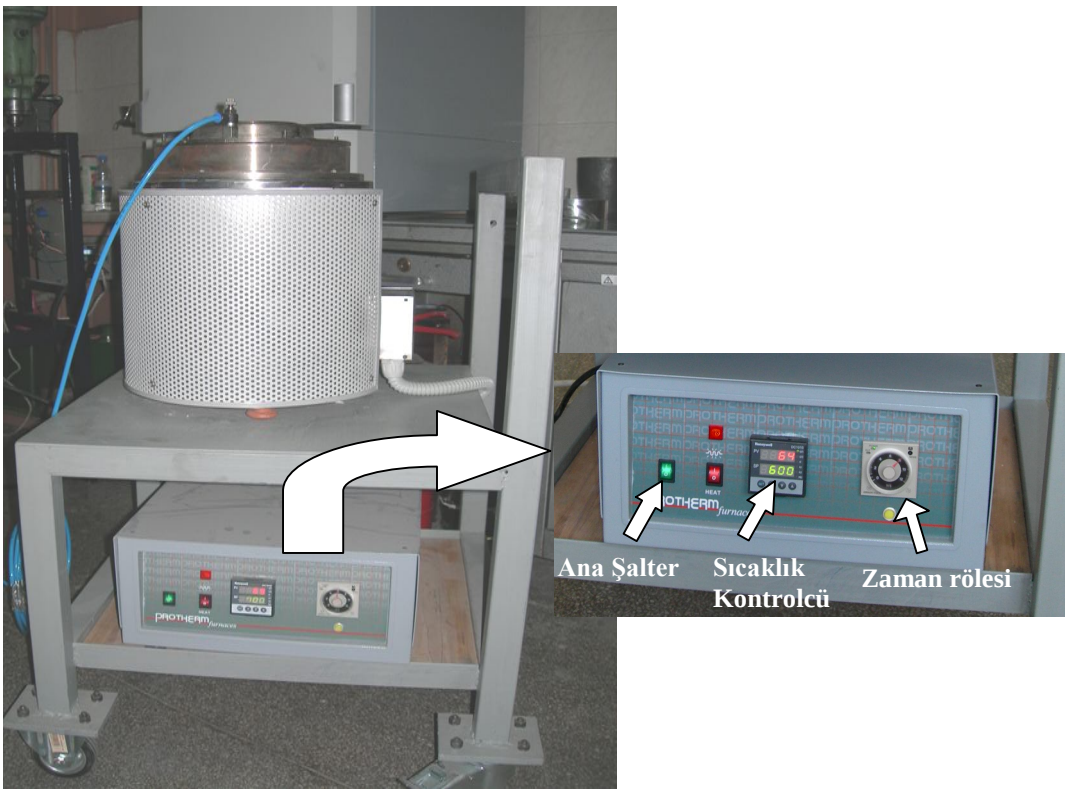
Resim 6.2. Basınçlı döküm işleminde kullanılan makina ve teçhizatlar
a) 60 tonluk hidrolik pres, b) Çelik döküm kalıbı ve sıkıştırma mili



Resim 6.3. Tav fırını

Resim 6.3’ te yer alan tav fırını, döküm kalıbı ile sıkıştırma piminin ve takviye elemanlarının ilave işlemi öncesi ön ısıtma işlemlerinde kullanılmıştır. Tav fırını sıcaklığı 1100 °C’ye kadar çıkarılabilmekte ve kapanma zamanı, kontrol panelinde yer alan zaman saati ile ayarlanabilmektedir.

Resim 6.4’te yer alan ergitme fırınının sıcaklık kontrolü maksimum 1100 °C’ye kadar ayarlanabilmektedir. Panel üzerinde yer alan zaman rölesi ile fırının kapanma zamanı ayarlanabilmektedir.



Resim 6.4. Dikey hafif metal ergitme fırını ve kontrol paneli

Resim 6.4’te üst kapak üzerinde yer alan akış kontrollü bağlantı rekoru ile kapak içerisinde seramik battaniye ile ısı yalıtımı sağlanmış bakır (kapak içerisinde üç tur sarmal olarak sarılmış) boru ile ergitme potası üzerinde koruyucu gaz atmosferi oluşturulmaktadır. Koruyucu atmosfer gazı olarak argon gazı kullanılmıştır. Argon gazının saflık derecesi % 99,99’dur. Resim 6.1’de argon gaz tüpü ve regülatör vanası ile boru bağlantıları görülmektedir.

Resim 6.5'te takviye elemanlarının homojen dağılımının elde edilmesinde kullanılan karıştırma ünitesi görülmektedir.



Resim 6.5. Hız kontrollü karıştırma ünitesi

Resim 6.5'te görülen karıştırma ünitesi, kayış kasnak sistemi ile hız ayarı 2000, 4000 ve 6000 rev/min olarak değiştirilebilen pens başlıklı freze başlığı ve hız kontrol ünitesinden oluşmaktadır. Hız ayarı potansiyometre bağlı hız kontrolcüsü ile dinamik olarak değiştirilebilmektedir. Dönme yönü saat ibresi ve saat ibresi ters yönüne açma kapama şalteri "I" ve "II" seçeneklerine getirilerek değiştirilebilmektedir. Freze başlığı el ile aşağı-yukarı ve sağa-sola hareket ettirilebilmektedir. Karıştırma başlığımım aşağı-yukarı ve sağa-sola hareketi ile parçacık dağılımının homojenleştirilmesi amaçlanmıştır. Oluşturulan bu karıştırma ünitesinin öncesinde, sabit devirli iki milli karıştırıcı, sabit devirli tek milli karıştırıcı ve sabit devirli iki milli ve çevresel dönüşlü karıştırıcı sistemler gibi farklı karıştırma sistemleri geliştirilip denenmiştir. Fakat denenen bu karıştırma ünitelerinden istenilen verim alınamamıştır. Bu karıştırma üniteleri ile deneme kompozit malzeme üretimleri gerçekleştirilmiş, mikroyapı incelemeleri yapılmış ve homojen bir dağılım elde edilemediği görülmüştür.

6.2. Malzeme Üretiminde Kullanılan Matris Malzemesi

Matris malzemesi olarak ACA Metal Ltd. Şti.'den temin edilen AA-6082 alaşımı kullanılmıştır. AA-6082'ye ait KOSGEB analiz laboratuarlarında ölçülen spektral analiz sonuçları ve Vickers sertlik değeri Çizelge 6.1'de sunulmuştur.

Çizelge 6.1. T6 ısıl işlem görmüş AA-6082'ye ait teorik değer aralıkları, spektral analiz sonuçları ve sertlik değeri

Element	**Si**	**Fe**	**Cu**	**Mn**	**Mg**	**Zn**	**Cr**	**Ti**	**Sertlik HV**
Teorik Değer (%)	0,7–1,3	0,5	0,1	0,4–1,0	0,6–1,2	0,25	0,25	0,1	100
Ölçülen Değer (%)	0,90	0,30	0,04	0,48	0,78	0,02	0,008	0,017	104

Ekstrüzyonla üretilmiş 50 mm çapındaki silindirik AA-6082 alaşımı yaklaşık, 380 ~ 400 g arasında kesilerek, kompozit malzemelerin üretiminde kullanılmıştır. Kesilen ana faz malzemelerinin ağırlıkları 0,02 g hassasiyetli elektronik tartıda belirlenmiş ve takviye elemanı hacim oranına bağlı hesaplamalarda referans değer olarak kullanılmıştır.

6.3. Malzeme Üretiminde Kullanılan Takviye Elemanları ve Özellikleri

Karma takviye edilmiş alüminyum ana fazlı kompozitlerin üretilmesi hedeflenen bu çalışmada, iki farklı takviye elemanı kullanılmıştır. Bunlar; α-alüminyum oksit (α-Al_2O_3) ve üzeri nikel kaplanmış grafit [Ni(K)Gr] parçacıklarıdır.

6.3.1. Alüminyum oksit parçacık

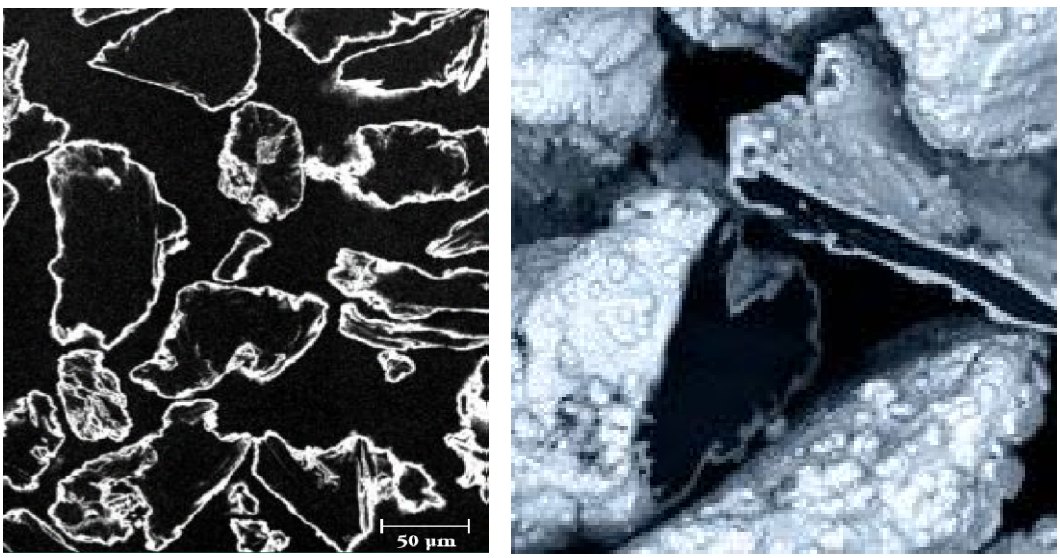
Çalışmada kullanılan alüminyum oksit parçacıkları α-alüminyum oksit olarak genelde zımpara kağıdı imali ve taşlamacılıkta taşlama taşı imalatında aşındırıcı tanecik olarak kullanılan, bileşimi Çizelge 6.2'de sunulan seramik parçacıklarıdır.

Çizelge 6.2. Çalışmada kullanılan α-alüminyum oksidin kimyasal bileşimi

	Bileşim Elementleri		
	Al_2O_3	**Fe_2O_3**	**Na_2O**
%	99,78	0,04	0,16

6.3.2. Nikel kaplı grafit parçacık

Takviye elemanı-ana faz uyum kıstaslarından, ıslanma ve ıslatma özellikleri önem arz etmektedir. Çalışmada karbona nazaran, metal-metal temas bölgelerinde yağlayıcı özelliği ve işlenebilirliğinin daha iyi olması gibi nedenlerle grafitin kullanılmasına karar verilmiştir. Fakat grafitin özellikle ergimiş alüminyum tarafından ıslatılmasının zor olduğu bilinmektedir. Yinede ortalama 110 μm ebatlarında kaplamasız grafit parçacıklar deneme üretimlerinde kullanılmıştır. Fakat kaplamasız grafit parçacıklarının matris tarafından ıslatılamadıkları deneme üretiminde ergiyiğin kalıba alım işlemlerinde yapılan gözlemlerde fark edilmiştir. Grafitin bu kötü özelliğinin giderilmesi amacıyla Alfa-Aeser® firmasının Türkiye temsilcisi Kimeks A.Ş.'den alüminyum tarafından ıslatılması özelliğinin iyi olduğu bilinen, üzeri akımsız kaplama yöntemi ile nikel kaplanmış, grafit parçacıkları temin edilmiştir. Resim 6.6'da nikel kaplı grafit parçacıkların fotoğrafı verilmiştir.



Resim 6.6. Nikel kaplı grafit parçacıklar

6.3.3. Takviye elemanları geometrik inceleme yöntemi

Takviye elemanlarının geometrik şekillerinin belirlenmesi amacıyla tarama elektron mikroskobunda fotoğrafları çekilerek, parçacıkların şekilleri hakkında araştırma yapılmıştır. SEM incelemeleri Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü, Metalürji Anabilim Dalı'nda yer alan INSTRUMENT JSM–6060 marka kodlu tarama elektron mikroskobunda gerçekleştirilmiştir.

6.3.4. Parçacık boyut analiz cihazı

Kompozit malzemelerin imalinde kullanılacak olan takviye elemanlarının parçacık boyutlarının analiz işlemlerinde Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, Zemin Mekaniği Laboratuarında yer alan, Malvern Instrument Ltd. şirketinden alınan MasterSizer X Ver. 1.2b kodlu parçacık boyut analiz cihazı kullanılmıştır. Deneyler ISO–13320–1 kodlu "Particle size analysis-Laser difraction methods" adlı standarda uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

6.4. Yoğunluk Ölçüm Cihazı

Kompozitlerin yüzde hacim oranına göre üretilebilmesi için, üretimde kullanılacak olan alüminyum alaşımının tam olarak yoğunluğunun tespit edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü'nde yer alan 0,0001 g hassasiyetli "Sarterius" marka terazi ve yoğunluk ölçüm kiti kullanılmıştır. Bu terazi aynı zamanda üretim sonrası elde edilen kompozitlerin deneysel yoğunluklarının tespitinde de kullanılmıştır. Elde edilen deneysel yoğunluk ölçüm sonuçları aynı zamanda MMK malzeme içerisinde yer alan gözenek miktarının belirlenmesinde kullanılmıştır.

Yoğunluk (φ) kitiyle yoğunluk ölçme işlemi şu şekilde yapılmaktadır;

Yoğunluk kiti matematiksel ifadesi Eş. 6.1'de sunulan denkliğe bağlı olarak katı malzemelerin yoğunluk değerlerinin elde edilmesini sağlamaktadır. İşlem basamakları maddeler halinde aşağıda sıralanmıştır.

$$\varphi = \frac{W}{G} \times Rho \quad (g/cm^3) \tag{6.1}$$

- Numunenin havadaki ağırlığı ölçülür (W).
- Darası alınır (numune üst kefede iken).
- Numune alt kefedeki su için daldırılarak tartılır (G).
- Havadaki ağırlık sudaki ağırlığına bölünür ve suyun sıcaklığına göre katalogdan alınan katsayı (Rho = 1) ile çarpılarak numunenin yoğunluğu bulunur.

Ölçümler sonucu işlem görmemiş AA-6082 alaşımının yoğunluğu:

$\varphi_1 = \frac{W}{G} \times Rho = 2{,}677\ g/cm^3$ olarak hesaplanmıştır.

Elde edilen bu değer karışım hesabında ana fazın yüzde hacim oranına bağlı takviye elemanı ilave ağırlığının oran ve orantı prensibine bağlı olarak hesaplanmasında kullanılmıştır.

6.5. Malzeme Üretim Parametrelerinin Tespiti

Karma takviyeli kompozitlerin üretim parametrelerinin belirlenmesi amacı ile deneme malzeme üretimleri gerçekleştirilmiştir. Bu üretimlerde etkin parametrelerin, ideal şartlarının tespiti amaçlanmıştır. Bu amaçla;

- Metal ergitme ve döküm sıcaklıkları ve döküm kalıbı ön ısıtma sıcaklığı,
- Koruyucu atmosfer ve oluşturma yöntemi,
- Karıştırma yöntemi, karıştırıcı formu ve karıştırma parametreleri,
- Takviye elemanı ilave şekli ve ilave zamanı ile takviye elemanı ilave ağırlıkları,

- Döküm sonrası kalıba alım işleminde uygulanacak sıkıştırma basıncı,

gibi yöntem ve parametrelerin uygun değerleri tespit edilmiştir.

- Metal ergitme ve döküm sıcaklıkları, döküm kalıbı ön ısıtma sıcaklığı ve koruyucu atmosfer gazı ve oluşturma şekli;

Ana faz alaşımının ergime sıcaklık değeri 680 ºC olarak tespit edilmiştir. Malzeme üretiminde takviye elemanı ilave işlemi esnasında bu sıcaklık değeri, ergiyiğin yüzey enerjisini düşürerek ıslatma özelliğini iyileştirmek için 640 °C' ye düşürülmüştür. Takviye fazı ilave işleminin bitiminde, malzemenin kalıba alımını kolaylaştırmak için sıcaklık 700 °C'ye çıkarılmıştır. Döküm kalıbı ön ısıtma sıcaklığı olarak 500 °C kullanılmıştır. Bu sıcaklıkta delik çaplı 40 mm olan döküm kalıbı ve 39,9 mm çapındaki sıkıştırma pimi döküm işlemine kadar tav fırınında bekletilmiştir.

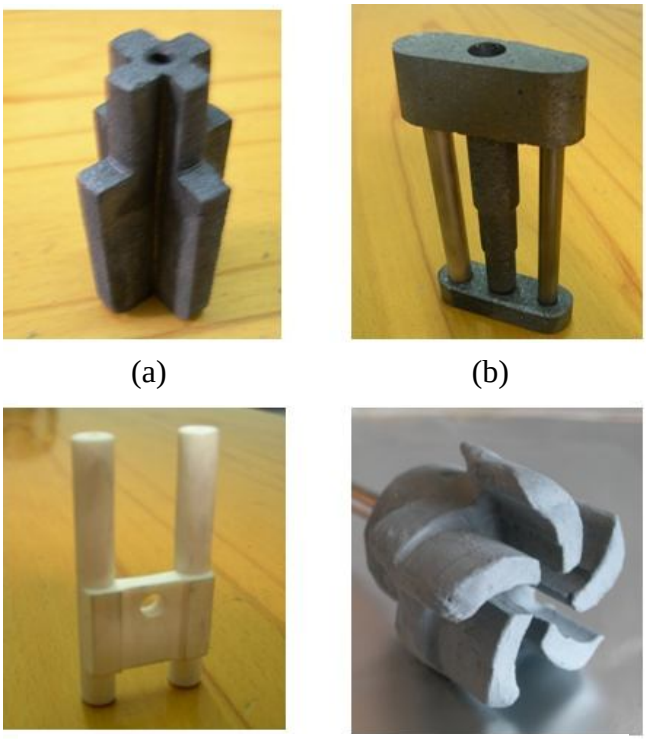
Koruyucu atmosferin oluşturulma gerekliliği alüminyumun hava içerisinde yer alan diğer gazlar ve özellikle oksijene karşı olan ilgisidir. Ergimiş metalin hava ile temasını engellemek amacıyla koruyucu atmosferli ya da vakumlu fırınlar kullanılmaktadır. Koruyucu gaz ortamının sağlanması asal gazlar olarak bilinen argon ve helyum gazları ile gerçekleştirilmektedir. Bu yöntem vakum yöntemine göre daha ucuz ve kolaydır. Koruyucu atmosfer yönteminin çalışma prensibi, metal ergimeden ortama sürekli olarak belirli miktarda gönderilen ağır gazların, pota içerisine çökelerek ortamdaki diğer gazları uzaklaştırmasıdır. Üretim sisteminde koruyucu atmosfer gazı olarak argon gazı kullanılmıştır.

- Karıştırma yöntemi, karıştırıcı formu ve karıştırma parametreleri;

Yapılan deneme üretimleri neticesinde karıştırıcı sistem ve karıştırıcı tipi ile karıştırma devir ve hareket tipleri belirlenmiştir. Bu amaçla farklı karıştırma sistemleri tasarlanarak deneme malzeme üretimleri yapılmış, mikroyapı incelemeleri ile etkinlikleri araştırılmıştır. Deneme üretimleri sonucunda yapılan incelemeler, Resim 6.5'te gösterilen potansiyometre ile hız kontrollü, iki eksenel hareketli

karıştırma ünitesinin, homojen parçacık dağılımı eldesini kolaylaştırdığı tespit edilmiştir. Bu ünitede pensli bağlama başlığı sayesinde karıştırıcı milin sisteme tespiti kolaylıkla yapılabilmektedir.

Karıştırıcı olarak çapı 12 mm olan, bir tarafı M12 vidalı mil ucuna bağlanmış Resim 6.7'de yer alan çeşitli karıştırıcılar kullanılmıştır. Bu karıştırıcıların imal işlemlerinde, grafit ve alümina seramik çubuklar kullanılmıştır. Karıştırıcı imalinde genelde grafit kullanılmıştır. Bunun ana nedenleri, grafitin sergilediği yüksek sıcaklık dayanım özellikleri ve kolay işlenebilirliği ile elde form verme kolaylığıdır. Alümina çubuklar ise elde edilme zorlukları, pahalı oluşları ve şekillendirme özelliklerinin zayıflığı nedeniyle sadece çubuk formlu olarak kullanılmıştır. Çeşitli talaşlı imalat yöntemleri kullanılarak grafit malzemeden imal edilen karıştırıcılar, grafitin oksijene yüksek duyarlılığı nedeniyle, özellikle yüksek sıcaklıklarda (500 °C ve üstü) ısıtılmasından sonra, soğuma esnasında özelliklerini ve formlarını kaybetmeleri söz konusudur. Buda genellikle hava ile temas eden kısımlarının, hava içerisindeki özellikle oksijen ve diğer gazlarla reaksiyona girerek yüzey tabakasında pul pul dökülmeler şeklinde oluşmakta ve kullanılma zamanlarını azaltmaktadır. Bu nedenle grafitten imal edilmiş karıştırıcılar kullanılmadan önce ikincil bir işleme tabi tutulmuşlardır. Bu işlem; talaşlı imalatla son şekli verilmiş karıştırıcının yüzey temizliğinin hava tabancası ve tav fırını ile (400 °C'de 20 dakika) yapılması, 500 elek tane boyutlu silisyum karbür (SiC) ile karıştırılmış silika (cam suyu) sıvısı ile boyama işlemi ve takibinde de tav fırınında (200 °C'de 20 dakika) kurutulmasından oluşmaktadır. Böylelikle karıştırıcının formunu daha uzun süreli koruması ve ergimiş metal tarafından da ıslatılma özelliğinin azaltılması sağlanmıştır.



(a) (b)

(c) (d)

Resim 6.7. MMK malzeme üretiminde kullanılan karıştırıcı formları
a) K1, Düz dört kanatlı, b) K2, alümina seramik çubuklu,
c) K3, alümina karıştırıcı, d) K4, türbin kanatlı

Özel tasarlanmış ve grafitten imal edilmiş karıştırıcılar benzer malzeme üretim parametrelerinde denenmiştir. Denemelerde, bazı modifiye işlemleri yapılmış ve yeni tasarımlar geliştirilerek denenmiştir. Sonuçta Resim 6.7'de gruplanarak sunulan karıştırıcı formlarından K4'ün en iyi karıştırıcı olduğu tespit edilmiş ve diğer üretimlerde kullanılmasına karar verilmiştir.

Etkili karıştırma parametreleri, yapılan deneme üretimleri sonucunda tespit edilmiştir. Karıştırma işleminin, karıştırıcının belirli aralıklarla saat ibresi ve tersi yönünde döndürülmesi ve aynı zamanda aşağı-yukarı hareketi ile daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Karıştırıcının dönme yönü, yön şalteri kullanılarak değiştirilebilmektedir. Aşağı-yukarı hareketi ise karıştırma ünitesi üzerinde yer alan kol vasıtasıyla yapılmıştır. Bu hareket pota tabanından yaklaşık 3 mm yukarıda ve ergimiş metalin üst yüzeyinden de yaklaşık 3 mm aşağıda sınırlandırılmıştır.

Karıştırma işleminde, karıştırıcının sürekli aşağı-yukarı hareket ettirilmesinin, homojen parçacık dağılımına katkıda bulunduğu görülmüştür.

Karıştırıcı devir sayısı, takviye elemanları ilave işlemi süresince, en düşük karıştırma devri olarak seçilen 100 rev/min'ya ayarlanmıştır. Takviye elemanı ilave işleminin bitiminden sonrada yaklaşık 10 dakika daha bu düşük devirde karıştırma işlemi devam ettirilmiştir. Sonrasında da potansiyometre ile devir yavaş yavaş arttırılarak en fazla 1500 rev/min olacak şekilde her iki yönde döndürülerek karıştırma işlemi 20 dakika daha sürdürülmüştür.

- Döküm sonrası kalıba alım işleminde uygulanacak sıkıştırma basıncı;

Grafit pota içerisinde takviye fazının ilave işlemi tamamlanmış ergimiş haldeki MMK'ler, ön ısıtma işlemine tabi tutulmuş kalıp içerisine alınarak, gözenek miktarının azaltılması amacıyla, üzerlerine sıkıştırma pimi vasıtası ile motorlu hidrolik pres altında 12 ton (93,59 MPa) yük uygulanmıştır.

- Takviye elemanı ilave şekli ve ilave aralığı zamanı ile takviye elemanı ilave ağırlıkları;

Tek takviye elemanlı kompozitlerde ve karma takviye elemanlı kompozitlerde parçacıkların ıslanma özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla toz halde hacimce % 1 oranında magnezyum ilavesi yapılmıştır. İlave magnezyum tozunun parçacıklar arasında homojen dağılımının ve özellikle de karma takviye elemanlarının birbiri içerisinde karışımlarının homojenleştirilmesi amacıyla öncelikle elle ve sonrasında da, Turbula-Model T2 F marka karıştırıcı cihaz ile plastik kap içerisinde karıştırılmıştır. Bu karıştırıcı cihaz, Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü laboratuarlarında yer almaktadır. Karıştırıcı; 2 litre hacimde karıştırma tankı ile birlikte, her türlü dönme, öteleme ve ters dönme hareketlerini aynı anda yapabilme özelliğine sahiptir. Bu özelliğiyle parçacıkların homojen bir şekilde kendi aralarında karışmasını sağlamaktadır. Takviye elemanlarının homojen

karışımını sağlamak amacıyla Turbula'da karıştırma işlemi iki saat süreyle devam ettirilmiştir.

Takviye elemanları ilave yönteminin belirlenmesi amacıyla dört farklı ilave yöntemi kullanılmış ve her ilave yöntemi ile kompozit malzemelerin deneme üretimleri gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemler;

i. Takviye elemanları bakır boru içerisinden argon gazı ile ergimiş metal üzerine gönderilmiştir.

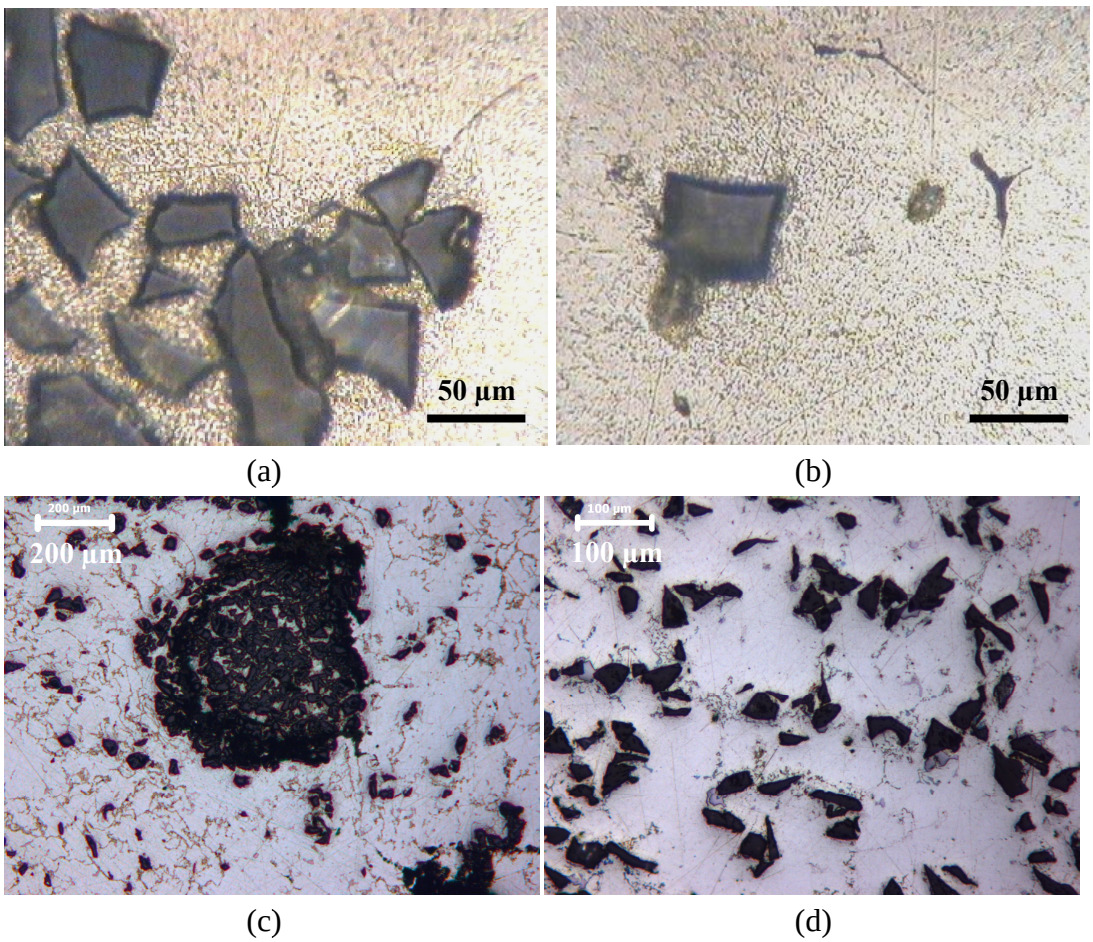
ii. Parçacıklar, karıştırıcı milin ortasına delinmiş 3 mm çapındaki delik içerisine, ilave haznesi ve argon gazı yardımıyla karıştırıcı altındaki deliklerden ergimiş metale ilave edilmiştir.

iii. Takviye elemanları çok eksenli karıştırıcı içerisinde, ilave hacim oranına bağlı olarak, ıslanmalarına yardımcı olması amacı ile hacimce % 1 oranında ortalama 100 mikron boyutlu magnezyum tozları ile birlikte 120 dakika karıştırılmıştır. Sonrasında toz metal prensibine benzer olarak alüminyum folyoya sarılarak 10 mm çapındaki silindirik kalıp içerisinde 124,75 MPa basınçta sıkıştırılarak, alt ve üst kısımları yarım küre formunda yaklaşık 4 ~ 6 g'lık elle tutulabilir numuneler haline getirilmiştir. Metalin ergimesinden sonra karıştırma işlemi devam ederken yaklaşık olarak 4 dakikada bir paket olacak şekilde elle ilave edilmiştir.

iv. Yine takviye elemanları toz malzeme karıştırıcı içerisinde, ilave hacim oranına bağlı olarak, ıslanmalarına yardımcı olması amacı ile hacimce % 1 oranında ortalama 100 mikron boyutlu Magnezyum tozları ile birlikte 120 dakika karıştırılmıştır. Sonrasında 4 ~ 6 g'lık paketler halinde alüminyum folyo içerisine sarılmıştır. Metalin ergimesinden sonrada karıştırma işlemi devam ederken yaklaşık olarak 4 dakika sürede bir paket olacak şekilde elle ilave edilmiştir.

Takviye elemanlarının yukarıdaki ilave yöntemlerinde en iyi sonucu son maddedeki ilave yönteminde elde edilmiştir. "i." yöntemde parçacıklar ergimiş metalin

yüzeyinden iç kısmına nüfuz edememiş ve ergiyiğin altında topaklanmışlardır. Böyle olduğu kalıba alım işlemi esnasında gözle tespit edilmiştir. Yine "ii." yöntemdeki parçacıkların mil içerisindeki delikten dışarıya atılamadıkları üretim sonrası yapılan incelemelerde anlaşılmıştır. "iii." yöntemde ise parçacıkların ergimiş metalle ıslanma problemlerinin olmadığı, fakat mikroyapı incelemelerinde parçacıkların topaklandıkları ve homojen dağılmadıkları görülmüştür. "iv." yöntemle üretilen malzemelerin mikroyapı incelemeleri, tüm ilave yöntemlerine nazaran daha iyi parçacık dağılımının elde edildiğini göstermiştir. Resim 6.8'de bu yöntemlerle elde edilen kompozitlerin mikroyapı fotoğrafları sunulmuştur.



(a) (b)

(c) (d)

Resim 6.8. Takviye elemanı ilave yöntemlerine bağlı mikroyapılar
a) i. yöntem, b) ii. yöntem, c) iii. yöntem, d) iv. yöntem

Resim 6.8. a'da görüldüğü gibi "i." yöntemde açıklanan ilave yönteminde parçacıkların matris içerisinde homojen bir dağılım sergilemediği ve gözenek

oluştuğu görülmektedir. Resim 6.8. b'de ise parçacıkların nerdeyse hiç ana faz içerisine nüfus edemedikleri tespit edilmiştir. Resim 6.8. c'de yer alan mikroyapı fotoğrafı incelendiğinde parçacıkların büyük bir olasılıkla ön folyolu preslemeden dolayı, ergimiş metal içerisinde karıştırılmasına rağmen dağılmadıkları ve topaklanarak etraflarında gözenek oluşumunu arttırdıkları gözlenmektedir. Resim 6.8. d homojen dağılımın sağlandığını ve "iv." yöntemin uygun parçacık ilave yöntemi olduğunu göstermiştir. Bu nedenle ana üretimlerde "iv." parçacık ilave yöntemi kullanılmıştır.

6.6. Kompozit Malzeme Üretimleri

Deneme üretimleri sonrası, tespit edilen malzeme üretim yöntemi ve parametreleri kullanılarak, tek ve karma takviye elemanları ile takviyeli kompozit malzemeler üretilmiştir. Takviye elemanları, yüzde hacim oranı olarak toplamda en fazla %8 oranında matrise ilave edilmişlerdir. Böylelikle, tek Al_2O_3, tek Ni(K)Gr ve karma Al_2O_3 + Ni(K)Gr takviyeli en fazla hacimce % 8 oranında takviyeli kompozitler üretilmiştir. Takviye elemanlarının özgül ağırlıklarının farklı olması nedeniyle ilave oranları yüzde hacim oranına göre tespit edilmiştir. Kompozit malzemelerin ana faz alaşımı ile kıyaslanabilmesi amacıyla benzer üretim şartlarında AA-6082 alaşımı da ergitilerek aynı kalıp içerisinde ve aynı basınç değerinde sıkıştırılarak üretilmiştir. Üretimi gerçekleştirilen malzemeler Çizelge 6.3'te listelenmiştir.

Çizelge 6.3. Üretimi gerçekleştirilen malzemeler

Malzeme Kodu	Ana Faz Alaşımı	Takviye Elemanı	Yüzde Hacim Oranları
1	AA-6082	-	% 100 AA
2	AA-6082	Al_2O_3	% 91 AA + % 8 Al_2O_3 +% 1 Mg
3	AA-6082	Ni(K)Gr	% 91 AA + % 8 Ni(K)Gr + % 1 Mg
4	AA-6082	Al_2O_3 + Ni(K)Gr	% 91 AA + % 4 Al_2O_3 + % 4 Ni(K)Gr + % 1 Mg

Malzeme üretimlerinin gerçekleştirilmesinden sonra metalografik, mekanik özellikler ve işlenebilirlik özelliklerinin araştırılmasına devam edilmiştir.

6.7. Metalografik İnceleme Yöntem ve Cihazları

Üretilen silindirik çubuk halindeki bütün malzemelerin alt taban ve üst kısımlarından küçük örnekler kesilerek, sıcak presleme metoduyla bakalit içerisine gömülmüştür. Bu sayede metalografik incelemeler için gerekli ön hazırlık işlemlerinin rahatlıkla yapılabileceği elle tutulabilir numuneler elde edilmiştir. Bu numuneler sırasıyla 240, 400, 600, 800 ve 1200 elek numaralı SiC zımpara kağıtlarıyla zımparalanıp daha sonra yüzey çizikleri yeterli seviyede yok edilinceye kadar 1 μm'lik elmas pasta içeren keçede, düşük hızda parlatılmıştır. Mikroyapı incelemelerinin daha iyi anlaşılması amacıyla % 2'lik Nital çözeltisi ile numune yüzeyleri dağlanmıştır. İşlemlerin bitiminden sonra Lecia DFC 320 dijital kamera bağlantılı, Leica DM 4000 M model optik metal mikroskobunda çeşitli büyütmelerde mikroyapı fotoğrafları çekilmiştir.

6.8. Sertlik Ölçüm Yöntemi ve Cihazı

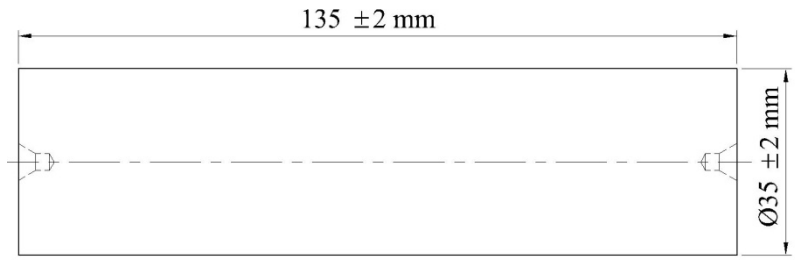
Matris malzemesinin ve üretilen MMK malzemelerin sertlikleri, Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü, Malzeme Laboratuarında bulunan INSTRON WOLPERT GmbH DIATESTOR 7551 tipi sertlik ölçüm cihazı kullanılarak Brinell sertlik ölçüm yöntemi ile ölçülmüştür. Ölçümler 2,5 mm çapında bilye kullanılarak 187,5 kg yük altında gerçekleştirilmiştir. Her bir numune için en az 5 ölçüm yapılmış ve sonuçların ortalama değeri, sertlik değeri olarak alınmıştır.

6.9. İşlenebilirlik Deneyleri

Yapılan çalışmada üretilen kompozitlerin, talaşlı imalatla şekillendirme özelliklerinin incelenerek, ekonomik kullanımlarının belirlenmesi amacıyla işlenebilirlik deneyleri gerçekleştirilmiştir. İşlenebilirlik özelliklerinin belirlenmesinde; yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri, takım aşınması, talaş ve talaş kökü morfolojileri incelenmiştir. Bu kıstaslar, kompozit malzeme takviye elemanı tipi, seçilen kesici takım özellikleri ile kesme parametrelerinden kesme hızının değişimine bağlı olarak değerlendirilmiştir.

6.9.1. Deney numuneleri

Deneylerde kullanılacak kompozitler ISO 3685 standardına önerilen iş parçası kıstaslarına uygun olarak, çap/boy oranı 1/10'u geçmeyecek şekilde hazırlanmıştır. Malzemeler işlenebilirlik deneylerinde kullanılmak üzere üniversal torna tezgahında, alın yüzeyleri temizlenerek her iki tarafına da punta deliği delinmiş ve silindirik yüzey tornalama işlemi ile Şekil 6.1'de yer alan geometri ve ölçülerde hazırlanmıştır.



Şekil 6.1. İşlenebilirlik deney numuneleri geometri ve ölçüleri

6.9.2. Takım tezgahı, takım tutucular, kesici takımlar ve kesme parametreleri

Takım tezgahı

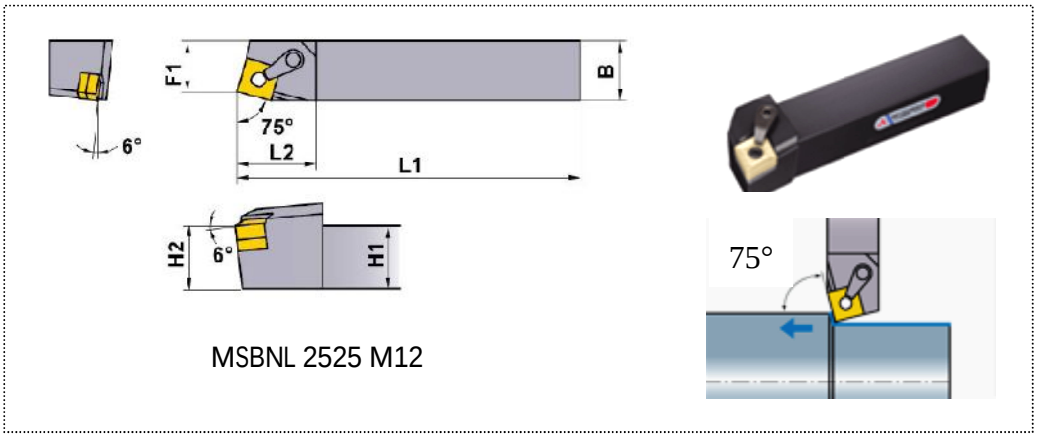
İşlenebilirlik testleri Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makina Eğitimi Bölümü, Talaşlı Üretim Anabilim Dalı'nda yer alan Johnford TC35 marka, sanayi tipi, bilgisayar sayısal denetimli (BSD) torna tezgahında yapılmıştır. Tezgahın teknik özellikleri Çizelge 6.4'te sunulmuştur.

Çizelge 6.4. BSD torna tezgahı özellikleri

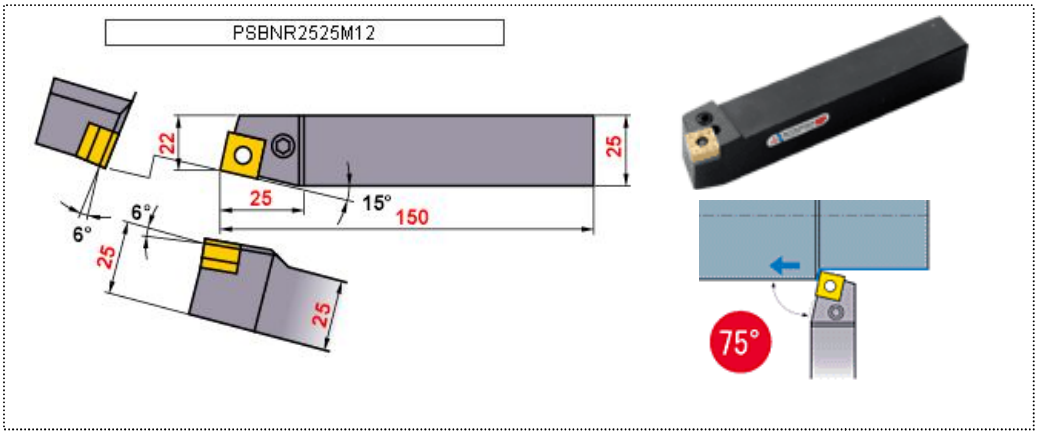
Markası	Johnford TC35
İş mili en fazla döndürme çapı	450 mm
En fazla parça bağlama boyu	1200 mm
Sürekli dönme devir sayıları	10-3500 rev/min
Kesici bağlama hane sayısı	12 Adet
İş mili gücü	12 kW
İşletim sistemi	Fanuc OT

Takım tutucular

İşlenebilirlik deneylerinde, talaş kökü alma deneyleri ve diğer işlenebilirlik kıstaslarının tespiti amacıyla iki farklı takım tutucu kullanılmıştır. Takım tutucular ISO 3685'te belirtilen özelliklere ve deneylerin yapılacağı BSD tezgahının takım bağlama başlığı dış çap takım tutucu bağlama yuvasına, dinamometre takım bağlama başlığı ile talaş kökü alma cihazı takım bağlama adaptörüne uygun olarak seçilmiştir. Bu kapsamda talaş kökü alma işlemlerinde kullanılmak üzere Takımsaş firmasına ait "MPSBNL 2525 M12" takım tutucu ve diğer işleme deneylerinde kullanılmak üzere de "PSBNR 2525 M12" kodlu Mitsubishi Carbide firmasına ait kesici takım tutucu alınmıştır. Kesici takımların özellikleri Şekil 6.2 ve Şekil 6.3'te sunulmuştur.



Şekil 6.2. Talaş kökü almada kullanılan takım tutucu özellikleri

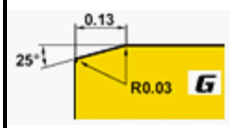
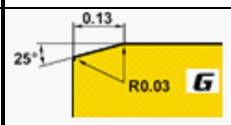
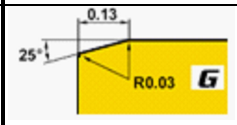
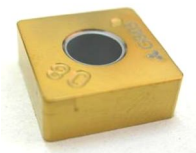


Şekil 6.3. Diğer işlenebilirlik deneylerinde kullanılan takım tutucu özellikleri

Kesici uçlar

İşlenebilirlik deneylerinde, beş ayrı özelliğe sahip kesici uçlar kullanılmıştır. Bu kesici uçlar Mitsubishi Carbide firmasının ürettiği sementit karbür (SK) ve kübik bor nitrür (KBN) kesicilerdir. Takımların ISO standart kodları, yapı, geometri ve kaplama özellikleri ile ilgili teknik bilgiler Çizelge 6.5 ve Çizelge 6.6'da sunulmuştur.

Çizelge 6.5. Kesici uç yapı ve geometri özellikleri

Kesici Uç No	Üretici Kodu	Kaplama Yöntemi	Ana Karbür Yapısı	Kesici Uç Geometrisi	Kesici Uç Fotoğrafı
SK1	UTi20T	Kaplamasız	WC-TiC-TaC-Co	0° 	
SK2	UE6005	CVD	Özel karbür yapısı	0° 	
KBN1	MB8025	Kaplamasız	KBN (Mikro taneli) Bağlayıcılar: TiN, Al_2O_3	 Honlanmış	
KBN2	GBi03	Firma Özel bilgisi	KBN (Mikro taneli) Bağlayıcılar: TiN, Al_2O_3	 Honlanmış ve kaplanmış	
KBN3	MBC010	Firma Özel bilgisi	KBN (Mikro taneli) Bağlayıcılar: Özel seramikler	 Honlanmış ve kaplanmış	

Çizelge 6.5'te MB8025 kodlu kaplamasız ve MBC010 kodlu kaplamalı çift kesici uçlu KBN'lü kesiciler, Mitsubishi Carbide firmasının ürettiği ticari kesicilerdir. Bu kesiciler KBN yapı itibarı ile birbirinden farklı özelliktedirler. Fakat bu iki kesicinin,

yapı özelliği ile kaplama özelliğinin kompozitlerin işlenebilirliğine etkilerinin incelenmesi amaçlandığında MBC010'un kaplanmış olması, iki kesicinin yapı ve kaplama özelliklerinin karşılaştırılmasına olanak tanımamaktadır. Bu kapsamda, Mitsubishi Carbide firmasının İç Anadolu bölge ana bayisi, Evrim Makina ve Kesici Takım Ltd. Şti. ile görüşülmüş ve Japonya'da yer alan fabrikada MBC010'daki kaplama özelliğinin aynen, MB8025 kodlu kaplamasız KBN'lü kesicinin üzerine de kaplatılması sağlanmıştır. Bu yeni kesicinin kodu da GBi03 olarak üretici firma tarafından kodlanmıştır. Böylece aynı ana yapıdaki MB8025 ve GBi03 kesicilerde, kaplamanın işlenebilirliğe etkisinin araştırılmasına olanak sağlanmıştır. Yine aynı kaplama özelliğinde ve farklı ana yapıdaki MBC010 ve GBi03 kodlu kesicilerinde ana yapı özelliklerinin, kompozitlerin işlenebilirlik özelliklerine etkisinin incelenmesi mümkün hale gelmiştir.

Çizelge 6.6. Kesici uç standart ISO kodları, yapı ve kaplama özellikleri

Kesici Uç No	**Kesici Uç Malzemesi**	**ISO kodu**	**Üretici Kodu**	**Kaplama**	**Üretici Firma**
SK1	Sementit karbür	SNMA120408-K20	UTi20T	Kaplamasız	Mitsubishi
SK2	Sementit karbür	SNMA120408-K20	UE 6005	TiCN ve Al_2O_3 TiN	Mitsubishi
KBN1	Kübik bor nitrür	SNGA120408-G2	MB8025	Kaplamasız	Mitsubishi
KBN2	Kübik bor nitrür	SNGA120408-G2	GBi03	TiN	Mitsubishi
KBN3	Kübik bor nitrür	SNGA120408-G2	MBC010	TiN	Mitsubishi

Çizelge 6.6'da yer alan UTi20T ve UE6005 imalatçı koduna sahip sementit karbür uçlar yapı özellikleri bakımından ISO K20 sınıfı kesici uç kalitesine sahiptirler. Bu nedenle kaplama özelliğinin etkisi işlenebilirlik açısından değerlendirilmiştir.

Kesme parametreleri

Tüm işlenebilirlik deneyleri, kuru işleme şartlarında, sabit kesme derinliği ve sabit ilerleme hızında gerçekleştirilmiştir. Kesme derinliği ve ilerleme hızları ISO 3685'te takım uç yarıçapına bağlı olarak, verilmesi gereken değer aralığında seçilmiştir.

Kesme hızları ise üretici firma önerileri ve örnek literatür çalışmalarına bağlı olarak tespit edilmiştir. Kesme hızları olarak toplamda, sementit karbür kesici uçlarda dört, kübik bor nitrür uçlarda ise beş farklı kesme hızı seçilmiştir. Seçilen kesme değerleri Çizelge 6.7'de belirtilmiştir.

Çizelge 6.7. Deneylerde kullanılan işleme değerleri

Kesici uç	**Kesme derinliği (a), mm**	**İlerleme hızı (f), mm/rev**	**Kesme hızları (V), m/min**
Sementit karbür	1	0,15	100-130-160-190
Kübik bor nitrür	1	0,15	100-130-160-190-220

6.9.3. Kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü, talaş kökü alma ve takım aşınması ölçüm cihazları

Kesme kuvveti ölçüm cihazı

Kesme kuvvetlerinin ölçümünde Johnford TC35 tipi BSD torna tezgahına adaptörle bağlanmış Kistler 9257 B model, kesme kuvvetlerinin üç bileşenini aynı anda ölçebilen bir dinamometre kullanılmıştır. Kesme kuvvetleri, her bir deneyde talaş kaldırma süresince ölçülmüştür. Sonuçların grafik olarak elde edilmesi için "DynoWare" programı kullanılmıştır. Bu program yardımıyla kesme kuvvetlerinin üç bileşeni içinde kesme süresince elde edilen kuvvet değerlerinin ortalamaları alınmıştır.

Takım aşınması ölçüm ve inceleme cihazları

Kesici takım aşınmalarının değerlendirilmesinde kesici takımlarla kaldırılan toplam talaş hacmi sabitlenmiştir. Bu değer SK kesici takımlar için 2000 mm^3, KBN kesici takımlar içinde 3000 mm^3'tür. Toplamda MMK malzemelerden aynı tipteki kesicilerle aynı talaş hacminde talaş kaldırma işlemi gerçekleştirilmiş ve kesici takımlarda meydana gelen aşınma izlerinin genişlik değerlerinin ISO 3685'te

önerdiği takım ömrü bitimi 0,3 mm yanak yüzeyi aşınma kıstasına yaklaşma ya da geçme ölçütleri değerlendirilmiştir.

Kesici takım yan yüzey aşınma ölçümlerinde, "Mitutoyo TM 510" marka, 0,005 mm tambur hareketi hassasiyetli, takım mikroskobu kullanılmıştır. Takım aşınma fotoğrafları, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü, Metalürji Anabilim Dalı'nda yer alan, "INSTRUMENT JSM–6060" marka kodlu tarama elektron mikroskobunda (SEM) çekilmiştir.

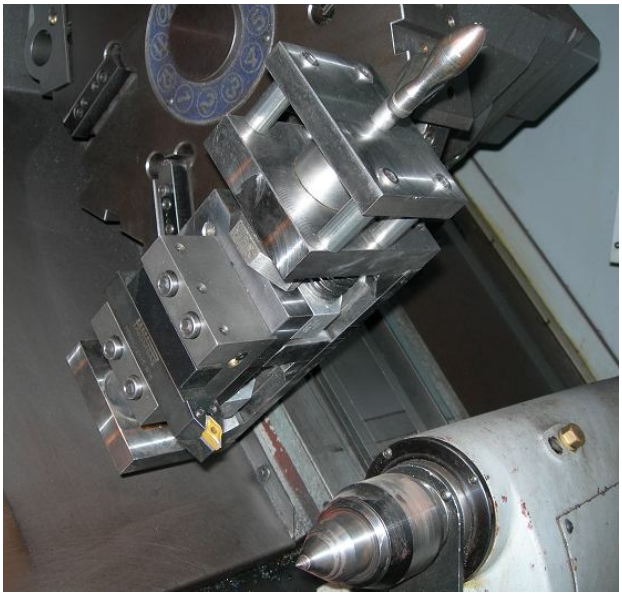
Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı

İşlenmiş yüzeyler üzerindeki yüzey pürüzlülüğü ölçümleri için "Mahr M1" marka profilometre cihazı kullanılmıştır. Kesici uçla işlenen yüzeylerin pürüzlülüğü, kesici uç ilerleme yönünde ölçülmüştür. Profilometre iğnesinin uç yarıçapı 2 μm ve ölçme kuvveti 0,75 mN, tarama hızı 0,5 mm/s, örnekleme uzunluğu ise 0,8 mm'dir. Cihaz ölçüm sonuçlarını, 5 defa örnekleme uzunluğunda elde ettiği ölçümlerin ortalama değerini, μm cinsinden "Ra" ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri olarak vermektedir.

Talaş kökü alma cihazı (quick-stop) ve çalışmalar

Talaş kökü morfolojinin incelenmesi amacıyla Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenen, yürütücülüğünü Yrd. Doç. Dr. Hakan DİLİPAK'ın yaptığı 07/2004-35 kodlu proje kapsamında, BSD torna tezgahında kullanılmak üzere, tasarlanarak imalatı gerçekleştirilen bir ani durdurma (quick-stop) cihazı kullanılmıştır. Cihazın fotoğrafı Resim 6.9'da sunulmuştur.

Resim 6.9'da fotoğrafı sunulan talaş kökü alma işlemlerinde kullanılan cihaz, kare vidalı mekanizma ile elle mekanik sıkıştırılmış yaylarının depoladığı enerjiyi, üzerinde yer alan kumanda mekanizması ile yer çekimi yönünde serbest bırakarak, kesici takımın belirli bir kesme hızına kadar, iş parçasının çevresel hızından daha fazla bir hızda uzaklaştırılmasını sağlamaktadır.



Resim 6.9. Talaş kökü alma işleminde kullanılan ani durdurma cihazı

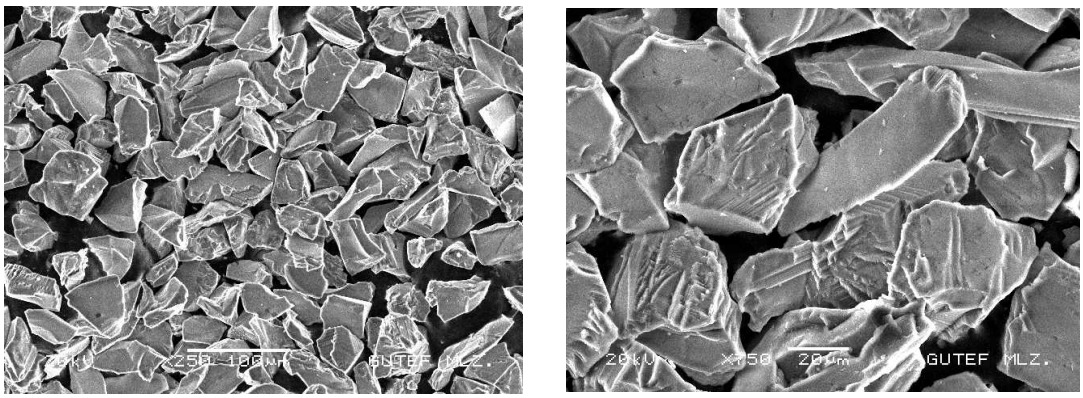
Resim 6.9'daki ani durdurma cihazı ile malzeme özelliklerine bağlı olarak, kesici takım talaş yüzeyinde talaş yapışmasının olmadığı ve sünek talaş çıkartarak işlenen malzemelerde, en fazla 130 m/min kesme hızında talaş kökü alınabilmektedir. Kompozitler için talaş kökü almak amacıyla 130 m/min kesme hızından başlayarak, kesme hızı 30 m/min azaltılarak talaş kökleri alınmaya çalışılmış ve sadece 70 m/min kesme hızında başarı sağlanmıştır. İlerleme hızı 0,15 mm/rev ve kesme derinliği de 1 mm olarak tüm deneylerde olduğu gibi sabit tutulmuştur. Talaş kökleri sadece, kaplamasız UTi20T kodlu SK ve kaplamasız MB8025 kodlu KBN kesici takımlarla MMK malzemelerden alınmıştır.

Talaş kökleri parça üzerinden el testeresi yardımıyla, zarar verilmeden kesilerek alınmış ve soğuk reçine içerisine gömülmüştür. Reçinenin katılaşmasından sonra kompozitlerin mikroyapı fotoğrafları için gerçekleştirilen metalografik parlatma işlemleri bu numuneler içinde tekrarlanmıştır. Sonrasında optik mikroskopta talaş kökü fotoğrafları çekilmiştir.

7. DENEYSEL SONUÇLAR ve TARTIŞMA

7.1. Takviye Elemanları Boyut Analizleri

Kompozit malzemelerin dayanım özelliklerini belirleyen önemli etkenlerden biride takviye fazının formudur. Bu nedenle takviye elemanlarının şekil yapılarının anlaşılabilmesi amacı ile tarama elektron mikroskobunda fotoğrafları çekilerek, parçacıkların şekilleri hakkında araştırma yapılmıştır. SEM incelemelerinden takviye elemanlarının ağırlıklı olarak en-boy oranlarının benzer ve keskin köşeli, ince yassı plaka ve ince uzun çubuklar şeklinde olduğu görülmektedir. Resim 7.1'de α-Al_2O_3 seramik takviye elemanlarına ait SEM fotoğrafları sunulmuştur.



(a) (b)

Resim 7.1. 280 elek tane boyutlu α-Al_2O_3 parçacıkların SEM görüntüleri
a) x250 büyütme, b) x750 büyütme

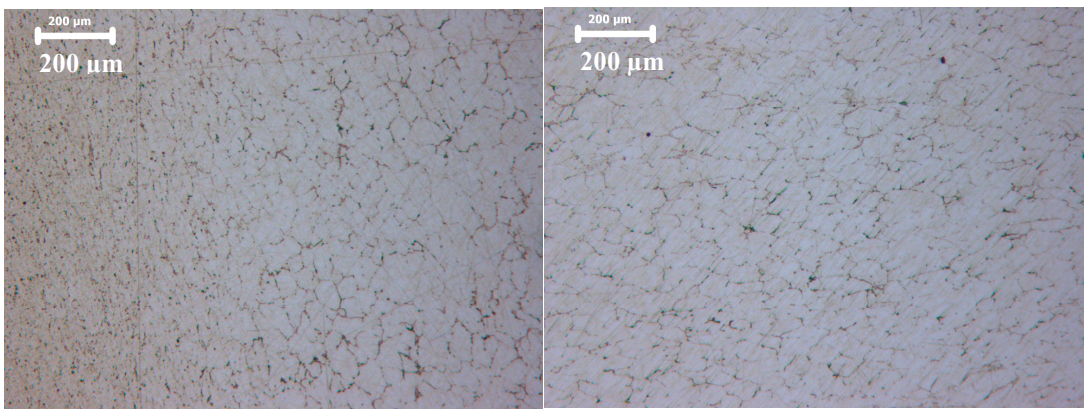
Tarama elektron mikroskobu ile parçacıkların farklı şekillerde olduğunun görülmesi üzerine, örnek numunelerde parçacık boyutlarının yüzde oranları ve ortalama tane büyüklük değerinin tespiti amacıyla boyut analizleri gerçekleştirilmiştir. Parçacık elek boyutlarına bağlı elde edilen analiz sonuçları Ek-1 ve Ek-2'de sunulmuştur. Çizelge 7.1'de elek boyutlarına bağlı parçacıkların ortalama tane boyutları verilmiştir.

Çizelge 7.1. Al_2O_3 ve nikel kaplı grafit parçacıkların elek boyutlarına bağlı ortalama tane boyutları

Parçacık Elek Boyutu	Ortalama Tane Boyutu (μm)
280 Elek Al_2O_3	41,77 ≅ 42 μm
100 Elek Ni(K)Gr	122,74 ≅ 123 μm

7.2. Metalografik İncelemeler

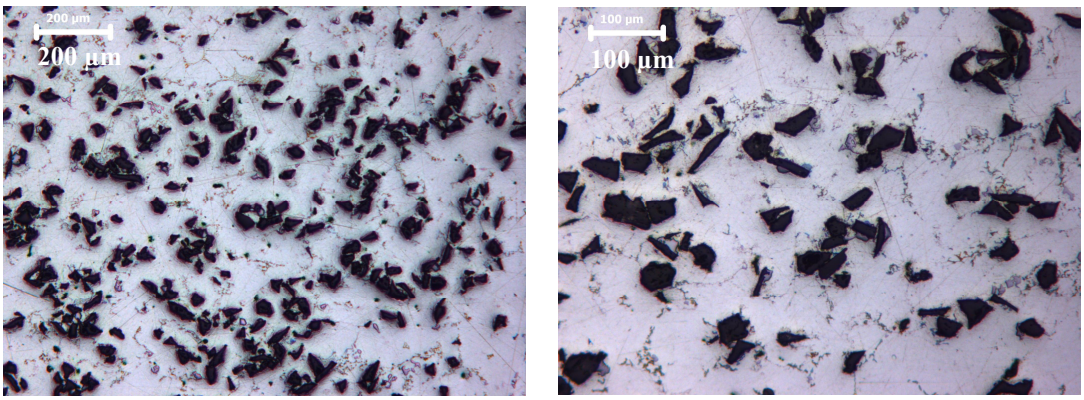
Üretimi gerçekleştirilen işlem görmüş AA-6082 alaşımı, iki adet tekli ve bir adet karma takviyeli kompozitler olmak üzere toplam dört adet malzeme üretilmiştir. Üretilen bu malzemeler parçacık homojen dağılım özellikleri, gözeneklilik ve ana faz-takviye elemanı ara yüzey bağının kontrol edilmesi amacıyla mikroyapı incelemelerine tabi tutulmuştur. Üretimi gerçekleştirilen ana faz malzemesi AA-6082'ye ve kompozit malzemelere ait mikroyapı fotoğrafları Resim 7.2 ve Resim 7.6 arasında sunulmuştur.



(a) (b)

Resim 7.2. AA-6082 alaşımının kenar ve merkez kısımdaki mikroyapı fotoğrafları a) Kenar bölgesi (x50 büyütme), b) Merkez kısmı (x50 büyütme)

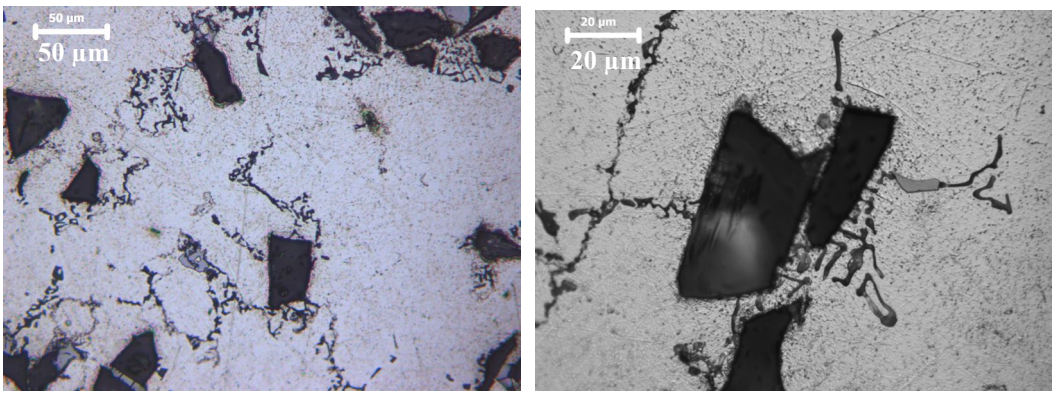
Optik mikroskopta 50 kat büyütme merceği ile çekilmiş olan Resim 7.2. a'daki mikroyapı fotoğrafı incelendiğinde, malzemenin tane yapısının Resim 7.2. b'deki tane yapısına nazaran özellikle parça dış çap kısmına yakın bölgelerde soğumanın etkisi ile tane boyutlarının küçüldüğü görülmektedir. Yine döküm sonrası kalıp içerisinde presleme işleminin etkisiyle mikroyapıdaki tane sınırlarının çokgen formunda şekillendiği görülmektedir.



(a) (b)

Resim 7.3. Hacimce % 8 Al_2O_3 parçacıklarla takviyeli AA-6082 matrisli kompozitin mikroyapı görüntüleri
a) x50 büyütme, b) x100 büyütme

Resim 7.3'te yer alan görüntüler incelendiğinde x50 büyütmede karışımın nispeten homojen dağılım sergilediği, x100 büyütmede çekilmiş görüntüde parçacık yakınlaşmalarının var olduğu görülmektedir. Pratikte sıvı metal karıştırma yöntemi ile MMK malzeme üretiminde homojen parçacık dağılımı elde etmenin güç olduğu ve özellikle de parçacık boyutunun küçük olduğu durumlarda parçacıkların topaklanma eğiliminin daha da arttığı belirtilmiştir [7,8,66]. MMK malzemenin döküm sonrası katılaşması esnasında, katı takviye parçacıklarının matrisin katı-sıvı ara yüzeyine doğru itilmesi topaklanmanın nedeni olarak açıklanmıştır [62-64]. Daha detaylı inceleme yapmak amacıyla x200 ve x500 büyütmede optik mikroskop görüntüleri Resim 7.4'te sunulmuştur.

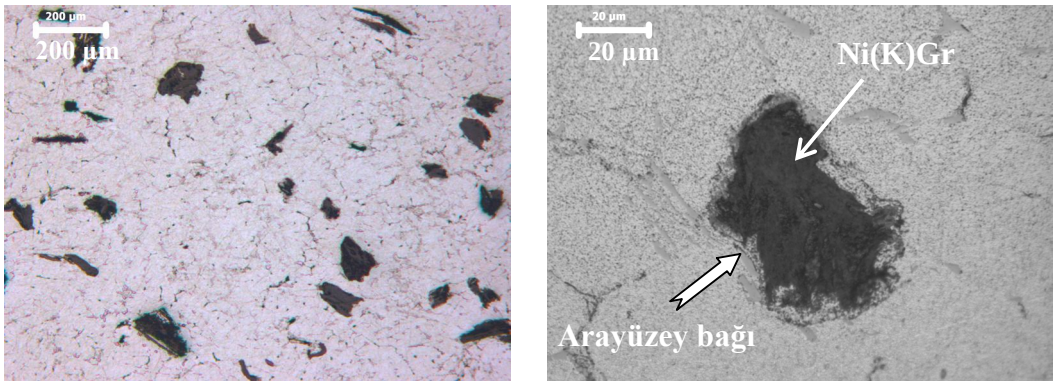


(a) (b)

Resim 7.4. Hacimce % 8 Al_2O_3 parçacıklarla takviyeli AA-6082 matrisli kompozitin mikroyapı görüntüleri
a) x200 büyütme, b) x500 büyütme

Resim 7.4'te yapılan incelemede parçacıkların matris alaşımı tarafından iyi bir şekilde ıslatıldıkları görülmektedir. Ayrıca yapılan optik mikroskop incelemelerinde az da olsa gözeneğe rastlanmıştır.

Üzeri nikel kaplanmış grafit takviye elemanının, seçilen üretim yöntemi ile başarılı bir şekilde ana faz alaşımı ile ıslandığı ve karıştırma işleminin etkisiyle de homojen dağılım sergilediği Resim 7.5. a'da görülmektedir. Resim 7.5. b'de de ana faz-takviye elemanı temas bölgesinde yer alan arayüzey bağının, ana faz alaşımının takviye üzerinde yer alan nikel ile reaksiyona girmesi sonucu oluştuğu görülmektedir.

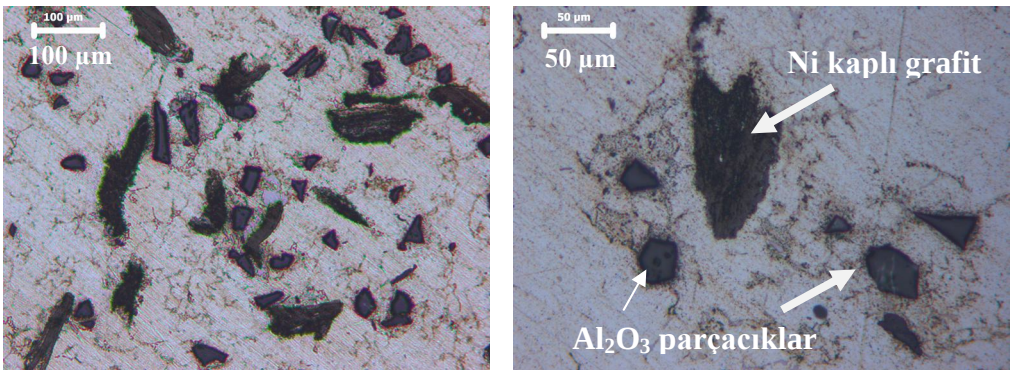


(a) (b)

Resim 7.5. Hacimce % 8 Ni(K)Gr parçacık takviyeli AA-6082 matrisli kompozitin mikroyapı görüntüleri
a) x50 büyütme, b) x500 büyütme

Araştırmacılar nikel kaplanmış takviye elemanlarının özellikle metal esaslı matris malzemeler tarafından ıslatılma kabiliyetinin iyi olduğunu belirtmişlerdir. Loen ve Drew tarafından yapılan çalışmada, matris malzemesi alüminyum alaşımlı kompozitlerde SiC takviye elemanı ile matrisin reaksiyona girerek ara yüzey bağının Al_4C_3 formunda seramik bileşik şeklinde oluştuğu, fakat nikel kaplamanın varlığı sayesinde bu ara yüzey bağının $NiAl_3$ ve Ni_2Al_3 gibi intermetalik bileşikler şeklinde meydana geldiği görülmüştür [59]. MMK malzeme üretiminde Ni(K)Gr takviye elemanı kullanılması arayüzey bağının, Leon ve Drew'in yaptıkları çalışmaya benzer olarak $NiAl_3$ ve Ni_2Al_3 gibi intermetalik bileşikler şeklinde oluşacağı tahmin edilmektedir.

Resim 7.6'da görüldüğü gibi, hacimce % 4 Ni(K)Gr ve hacimce % 4 Al_2O_3 parçacıkları ile karma takviye edilmiş kompozitin mikroyapı fotoğrafları, nispeten homojen parçacık dağılımının elde edildiğini göstermektedir. Tanecik boyutu farklılıkları da mikroyapı görüntülerinde rahatlıkla görülmektedir.



(a) (b)

Resim 7.6. Hacimce % 4 Ni(K)Gr ve Al_2O_3 parçacıklarla karma takviyeli AA-6082 matrisli kompozitin mikroyapı görüntüleri
a) x100 büyütme, b) x500 büyütme

7.3. MMK Malzemelerin Mekanik Özellikleri

Bu çalışmada üretilen kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinden sertlik değeri ve mekanik özelliklerin değişimine dolaylı etkileri var olan yoğunluk ve gözeneklilik gibi bazı önemli özellikleri tespit edilmiştir.

7.3.1. Sertlik ölçüm sonuçları

Üretilen malzemelerin sertlik değerleri, Brinell sertlik (BHN) değeri cinsinden en az 5 noktadan yapılan ölçümlerin aritmetik ortalaması alınarak yapılmış ve Çizelge 7.2'de sunulmuştur.

Çizelge 7.2. Üretilen malzemelerin Brinell sertlik değerleri

Malzeme	Sertlik değeri (BHN)
AA-6082	68
% 91 AA-6082 + % 8 Al_2O_3 + % 1 Mg	105
% 91 AA-6082 + % 8 Ni(K)Gr+ % 1 Mg	72
% 91 AA-6082 + % 4 Al_2O_3 + % 4 Ni(K)Gr+ % 1 Mg	86

Çizelge 7.2 incelendiğinde ana faz alaşımına nazaran kompozit malzemelerin sertlik değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Kompozitlerin kendi aralarında sertlik değerleri incelendiğinde, takviye elemanı sertlik değeri ve sert takviye elemanının yüzde hacim oranıyla doğru orantılı olarak sertlik değerinin arttığı görülmektedir. En yüksek sertlik değeri, hacimce % 8 oranında ortalama 42 µm Al_2O_3 parçacıklarla takviyeli kompozitte 105 BHN olarak tespit edilmiştir.

7.3.2. Yoğunluk ölçümleri ve gözenek miktarının belirlenmesi

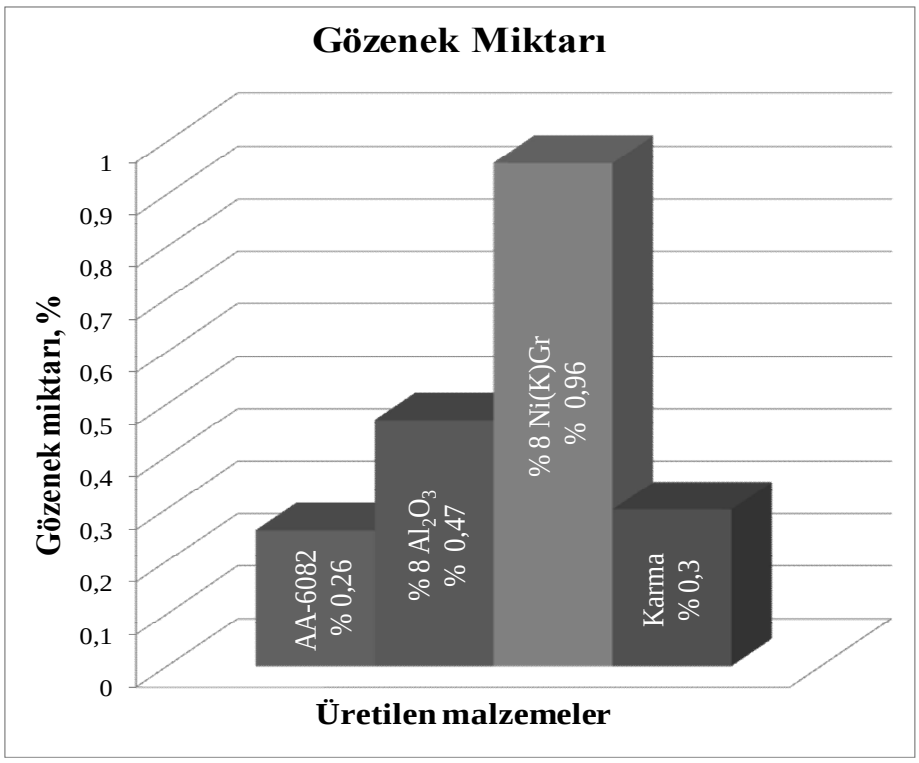
Yoğunluk değerleri, üretimi gerçekleştirilen kompozit malzemelerin yoğunluklarına karşılık sergiledikleri dayanım özelliklerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Aynı zamanda yoğunluk değerleri MMK malzemelerin üretim yönteminden kaynaklanan yapı içerisindeki gözenek miktarının tayininde de kullanılmaktadır. Ölçümler sonucu elde edilen yoğunluk değerleri Çizelge 7.3'te sunulmuştur.

Çizelge 7.3. Deneysel ve teorik yoğunluk ölçüm sonuçları

Yoğunluk Değ. (φ), g/cm^3				**Deneysel Yoğunluk Değeri (φ_D), g/cm^3**	**Teorik Yoğunluk Değeri (φ_T), g/cm^3**	**Yoğ. Değeri Farkı, g/cm^3**	**Gözenek Miktarı, %**
Al 2,677	Al_2O_3 3,8	Ni(K)Gr 1,9	Mg 1,74				
Malzeme Oranları, % Hacim			**Malzeme**				
% 100 AA-6082			AA-6082	2,670	2,677	0,007	0,26
% 91 AA-6082 + % 8 Al_2O_3 + % 1 Mg			% 8 Al_2O_3	2,744	2,757	0,013	0,47
% 91 AA-6082 + % 8 Ni(K)Gr + % 1 Mg			% 8 Ni(K)Gr	2,610	2,626	0,025	0,96
% 91 AA-6082 + % 4 Al_2O_3 + % 4 Ni(K)Gr + % 1 Mg			Karma	2,674	2,682	0,008	0,30

Çizelge 7.3 aynı zamanda karışımlar kuralına bağlı MMK malzemelerin hesaplanan teorik yoğunluk değerleri de sunulmuştur. Üretilen malzemelerin, karışımlar kuralına bağlı olarak hesaplanan teorik yoğunluk değerleri ile deneysel tespit edilmiş yoğunluk değerleri ve bu iki değerin birbiriyle kıyaslanmasıyla elde edilen yapı içerisindeki yüzde hacim oranınca gözenek miktarlarını göstermektedir. Çizelge 7.3'te üretilen malzeme yapıları içerisindeki yüzde gözenek miktarı değerlerinin oldukça düşük olduğu görülmektedir. Bunda basınçlı döküm yönteminin etkisi tartışılmazdır ki birçok araştırmacı, basınçlı döküm yönteminin yapı içerisindeki gözenek miktarını azalttığını belirtmiştir [7,8,10,22,25,27].

Üretimi gerçekleştirilen malzemeler içerisindeki gözenekliliğin sebebi döküm esnasında ergimiş haldeki karışımın hava ile temas etmesi ve döküm zamanına bağlanmıştır. Aynı zamanda araştırmacılar tarafından da belirtildiği üzere, ıslanma ve ıslatma özelliklerini iyileştirmek amacıyla yapı içerisine ilave edilen magnezyumun gözenekliliği arttırdığı bilinmektedir [25,30,32]. Şekil 7.1'de üretilen malzemelerin gözeneklilik miktarlarının değişimi grafik olarak sunulmuştur.



Şekil 7.1. Üretilen malzemelerdeki gözenek miktarı değişimi

Yapı içerisinde gözenek miktarının artması malzemenin mekanik özelliklerinden çekme, basma ve kırılma dayanımlarını kötü yönde etkilemektedir [7,8,22,25]. Şekil 7.1'de en fazla gözenek miktarının hacimce % 8 Ni(K)Gr parçacıklarla takviyeli kompozitte oluştuğu görülmektedir. Karma takviyeli kompozitte ise gözenek miktarının hacimce % 0,3 değerinde oluştuğu tespit edilmiştir.

7.4. İşlenebilirlik Deney Sonuçları ve Tartışma

Bu çalışmada üretimi gerçekleştirilen tek tip takviyeli kompozitler ile karma takviyeli kompozit malzemelerin kendi aralarında ve ana faz alaşımına göre, seçilen kesici takım ve işleme parametrelerine bağlı olarak kesici takım ömrü, kesme kuvvetleri, talaş kökü morfolojisi ve yüzey pürüzlülüğü açısından işlenebilirlikleri değerlendirilmiştir.

7.4.1 Kesici takım ömrü ve aşınma

Üretilen kompozit malzemelerin talaşlı imalatla şekillendirilmelerinde, yapı içerisinde yer alan takviye elemanlarının tipi ve yüzde hacim oranlarının, işlemede kullanılan takımlar üzerindeki etkileri, kesme hızının değişimine bağlı olarak araştırılmıştır. İşlem görmüş AA-6082 alaşımı kesici takım ömür deneylerinde incelenmemiştir. Kesici takımlarla toplamda kaldırılan talaş hacmi sabitlenerek işleme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu değer sementit karbür (SK) kesici takımlar için 2000 mm^3, çok kristalli kübik boron nitrür (KBN) esaslı kesici takımlarda ise 3000 mm^3 olarak seçilmiştir. İlerleme hızı (0,15 mm/rev) ve kesme derinliği (1 mm) sabit tutularak, kuru işleme şartlarında yapılan deneyler sonucunda, kesici takımlar takım mikroskobunda incelenmiştir. İncelemeler sonucunda kesici takımların çoğunda talaş yüzeyi burun uç bölgesinde ve bazılarında da esas kesme kenarı yanak yüzeyinde yığıntı talaş oluşumu gözlenmiştir. Ayrıca özellikle SK kesicilerle hacimce % 8 Al_2O_3 takviyeli kompozitin işleme deneyleri sonrasında, abrasiv aşınma mekanizmasına bağlı olarak, kesici takımların burun ön boşluk yüzeyi ve esas kesme kenarı yan yüzeylerinde aşınmanın oluştuğu tespit edilmiştir. Özellikle karbür seramik (SiC, TiC, vb.), oksit seramik (Al_2O_3, TiO_2, vb.) ve nitrür seramik (Si_3N_4,

BN, vb.) parçacıklar ya da kılcal kristalleri ile takviyeli MMK malzemelerin işlenmesinde, kesici takım yanak yüzeyi ve burun kısmında, abrasiv aşınma mekanizmasının etkin kesici takım aşınma mekanizması olduğu rapor edilmiştir [7,8,39-43].

Kesici takım ömür değerlendirmelerinde ISO 3685'te önerilen, esas kesme kenarı yanak yüzeyinde oluşmuş yanak yüzey aşınma ölçüsü 0,3 mm değeri dikkate alınmıştır. Talaş hacminin sabit tutulması nedeniyle, bu kıstas değerine kesici takımların yaklaşma ya da geçme ölçütleri, kesme hızının değişimi ve MMK malzeme özelliklerine bağlı olarak değerlendirilmiştir. Kesici takım ömrü ve aşınma izlerinin değerlendirilmesinde, iki farklı kaynak kullanılmıştır. Bunlardan ilki, işleme deneyleri sonrasında kesici takımlarda meydana gelen aşınma izleri genişliklerinin takım mikroskobu ile ölçülen genişlik değerlerinin çizelge ve grafikler haline dönüştürülerek değerlendirilmesidir. Diğeri ise SEM ile çekilmiş üç boyutlu kesici takım fotoğraflarının incelenmesi şeklindedir. Değerlendirmeler sırasıyla SK kesici takımlar ve KBN kesici takımlar şeklinde yapılmıştır.

Sementit karbür kesici takımlar

Deneylerde kaplamasız ve kaplamalı iki adet SK kesici takım kullanılmıştır. Sabit kesme derinliği ve ilerleme hızında, dört farklı kesme hızı ve üç farklı malzemede toplamda 24 adet işleme deneyi gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonunda elde edilen sabit talaş hacmine bağlı esas kesme kenarı ve burun kısmında oluşan aşınma değerleri, kesici takım talaş yüzeyi referans alınarak takım mikroskobunda (0,005 mm hassasiyetli) ölçülmüştür. SK takımlar ile kesme hızının değişimine ve MMK malzeme tipine göre, 2000 mm^3 sabit talaş hacminde işleme deneyleri sonrasındaki ölçüm sonuçları Çizelge 7.4'te çizelge halinde sunulmuştur.

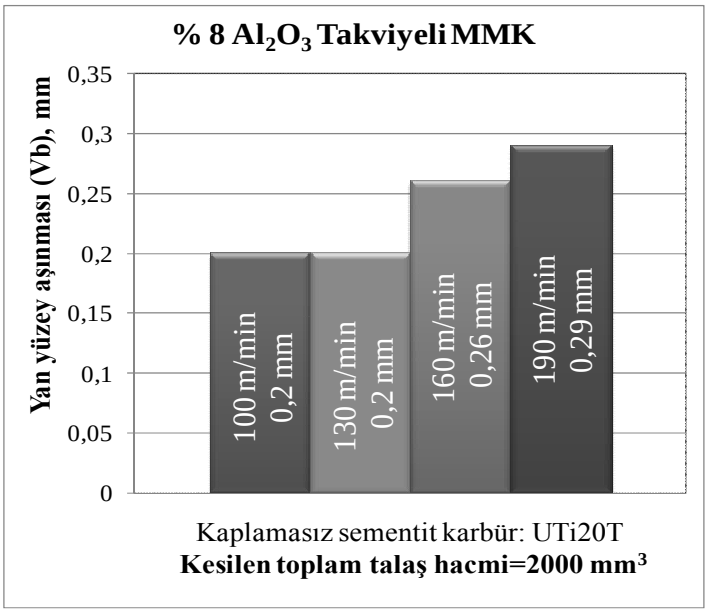
Çizelge 7.4'te görüleceği üzere, hacimce % 8 nikel kaplı grafit parçacıklarla takviyeli kompozitle gerçekleştirilen deneyler sonucunda kesici takımlarda herhangi bir aşınmaya rastlanmamıştır. Bu malzemenin işleme deneylerinde kullanılan tüm kesici takımlarda talaş yüzeyi ve esas kesme kenarı yanak yüzeyinde etkili talaş sıvanması

gözlenmiştir. Bu gözlemler SEM incelemeleri ile desteklenmiştir. Çizelgedeki diğer kompozit malzemelere ait ölçüm değerleri Şekil 7.2 ile Şekil 7.8 arasında sütun grafik halinde sunulmuştur.

Çizelge 7.4. Sementit karbür kesici takımlarda aşınma izleri ölçüm değerleri

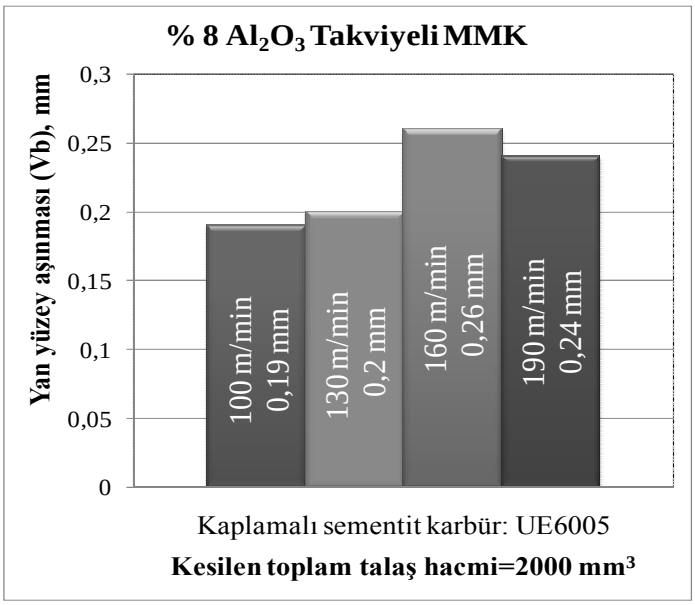
Talaş Hacmi: 2000 mm^3			**MMK Malzemeler**					
Den. No	**Kesici Takım**	**Kesme hızı (V), m/min**	**% 8 Al_2O_3 Takviyeli**		**% 8 Ni(K)Gr Takviyeli**		**Karma Takviyeli**	
			Yan yüzey aşınması, mm	**Burun aşınması, mm**	**Yan yüzey aşınması, mm**	**Burun aşınması, mm**	**Yan yüzey aşınması, mm**	**Burun aşınması, mm**
1-3	Kaplamasız sementit karbür: UTi20T	100	0,20	0,60	0	0	0,11	0,12
4-6		130	0,20	0,70	0	0	0,14	0,145
7-9		160	0,26	0,72	0	0	0,13	0,15
10-12		190	0,29	0,95	0	0	0,16	0,17
13-15	Kaplamalı sementit karbür: UE6005	100	0,19	0,60	0	0	0,13	0,14
16-18		130	0,20	0,65	0	0	0,15	0,15
19-21		160	0,26	0,70	0	0	0,14	0,145
22-24		190	0,24	0,65	0	0	0,13	0,14

Çizelge 7.4'te sunulduğu üzere alüminyum oksit ve karma takviyeli kompozitlerin takım mikroskobunda yapılan incelemelerinde, burun yüzeyi aşınma genişliğinin, yanak yüzeyine nazaran daha fazla bir değerde oluştuğu tespit edilmiştir.



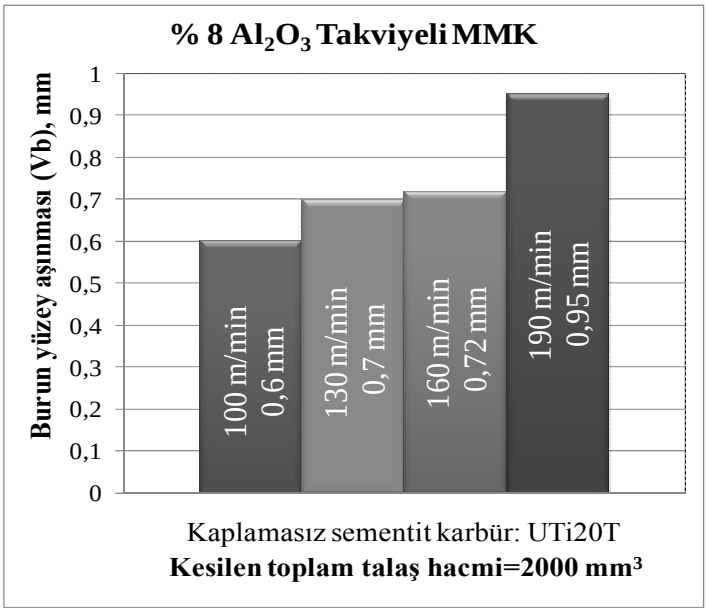
Şekil 7.2. Hacimce % 8 Al_2O_3 takviyeli MMK'in kaplamasız SK kesici takımla işlenmesinde, kesici takım esas kesme kenarı yan yüzeyinde oluşan aşınma değerleri

Şekil 7.2'de kesme hızının artmasıyla, özellikle MMK içerisindeki Al_2O_3 parçacıklarının, abrasiv aşınma mekanizmasıyla kaplamasız SK kesici takımın esas kesme kenarı yan yüzeyinde aşınma genişliğinin arttığı görülmektedir.

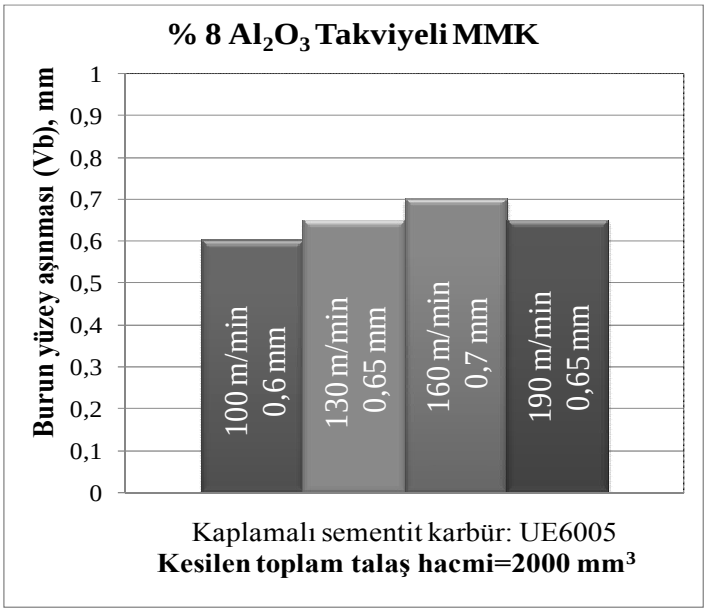


Şekil 7.3. Hacimce % 8 Al_2O_3 takviyeli MMK'in kaplamalı SK kesici takımla işlenmesinde, kesici takım esas kesme kenarı yan yüzeyinde oluşan aşınma değerleri

Şekil 7.3'te kaplamalı SK kesici takımda oluşan yanak aşınma değerleri yine kesme hızının arttırılmasıyla artmış, fakat 100 m/min ve 190 m/min'lık kesme hızlarında kaplamasız kesici takıma nazaran daha az bir değerde ölçülmüştür. Bu durum kaplamalı kesici takımın aşınma direncine bağlanmıştır.



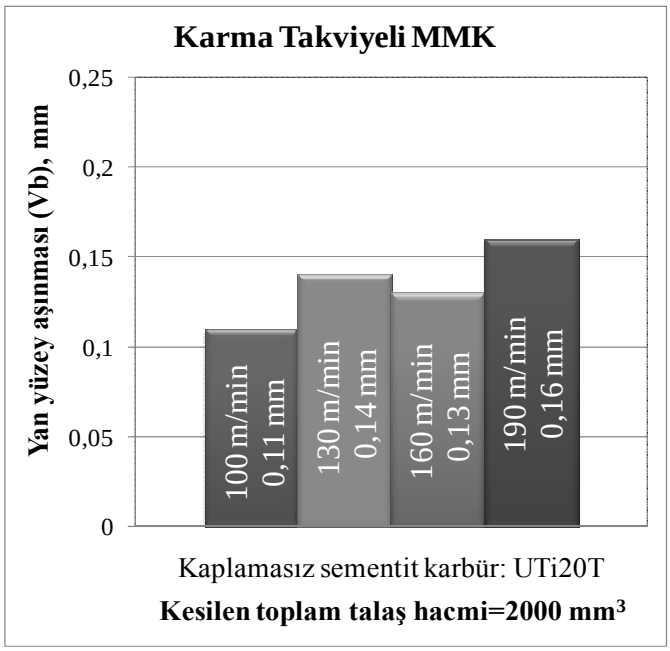
Şekil 7.4. Hacimce % 8 Al_2O_3 takviyeli MMK'in kaplamasız SK kesici takımla işlenmesinde, kesici takım burun yüzeyinde oluşan aşınma değerleri



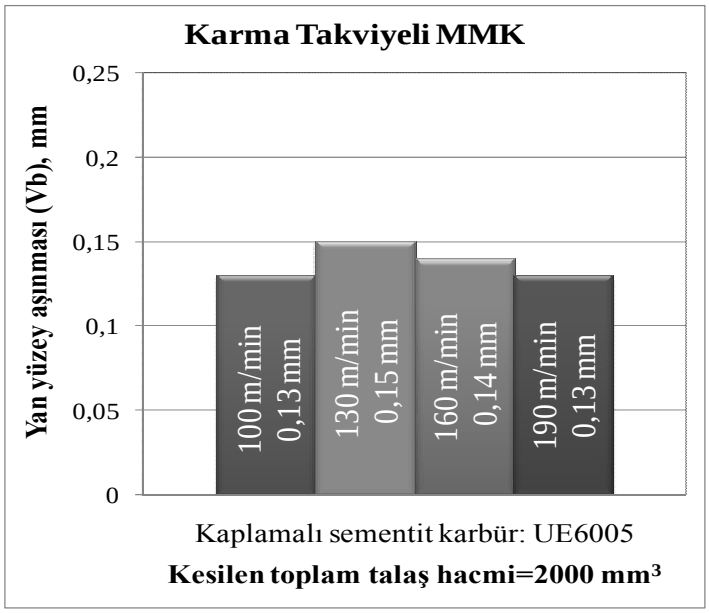
Şekil 7.5. Hacimce % 8 Al_2O_3 takviyeli MMK'in kaplamalı SK kesici takımla işlenmesinde, kesici takım burun yüzeyinde oluşan aşınma değerleri

Şekil 7.4 ve Şekil 7.5'te yer alan sementit karbürlerin burun yüzeyinde meydana gelen aşınma değer grafikleri, Şekil 7.2 ve Şekil 7.3'te yer alan yanak yüzeylerinde oluşan aşınma genişlikleri değer grafikleri ile kıyaslandığında, aşınma genişliklerinin yaklaşık olarak % 300 arttığı tespit edilmiştir. Şekil 7.4 ve Şekil 7.5 birbirleri ile kıyaslandığında Şekil 7.5'te kaplamalı SK'ün 100 m/min'lık kesme hızı dışındaki tüm kesme hız değerlerinde, daha az aşındığı görülmüştür. Özellikle 190 m/min kesme hızında, kaplamasız SK'e kıyasla % 38,25 oranında daha az aşındığı tespit edilmiştir. Bunun nedeni, ana karbür yapısından daha sert olan çok katlı kaplamanın özellikle TiN ve TiCN tabakalarının, yüksek kesme hızlarında kesici takım esas kesme yüzeyinde dinamik talaş yapışmasından daha az etkilenerek daha geç aşındığına bağlanmıştır.

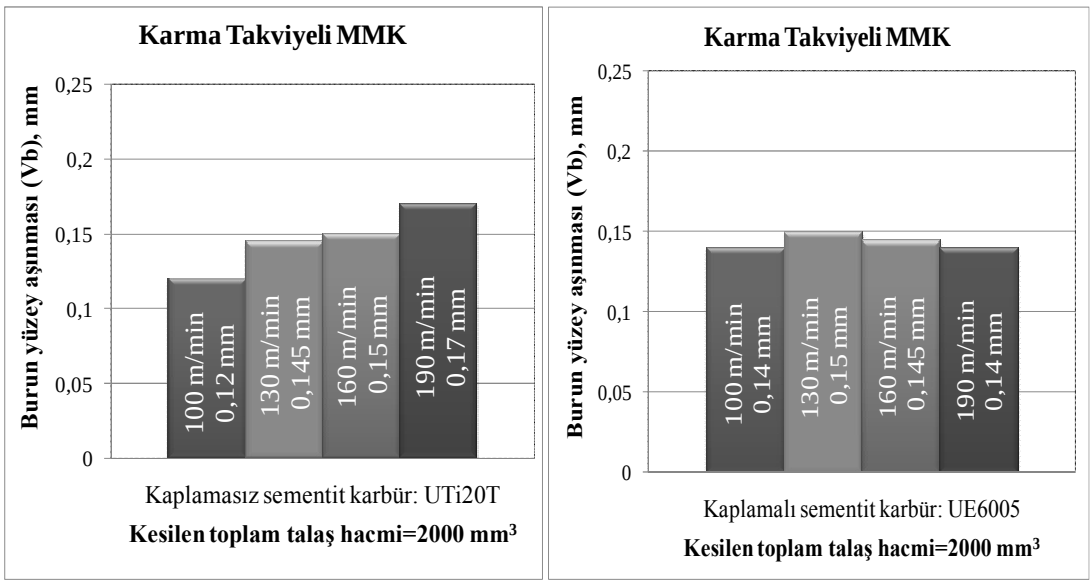
Hacimce % 4 oranında Al_2O_3 ve % 4 oranında nikel kaplı grafit parçacıklarla takviyeli kompozitin SK kesici takımlarla işlenmesi sonucunda kesici takımların yan yüzeylerinde meydana gelen aşınma genişlikleri ölçüm sonuçlarına ait grafikler Şekil 7.6 ve Şekil 7.7'de, burun kısımlarında ölçülen aşınma genişlikleri sonuçlarına ait grafikler ise Şekil 7.8'de sunulmuştur.



Şekil 7.6. Karma takviyeli MMK'in kaplamasız SK kesici takımla işlenmesinde, kesici takım esas kesme kenarı yan yüzeyinde oluşan aşınma değerleri



Şekil 7.7. Karma takviyeli MMK'in kaplamalı SK kesici takımla işlenmesinde, kesici takım esas kesme kenarı yan yüzeyinde oluşan aşınma değerleri



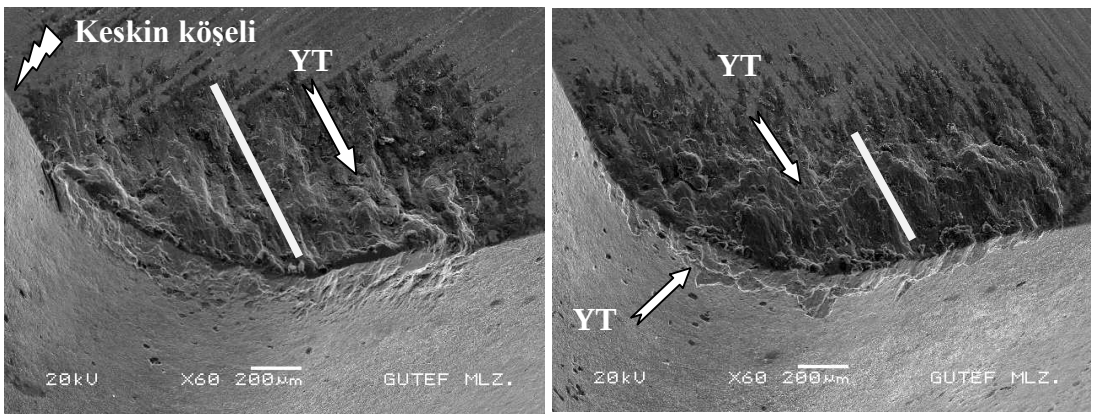
(a) (b)

Şekil 7.8. Karma takviyeli MMK'in SK kesici takımlarla işlenmesinde, kesici takımların burun yüzeyinde oluşan aşınma değerleri
a) Kaplamasız SK, b) Kaplamalı SK

Şekil 7.8'den görüleceği gibi, karma takviyeli MMK malzemeler üzerinde yapılan işleme deneyleri sonucunda, kaplamalı SK kesici takımın aşınma direnci bakımından kaplamasız SK takıma kıyasla daha iyi olduğu söylenebilir. Şekil 7.8. a'da kesme

hızının artışıyla, kaplamasız SK'ün burun yüzeyinin aşınma genişliği değerinin de artığı tespit edilmiştir. Şekil 7.6 ve Şekil 7.7'de yer alan grafikler, Şekil 7.8'de yer alan grafikler ile kıyaslandığında, kesici takımların burun yüzeylerinin, esas kesme kenarı yan yüzeyine kıyasla daha fazla aşındığı anlaşılmıştır. Bunun nedeni talaş oluşumu ile izah edilirse, kesici takım talaş yüzeyine yapışan dinamik talaş katmanlarının, takımın bir parçası gibi davranarak kesme açılarını değiştirdikleri ve kesicinin esas kesme kenarı hattını ve yan yüzeyini iki boyutlu ya da üç boyutlu abrasiv aşınma mekanizmalarından korudukları şeklinde izah edilebilir [7,39,45,66]. Kesicinin burun kısmı ise talaş akışına bağlı olarak talaş yapışmasının ilave katkısından faydalanamadığı için önündeki dönen yüzeyde yapı içerisindeki yüzeye kadar çıkmış parçacıkları kesmek, kırmak ya da malzeme içerisinden kopartarak çıkartmak zorundadır. Bu nedenle özellikle MMK malzeme yapı içerisindeki SK ana yapıdan sert olan Al_2O_3 parçacıklar tarafından iki boyutlu ve üç boyutlu abrasiv aşınma ile birlikte adhesiv aşınma mekanizmalarıyla kesici takımın burun ön boşluk yüzeyleri aşınmıştır. SK kesici takımların aşınma mekanizmalarının daha iyi anlaşılması amacıyla SEM fotoğrafları Resim 7.7 ile Resim 7.11 arasında sunulmuştur.

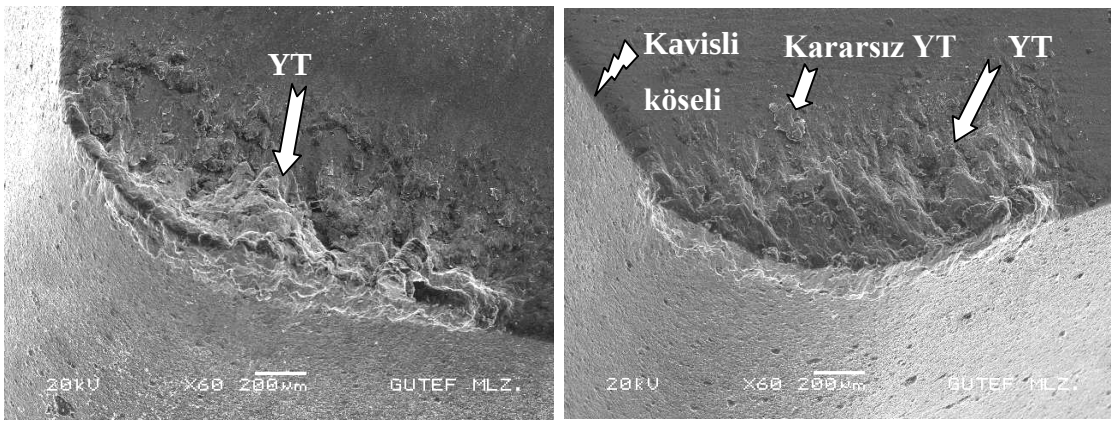
SK kesici takımlarla hacimce % 8 Ni(K)Gr parçacıklarla takviyeli kompozitin işlenmesi sonrasında kesici takımların çekilen SEM görüntüleri



(a) (b)

Resim 7.7. Hacimce % 8 Ni(K)Gr takviyeli kompozitin, kaplamasız SK kesici takım ile işlenmesi sonrasında çekilmiş kesici takım SEM fotoğrafları
a) Kesme hızı 100 m/min, b) Kesme hızı 190 m/min

Resim 7.7'de kaplamasız SK kesici takımda 100 m/min ve 190 m/min kesme hızlarında hacimce % 8 Ni(K)Gr takviyeli kompozitin işlenmesi sonrasında kesici takım kesme kenarı ve burun yüzeylerinde herhangi bir aşınmanın meydana gelmediği tespit edilmiştir. Fakat takım talaş yüzeyi ve esas kesici kenar yan boşluk yüzeyinde yığıntı talaş (YT) katmanının oluştuğu görülmektedir. Kesme hızının arttırılmasıyla yığıntı talaşın genişliğinin ve yüksekliğinin azaldığı tespit edilmiştir. Resim 7.7. a'da yığıntı talaşın kesicinin kesme geometrisini değiştirerek kesicinin bir parçası gibi davrandığı yığıntı talaşın formundan anlaşılmaktadır. Kesme hattı boyunca yığıntı talaşın kesicinin dışına doğru taşarak formunu muhafaza ettiği görülmektedir. Resim 7.8'de de aynı kompozitin çok katlı kaplamalı SK kesici takımla işlenmesi sonrasında kesici takıma ait SEM görüntüleri sunulmuştur.



(a) (b)

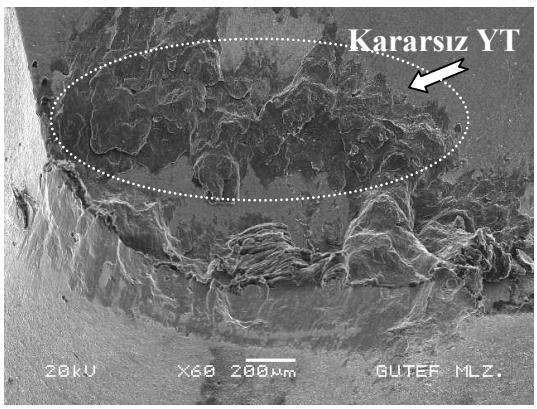
Resim 7.8. Hacimce % 8 Ni(K)Gr takviyeli kompozitin, kaplamalı SK kesici takım ile işlenmesi sonrasında çekilmiş kesici takım SEM fotoğrafları
a) Kesme hızı 100 m/min, b) Kesme hızı 190 m/min

Resim 7.8'de de yığıntı talaş oluşumunun engellenemediği fakat Resim 7.7'de yer alan kaplamasız kesici takıma kıyasla daha küçük ebatlarda oluştuğu tespit edilmiştir. Yine kaplamalı kesici takımda da kesme hızının artmasıyla yığıntı talaşın, takım talaş yüzeyi boyunca genişliği ve yüksekliğinin azaldığı görülmektedir. Resim 7.8. b'deki yığıntı talaş formu Resim 7.8. a'daki yığıntı talaşa kıyasla daha kararlıdır ve bütünlük sergilemektedir. Buda kesicinin üzerinde yer alan TiN kaplama katmanının, kesici takımın yüzey pürüzlülüğünü azaltmasına bağlanmaktadır. Ayrıca Resim 7.7'de kaplamasız kesici takımın kesme hattı kenar özelliğinin, Resim 7.8'de yer

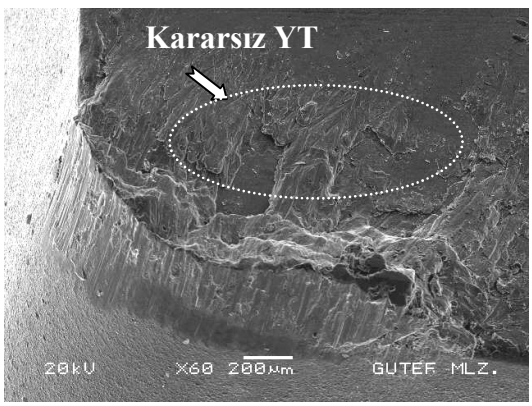
alan kaplamalı SK kesiciye kıyasla daha keskin olduğu görülmektedir. Bu kesme hattı kenar özelliğinin, kesme kuvvetlerinin değişimine etkide bulunacağı düşünülmektedir.

SK kesici takımlarla hacimce % 8 Al_2O_3 *parçacıklarla takviyeli kompozitin işlenmesi sonrasında kesici takımların çekilen SEM görüntüleri*

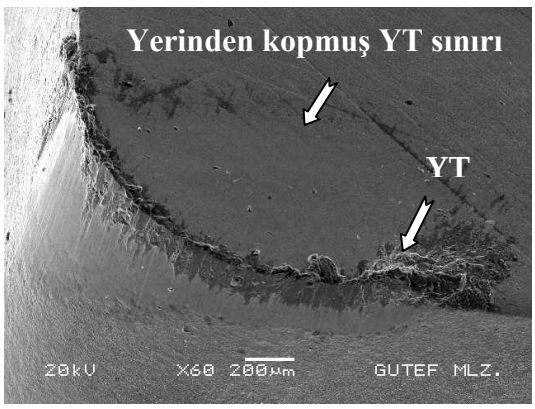
Ortalama 42 μm boyutlu hacimce % 8 Al_2O_3 parçacıklarla takviyeli kompozitin kaplamalı ve kaplamasız SK kesici takımlarla işlenmesinde kesici takımların abrasiv ve adhesiv aşınma mekanizmalarının etkisiyle aşındıkları Resim 7.9'da görülmektedir.



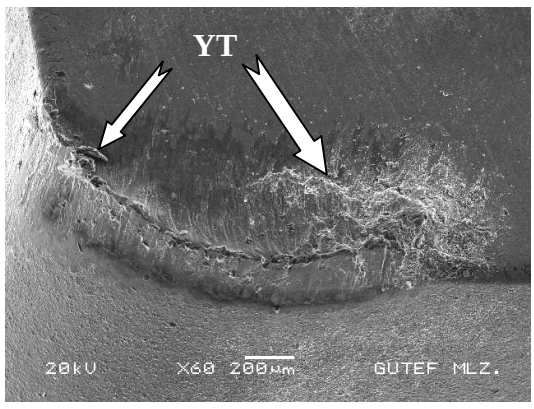
(a) UTi20T, V = 100 m/min



(b) UE6005, V = 100 m/min



(c) UTi20T, V = 190 m/min

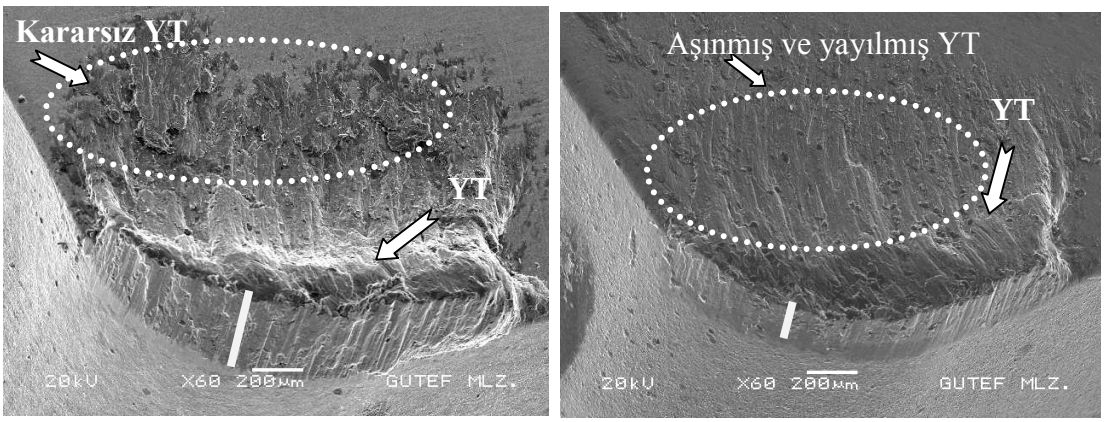


(d) UE6005, V = 190 m/min

Resim 7.9. Hacimce % 8 Al_2O_3 parçacık takviyeli kompozitin işlenmesi sonrasında çekilmiş kesici takımların SEM fotoğrafları
a) Kaplamasız SK (V = 100 m/min), b) Kaplamalı SK (V = 100 m/min)
c) Kaplamasız SK (V = 190 m/min), d) Kaplamalı SK (V = 190 m/min)

Matris malzemesinin yapışma eğiliminin fazla olması nedeniyle, özellikle düşük kesme hızlarında yine talaş yüzeyi ve kesme kenarı hattı boyunca daha yoğun yığıntı talaş oluşumu gözlenmiştir. Resim 7.9'da SEM fotoğrafları incelendiğinde, kesme hızının artması ile yığıntı talaş oluşumunun azaldığı, fakat aşınma genişliğinin arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca Resim 7.9. a ve Resim 7.9. b'de 100 m/min düşük kesme hızında YT kalınlığının her iki kesici takımda da arttığı görülmektedir. Bu artış kaplamalı SK kesicide daha fazladır. Resim 7.9. c ve Resim 7.9. d'de aşınmalar incelendiğinde, özellikle kaplamasız SK kesici takımda, kaplamalı SK kesici takıma kıyasla, burun yüzeyinde daha geniş ve düzensiz bir aşınmanın oluştuğu tespit edilmiştir. Resim 7.9. d'de kaplanmış SK'ün, üzerindeki kaplama katmanının aşınma direncine bağlı olarak, aşınma genişliklerinin düzenli ve kaplamasız SK takıma kıyasla daha az olduğu görülmektedir.

SK kesici takımlarla hacimce % 4 Al_2O_3 *ile birlikte hacimce % 4 Ni(K)Gr parçacıklarla takviyeli (karma takviyeli) kompozitin işlenmesi sonrasında çekilen SEM görüntüleri*

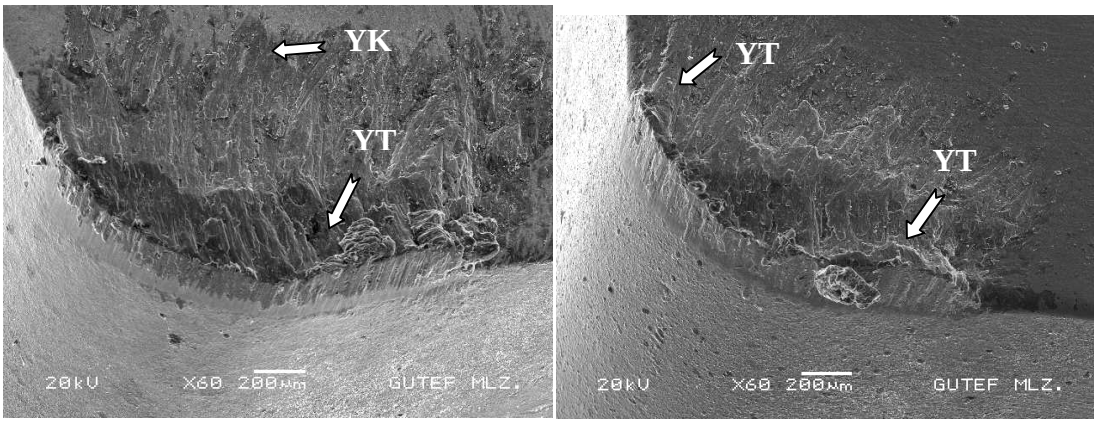


(a) UTi20T, V = 100 m/min (b) UE6005, V = 100 m/min

Resim 7.10. Hacimce % 4 Al_2O_3 ve % 4 Ni(K)Gr parçacıklarla karma takviyeli kompozitin işlenmesi sonrasında çekilmiş kesicilerin SEM fotoğrafları a) Kaplamasız SK (V = 100 m/min), b) Kaplamalı SK (V = 100 m/min)

Resim 7.10'da YT'ın kesicinin bir parçası gibi davranarak kesme geometrisinin değişimine neden olmaktadır. Resim 7.10. a'da YT'ın kalınlığının Resim 7.10.b'ye kıyasla daha fazla olduğu görülmektedir. Ayrıca Resim 7.10. a'da YT'ların talaş

akışını engelleyecek tarzda bağımsız tepecikler oluşturarak, akan talaşla birlikte kopma eğilimi sergiledikleri görülmektedir. Bu durum kesicinin adhesiv aşınma mekanizmasıyla zarar görmesine ve kesme kuvvetlerinin artmasına neden olabilir. MMK yapı içerisindeki Al_2O_3 parçacıkları tarafından aşındırıldığı görülmektedir.



(a) UTi20T, V = 190 m/min (b) UE6005, V = 190 m/min

Resim 7.11. Hacimce % 4 Al_2O_3 ve % 4 Ni(K)Gr parçacıklarla karma takviyeli kompozitin işlenmesi sonrasında çekilmiş kesicilerin SEM fotoğrafları a) Kaplamasız SK (V = 190 m/min), b) Kaplamalı SK (V = 190 m/min)

Resim 7.11'de aşınma izlerinin SK takımların burun yüzeyi ve kesme hattı yan kenarı boyunca düzenli bir hatta ve yakın genişlikte oluştuğu tespit edilmiştir. İşleme deneylerinde kaplamalı SK kesici takımın, kaplamasız SK kesici takıma kıyasla aşınma direncinin daha iyi olduğu görülmektedir. Ayrıca kaplamalı SK kesici takımın diğer kaplamasız SK kesici takıma kıyasla, takım talaş yüzeyinde YT oluşumunun daha az olduğu da Resim 7.11. a ve Resim 7.11. b'deki SEM görüntülerinden anlaşılmaktadır.

MMK malzemelerin SK kesici takımlarla işlenmesi ile ilgili genel değerlendirme

Talaşlı imalat işleminde iş parçası malzemesinin, takımın talaş yüzeyine yapışması yığıntı katmanı (YK) ve takımın kesme kenarına yapışması yığıntı talaş (YT) olarak bilinir [73]. Bu olay çoğunlukla sünek malzemelerin işlenmesinde sıkça görülür. Alüminyum alaşımlarının da sünek özelliği nedeniyle talaşlı imalatla işlenmeleri esnasında, iş parçası malzemesi ile kesici takım arasında temas bölgelerinde çok

güçlü bir yapışma eğilimlerinin olduğu bilinmektedir [47-49,73]. Üretilen MMK malzemelerde matris malzemesinin alüminyum alaşımı olması, kesici takımlarda yığıntı talaşın oluşumunu kaçınılmaz hale getirmiştir. Fakat MMK'lerin yapılarındaki takviye elemanları, matrisin tane yapısını değiştirmekte ve süneklilik özelliğine etkide bulunarak talaş formunun değişimine neden olmaktadır. Aynı zamanda takviye elemanları sertlik ve aşınma dirençleri ve matrisin yapışma eğilimine bağlı olarak, MMK'lerin işlenmesinde çoğunlukla abrasiv aşınma mekanizmasıyla birlikte adhesiv aşınma mekanizmasıyla da kesici takımlar kesme hattı özelliklerini kaybetmektedirler.

Üretilen MMK malzemelerin sementit karbür kesicilerle işlenmesinde, yukarıdaki açıklamalara benzer olarak kesici takımların abrasiv ve adhesiv aşınmaya ve takım talaş yüzeyinde etkili YK ve YT oluşumuna maruz kaldıkları tespit edilmiştir. Yığıntı talaş oluşumu kesme hızının artmasıyla ve TiN kaplama katmanının varlığıyla azalmış, hatta Al_2O_3 seramik parçacıklarla takviyeli MMK da katman halinde yüksek kesme hızlarında kopma eğilimi sergilemiştir. Oluşan yığıntı talaşların, kesici takımların kesme geometrilerini değiştirdikleri ve özellikle karma takviyeli kompozitin işlenmesinde YT'ın kararlı olduğu görülmüştür. MMK yapı içerisindeki Al_2O_3 seramik parçacıkların yüzde hacim oranının kesici takımların abrasiv aşınma mekanizmasında etkili olduğu tespit edilmiştir. Alüminyum oksit parçacıklarının yüzde hacim oranının artmasıyla aşınma, kesme hattı temas bölgesinde düzensizlik sergilemiş ve bu aşınma izlerinin kesici takım burun yüzeyinde daha fazla oluştuğu görülmüştür. Bu takviye elemanının yüzde hacim oranının azalmasıyla aşınma izlerinin genişliğinin de azaldığı tespit edilmiştir. Özellikle tek tip Ni(K)Gr takviyeli kompozitte abrasiv aşınmaya rastlanmaması bu olaya delil olarak gösterilebilir. MMK malzemeler işleme deneyleri sonrasında sementit karbür kesici takımlarda oluşturdukları yan yüzey aşınması değerleri en fazladan en aza doğru, hacimce % 8 Al_2O_3 takviyeli, karma takviyeli ve en son olarak da hacimce % 8 Ni(K)Gr takviyeli MMK şeklinde sıralanırlar. Üretilen MMK malzemelerde karma takviye elemanının uygulanmasıyla, talaşlı imalatla özellikle kaba talaş alma işlemelerinde sementit karbür kesici takımların kullanılmasına olanak sağlanmıştır. MMK'lerin işlenmesinde kullanılan sementit karbürler aşınma

dirençleri bakımından birbirleri ile kıyaslanırlarsa, üzerine çok katlı kaplama uygulanmış UE6005 imalatçı koduna sahip sementit karbürün, kaplamasız sementit karbüre göre daha iyi performansa sahip olduğu deneyler sonrasında anlaşılmıştır.

Kübik bor nitrür kesici takımlar

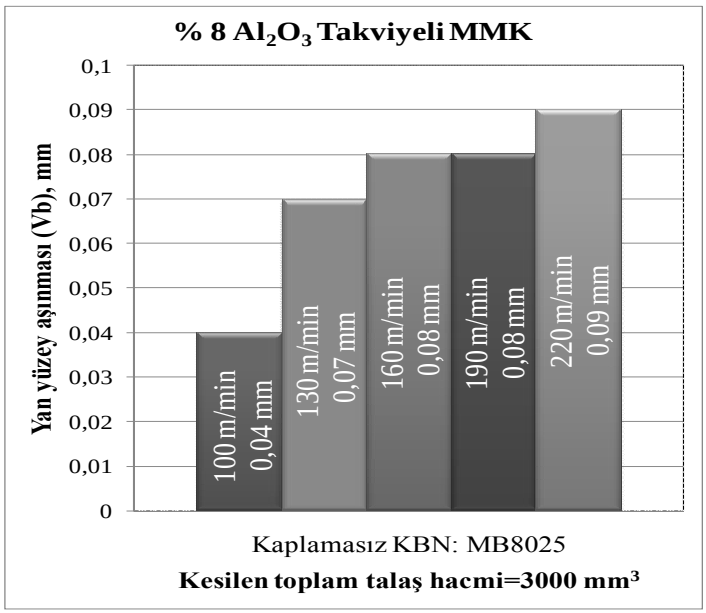
MMK malzemelerin işleme deneylerinde bir adet kaplamasız KBN (MB8025) ve iki adet kaplamalı KBN (GBi03 ve MBC010) kesici takım kullanılmıştır. İşleme deneyleri kuru işleme şartlarında, sabit kesme derinliği (1 mm) ve sabit ilerleme hızında (0,15 mm/rev), 5 ayrı kesme hızında (100, 130, 160, 190, 220 m/min) gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları Çizelge 7.5'te ve bu çizelgede yer alan değerlere bağlı sütun grafiklerde Şekil 7.9 ile Şekil 7.14 arasında sunulmuştur.

Çizelge 7.5. Kübik bor nitrür kesici takımlarda aşınma ölçüm değerleri

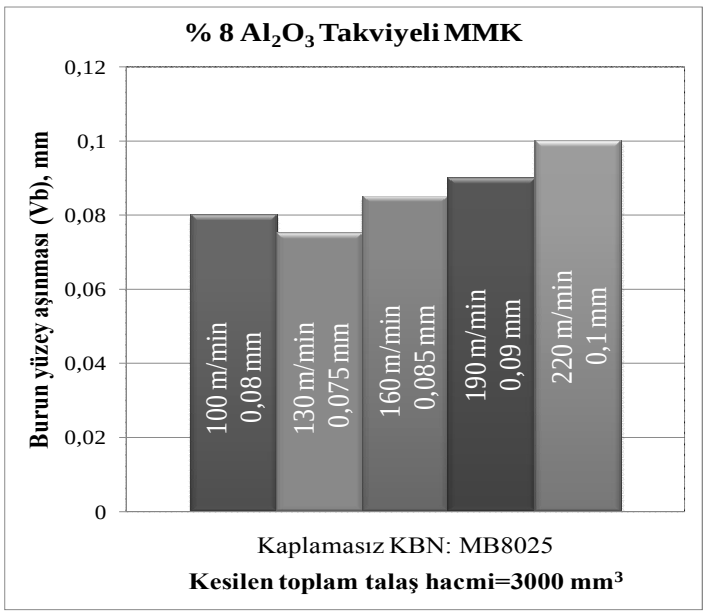
Talaş Hacmi: 3000 mm^3			**MMK Malzemeler**					
Den. No	**Kesici Takım**	**Kesme hızı (V), m/min**	**% 8 Al_2O_3 Takviyeli**		**% 8 Ni(K)Gr Takviyeli**		**Karma Takviyeli**	
			Yan yüzey aşınması, mm	**Burun aşınması, mm**	**Yan yüzey aşınması, mm**	**Burun aşınması, mm**	**Yan yüzey aşınması, mm**	**Burun aşınması, mm**
1-3	Kaplamasız KBN: MB8025	100	0,04	0,080	0	0	0,015	0,015
4-6		130	0,07	0,075	0	0	0,025	0,025
7-9		160	0,08	0,085	0	0	0,025	0,035
10-12		190	0,08	0,090	0	0	0,035	0,040
13-15		220	0,09	0,100	0	0	0,035	0,050
16-18	Kaplamalı KBN: GBi03	100	0,04	0,06	0	0	0,010	0,010
19-21		130	0,055	0,065	0	0	0,015	0,020
22-24		160	0,065	0,070	0	0	0,025	0,030
25-27		190	0,075	0,080	0	0	0,035	0,040
28-30		220	0,085	0,095	0	0	0,040	0,055
31-33	Kaplamalı KBN: MBC010	100	0,05	0,050	0	0	0,010	0,010
34-36		130	0,055	0,055	0	0	0,015	0,020
37-39		160	0,055	0,060	0	0	0,025	0,025
40-42		190	0,06	0,065	0	0	0,025	0,030
43-45		220	0,07	0,075	0	0	0,030	0,040

Çizelge 7.5'te burun yüzeyi aşınmasının yan yüzey aşınmasına kıyasla daha fazla değerde ölçüldüğü görülmektedir. MMK malzemelerin içerisinde yer alan Al_2O_3

parçacıkların yüzde oranının azalmasıyla, takım aşınmalarında dikkate değer azalmalar tespit edilmiştir. Hatta MMK malzemelerden, sadece nikel kaplı grafitlerle takviyeli kompozitin işlenmesinde, kaldırılan toplam talaş hacmi süresince kesicilerin yan kenar ya da burun yüzeylerinde aşınma izlerine rastlanmamıştır.



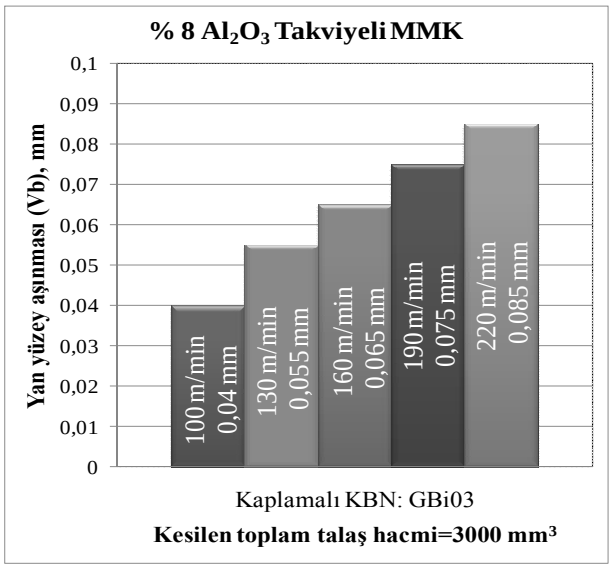
(a)



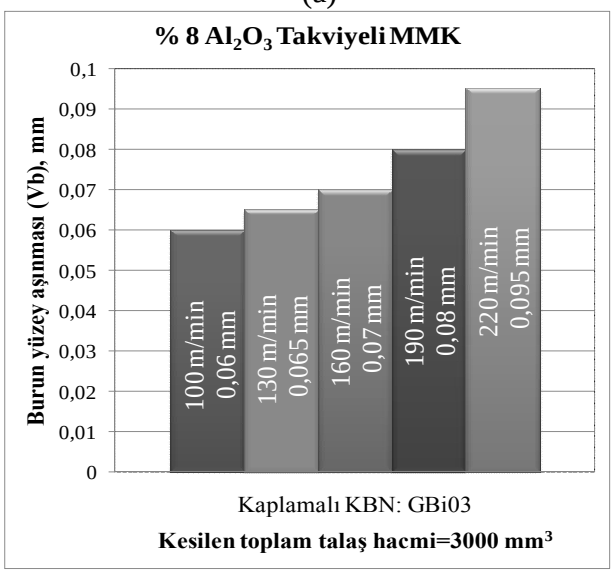
(b)

Şekil 7.9. Hacimce % 8 Al_2O_3 takviyeli MMK'in MB8025 kodlu KBN kesici takımla işlenmesi sonucunda kesicide oluşan aşınma değerleri
a) Yan yüzey aşınması, b) Burun yüzeyi aşınması

Kaplamasız KBN kesici takım MB8025'in burun yüzeyinde oluşan aşınma genişliğinin, esas kesme kenarı yan yüzeyinde oluşan aşınma genişliğine nazaran tüm kesme hızlarında daha fazla bir değerde oluştuğu Şekil 7.9. b)'de görülmektedir. Kesici takımın aşınmaya maruz kalan kısımlarında kesme hızının arttırılması ile aşınma genişliklerinin de arttığı tespit edilmiştir. Bu aşınmaların adhesiv aşınma mekanizması ile birlikte MMK malzemenin içerisindeki Al_2O_3 sert aşındırıcı taneler tarafından abrasiv aşınma mekanizmalarıyla oluştuğu düşünülmektedir.



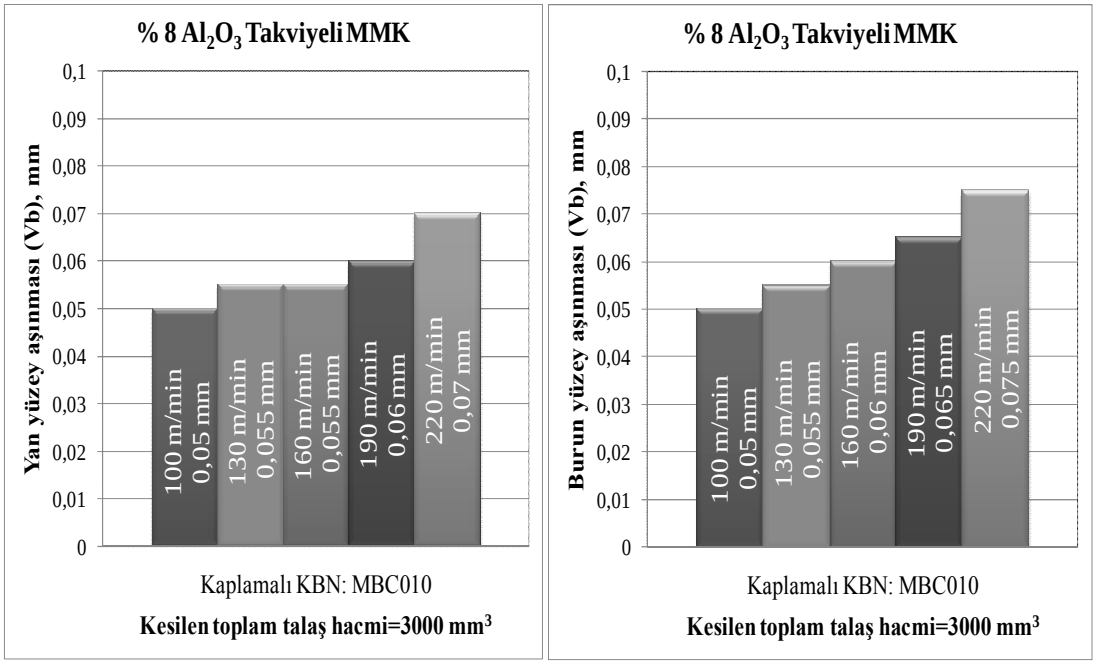
(a)



(b)

Şekil 7.10. Hacimce % 8 Al_2O_3 takviyeli MMK'in GBi03 kodlu KBN kesici takımla işlenmesi sonucunda kesicide oluşan aşınma değerleri
a) Yan yüzey aşınması, b) Burun yüzeyi aşınması

MB8025 kodlu kesicinin kaplı hali olan GBi03 kodlu kesici ile hacimce % 8 Al_2O_3 takviyeli MMK'in işlenmesi sonucunda yine kesme kenarı hattı yan kenarında abrasiv aşınma izleri tespit edilmiştir. Kesicinin esas kesme kenarı yan yüzeyinde meydana gelen aşınma yine burun yüzeyine kıyasla daha az bir değerde gerçekleşmiştir. Şekil 7.10. b'de kesme hızının atmasıyla birlikte kesici burun yüzeyindeki aşınma genişliğinin de arttığı görülmektedir. Şekil 7.10. b, Şekil 7.9. b ile kıyaslandığında GBi03 kesici takımın kesme performansının MB8025 ana yapıya kıyasla, üzerinde yer alan kaplama sayesinde arttığı anlaşılmaktadır.

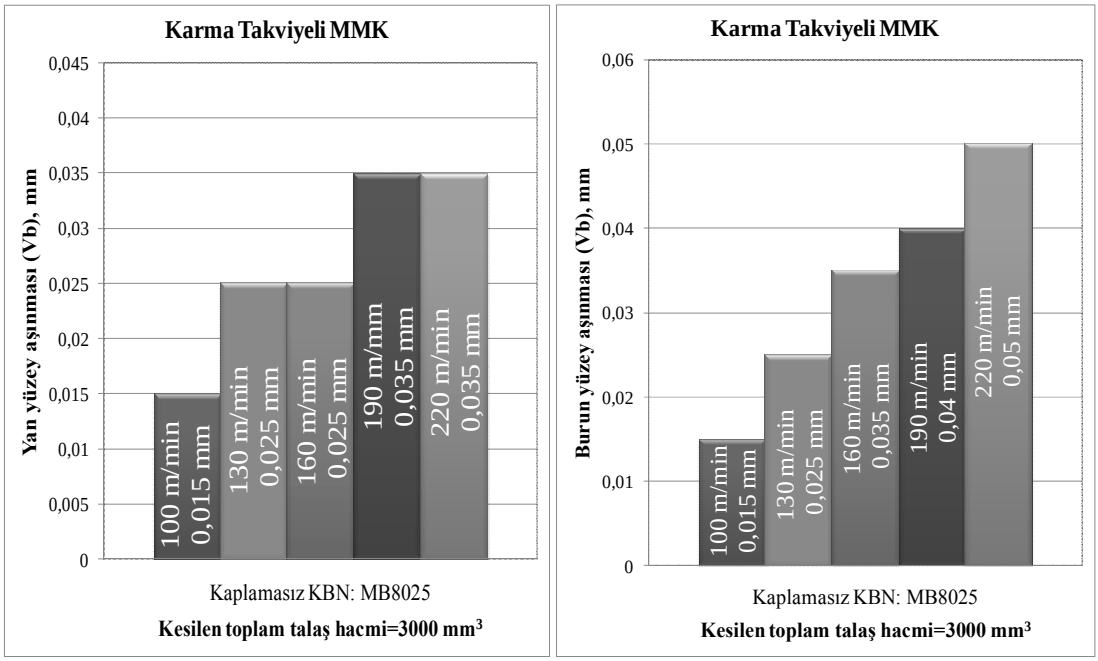


(a) (b)

Şekil 7.11. Hacimce % 8 Al_2O_3 takviyeli MMK'in MBC010 kodlu KBN kesici takımla işlenmesi sonucunda kesicide oluşan aşınma değerleri
a) Yan yüzey aşınması, b) Burun yüzeyi aşınması

Şekil 7.11'de hacimce % 8 Al_2O_3 takviyeli MMK'in işlenmesinde kullanılan MBC010 kesici takım, diğer KBN kesicilere kıyasla daha fazla aşınma direncine sahiptir. MBC010 kodlu KBN kesicinin kesme kenarı hattı yan yüzeylerinde meydana gelen aşınma genişliğinin kesme hızının artmasıyla artığı Şekil 7.11'den anlaşılmaktadır. Şekil 7.11'deki grafikler, Şekil 7.10 ve Şekil 7.9'da yer alan grafiklerle kıyaslandığında, MBC010 kodlu kesici takımın aşınma direncinin 220 m/min kesme hızında, kesicinin burun yüzeyinde meydana gelen aşınma genişliği

bakımından, MB8025 kodlu KBN kesiciye göre % 25 ve GBi03 kodlu KBN kesiciye göre % 21 oranında daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

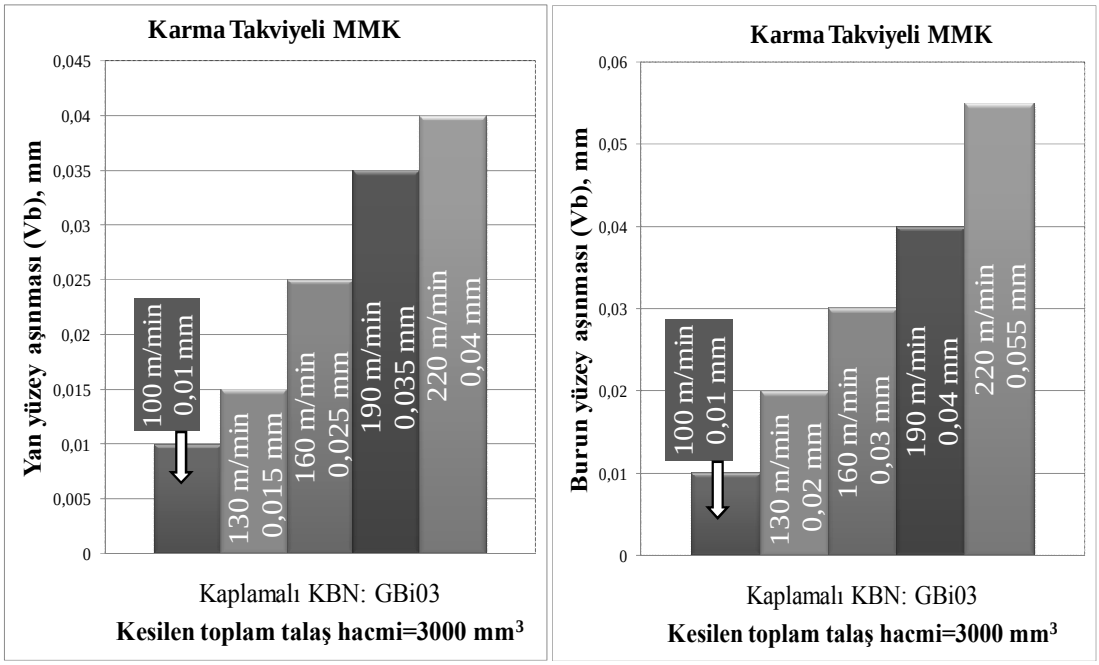


(a) (b)

Şekil 7.12. Karma takviyeli MMK'in kaplamasız KBN MB8025 kesici takımla işlenmesi sonucunda kesicide oluşan aşınma değerleri
a) Yan yüzey aşınması, b) Burun yüzeyi aşınması

Şekil 7.12'de içerisinde hacimce % 4 Al_2O_3 ve % 4 Ni(K)Gr parçacık yer alan kompozitin kaplamasız MB8025 kodlu KBN kesici takımla işlenmesinde, abrasiv aşınma mekanizmasının etkisiyle, kesicinin esas kesme kenarı yan yüzeyi ve burun yüzeyinde meydana gelen aşınma izleri genişliği, kesme hızının arttırılmasıyla artış sergilemiştir. Şekil 7.12'de yer alan grafikler Şekil 7.9'da aynı takımla aynı talaş hacminde, hacimce % 8 Al_2O_3 parçacık takviyeli MMK'in işlenmesi sonucu elde edilen aşınma grafikleriyle kıyaslandığında, karma takviyeli kompozitin işlenme özelliğinin daha iyi olduğu söylenebilir. Bu da karma takviyeli kompozitin, sadece alüminyum oksit parçacıklarla takviyeli kompozite nazaran % 50 oranında daha az Al_2O_3 parçacık içermesine bağlanabilir. Aynı zamanda karma takviyeli MMK yapı içerisinde yer alan Ni(K)Gr parçacıklarının, yağlama filmi etkisinin kuru işleme artlarında dahi takım-talaş temas bölgesinde yapışmayı azaltıcı rol oynadığı ve

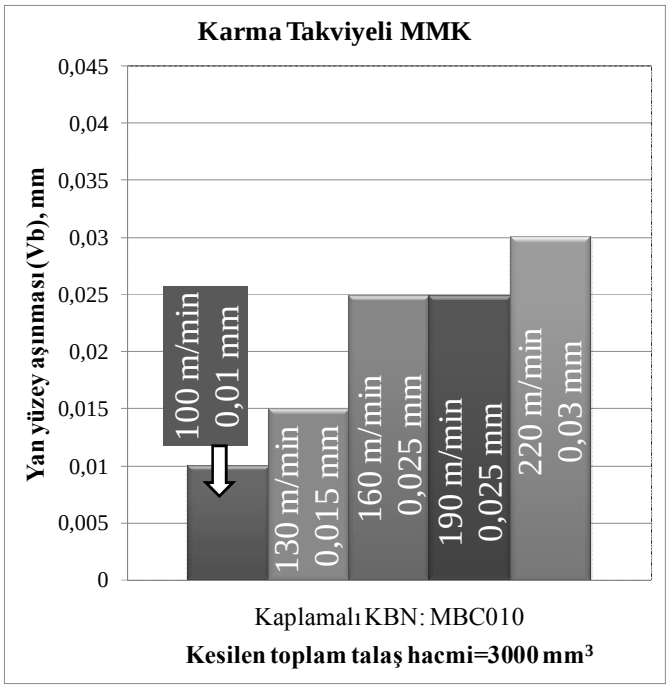
koparak ayrılan yığıntı talaşların beraberinde kesici takımın parçalarını da götürmelerine engel teşkil ettiği bilinmektedir.



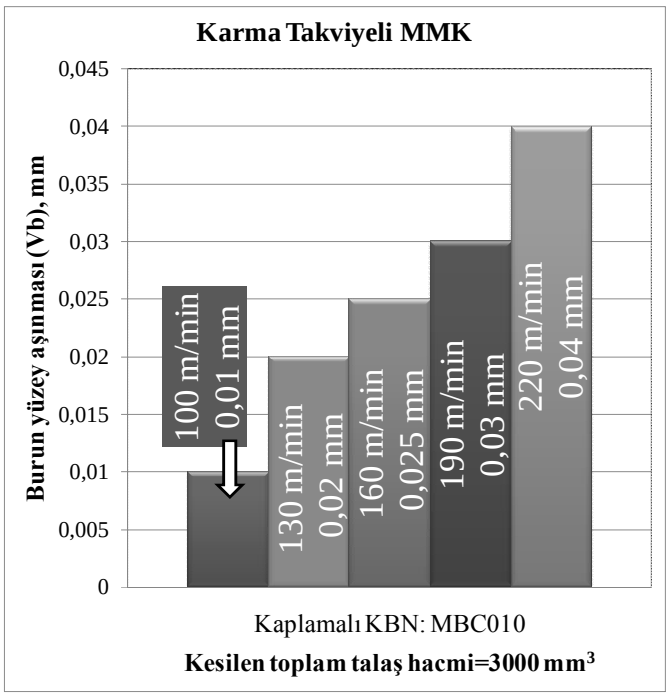
(a) (b)

Şekil 7.13. Karma takviyeli MMK'in kaplanmış KBN GBi03 kesici takımla işlenmesi sonucunda kesicide oluşan aşınma değerleri
a) Yan yüzey aşınması, b) Burun yüzeyi aşınması

Şekil 7.13'te yine kesme hızının artmasıyla kaplamalı KBN GBi03 kodlu kesicide aşınma genişliklerinin arttığı görülmektedir. Yine bu MMK malzemede de MB8025 kodlu ana yapıyı teşkil eden KBN üzerine kaplama uygulamasının, takımın aşınma direncinde bir miktar artış sağladığı tespit edilmiştir. GBi03 kodlu kesici takım aşınma direnci bakımından MB8025 kodlu kesiciye nazaran Şekil 7.13. a'da Şekil 7.12. a'ya kıyasla iyi yönde bir gelişme gösterdiği, fakat aynı şekillerin b şıklarında yer alan burun yüzeyi aşınma değerleri bakımından iyi bir performans sergilemediği anlaşılmaktadır.



(a)



(b)

Şekil 7.14. Karma takviyeli MMK'in kaplanmış KBN MBC010 kesici takımla işlenmesi sonucunda kesicide oluşan aşınma değerleri
a) Yan yüzey aşınması, b) Burun yüzeyi aşınması

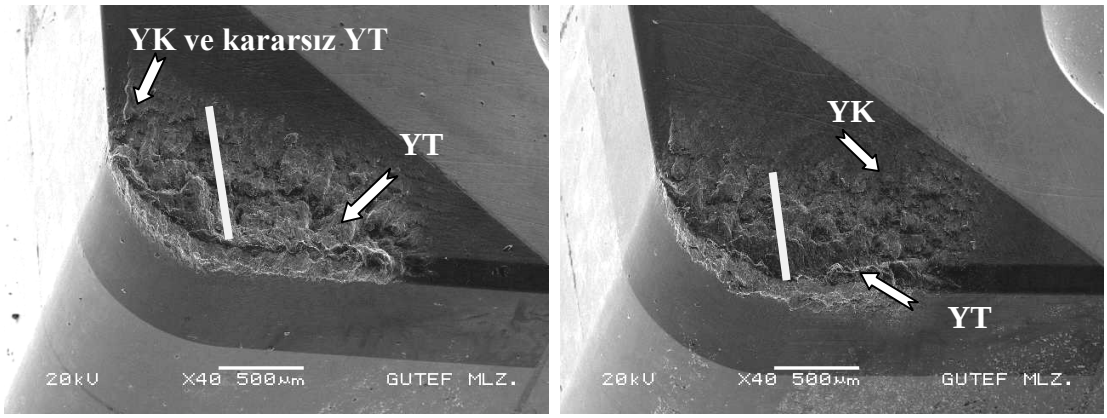
Şekil 7.14'te her iki grafikte de görüldüğü üzere kesme hızının arttırılmasıyla üzeri TiN kaplanmış MBC010 KBN kesicinin de aşınma değerlerinin artmasına neden

olmuştur. Karma takviyeli kompozitin MBC010 kodlu KBN kesici ile işleme deneylerinde kesme hızının arttırılmasıyla takımın kesme hattı temas bölgesindeki aşınma izlerinin düzenli olduğu tespit edilmiştir. MBC010 kaplanmış KBN kesici takım aşınma direnci bakımından yine diğer KBN kesicilere kıyasla daha iyi performans sergilemiştir.

KBN kesici takımlar aşınma dirençlerine bağlı işleme deneylerinde en iyiden en kötüye doğru sıralanırlarsa; MBC010 kodlu kesici takım, GBi03 kodlu kesici takım ve en son MB8025 kodlu kesici takım olarak sıralanırlar. KBN kesici takımlar en fazla aşınmaya maruz kaldıkları % 8 Al_2O_3 takviyeli kompozitin işleme deneylerinde, birbirlerine göre aşınma dirençleri yönünden kıyaslanırlarsa; kesicinin burun yüzeyinde oluşan aşınma genişlikleri bakımından 220 m/min kesme hızında, MB8025 kodlu kesici 0,1 mm, GBi03 kodlu kesici 0,095 mm, MBC010 kodlu kesici 0,075 mm aşınmıştır.

KBN takımlarla hacimce % 8 Ni(K)Gr parçacıklarla takviyeli kompozitin işlenmesi sonrasında çekilen SEM görüntüleri

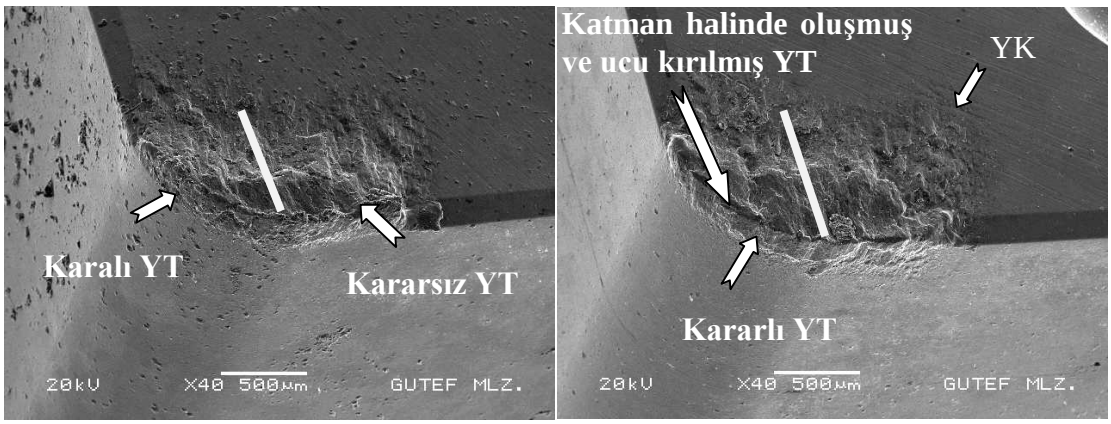
Hacimce % 8 Ni(K)Gr takviyeli kompozitin işleme deneylerinde KBN kesiciler olarak, bir adet kaplamasız KBN (MB8025) kesici takım ve iki adette kaplamalı KBN (GBi03, MBC010) kesici takım kullanılmıştır. Kesicilerle bu MMK malzeme için beş ayrı kesme hızında toplamda 15 adet işleme deneyi gerçekleştirilmiştir. Bu kompozitin işleme deneylerine örnek teşkil eden Resim 7.12 ve Resim 7.13'te 130 ve 220 m/min kesme hızları sonrasında kaplamasız ve kaplamalı KBN kesici takımlara ait SEM görüntüleri sunulmuştur.



(a) (b)

Resim 7.12. Hacimce % 8 Ni(K)Gr takviyeli kompozitin kaplamasız KBN kesici takımla işlenmesi sonrasında çekilen kesici takım SEM fotoğrafları
a) Kesme hızı 130 m/min, b) Kesme hızı 220 m/min

Resim 7.12'de kaplamasız KBN kesici takım ile hacimce % 8 Ni(K)Gr takviyeli kompozitin işlenmesi sonrasında kesici takımda kesme kenarı köşe pahını tamamıyla kapatmış yığıntı talaş oluşumu görülmektedir. Resim 7.12. a ve Resim 7.12. b birbiriyle kıyaslandığında, kesme hızının artmasıyla YT'ın genişlik ve yükseklik bakımından azalma eğiliminde olduğu görülmektedir.



(a) (b)

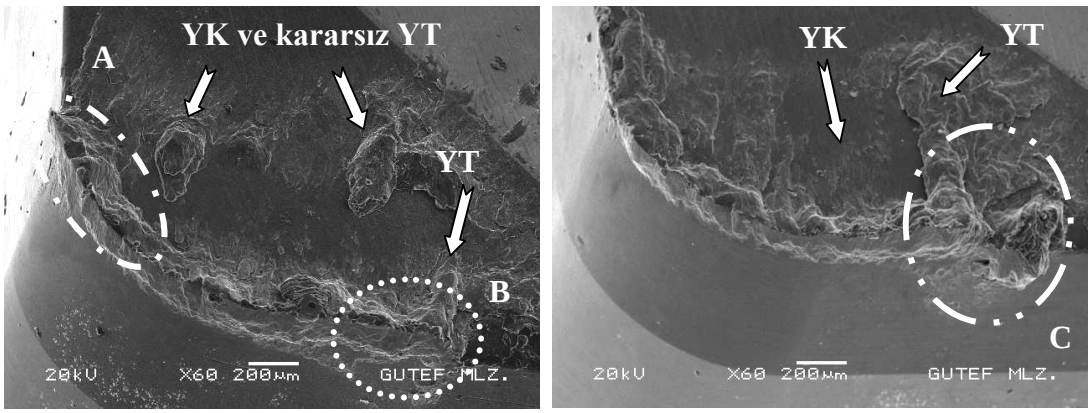
Resim 7.13. Hacimce % 8 Ni(K)Gr takviyeli kompozitin kaplamalı KBN (MBC010) kesici takımla işlenmesi sonrasında kesici takım SEM fotoğrafları
a) Kesme hızı 130 m/min, b) Kesme hızı 220 m/min

Resim 7.12 ve Resim 7.13'ten yığıntı talaşın talaş yüzeyinde yapıştığı alanın genişliğinin, kaplamanın etkisiyle azaldığı anlaşılmaktadır. Resim 7.13. a ve Resim

7.13. b kıyaslandığında, kesme hızının artmasıyla yığıntı talaşın kesici talaş yüzeyinden yüksekliği ve yayılma alanının genişliği artmaktadır. Bu olayın kesme kuvvetlerine artış yönünde yansıyacağı açıktır. KBN kesici takımların Ni(K)Gr takviyeli kompozitin işleme deneylerinde kesilen toplam 3000 mm^3 talaş hacmi sonrasında aşınma izlerine rastlanmamıştır.

KBN takımlarla hacimce % 8 Al_2O_3 parçacıklarla takviyeli kompozitin işlenmesi sonrasında çekilen SEM görüntüleri

Bu kompozitin işleme deneylerine örnek teşkil eden Resim 7.14 ve Resim 7.18 arasında kaplamasız ve kaplamalı KBN kesici takımlara ait SEM görüntüleri sunulmuştur.

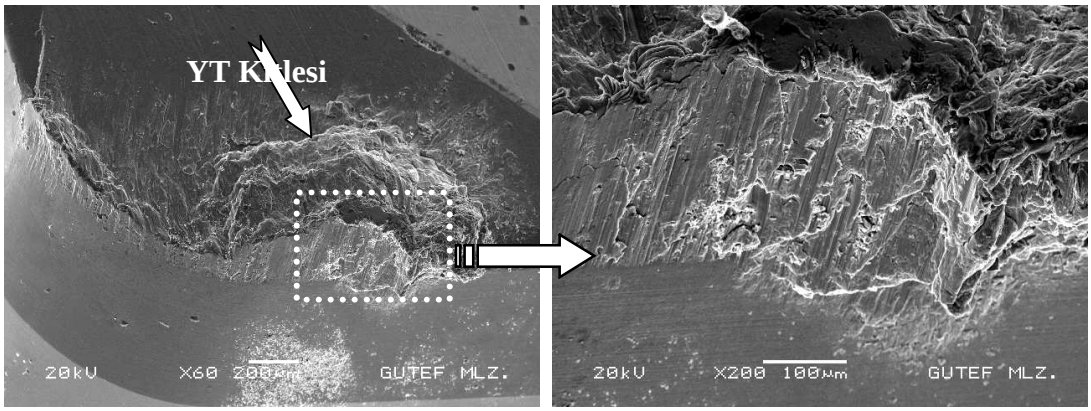


(a) (b)

Resim 7.14. Hacimce % 8 Al_2O_3 takviyeli kompozitin kaplamasız KBN kesici takımla işlenmesi sonrasında çekilen kesici takım SEM fotoğrafları
a) Kesme hızı 130 m/min, b) Kesme hızı 220 m/min

Resim 7.14. a'da 130 m/min'lık düşük kesme hızında işleme deneyi sonrasında kesici takım talaş yüzeyinde ve kesme hattı üzerinde YT oluşumu gözlenmiştir. Özellikle talaş yüzeyinde kısmi YT'ların talaşın akışında bir engel olarak davranacakları ve kesme kuvvetlerinin artmasına neden olacakları aşikârdır. Burada eksen çizgileri ve "A" harfi belirtilmiş kısımda YT'ın kesicinin kesme geometrisini tamamıyla değiştirdiği görülmektedir. Bu değişikliğin kesme kuvvetlerinin ve yüzey pürüzlülüğün değişimine neden olacağı tahmin edilmektedir. Aynı şıkta noktalı çizgi

ve “B” harfi ile belirtilen kısımda da yığıntı talaşların kesici takım kesme hattı yan yüzeyinde de biriktiğini ve zamanla pekleşerek koptuklarını göstermiştir. Resim 7.14. b’de ise kesme hızının arttırılmasıyla YT oluşumunun azaldığı ve kesicinin kesme hattı sonunda YT oluşumunun daha yoğun olduğu tespit edilmiştir. Buradaki yoğunluk Resim 7.14. b’de noktalı ve kesik çizgi ile “C” harfiyle belirtilmiştir. Aynı zamanda bu şıkta yığıntı talaşın formunun Resim 7.14. a’ya kıyasla kesme hattının üzerinde, fakat daha basık olarak gerçekleştiği görülmektedir.

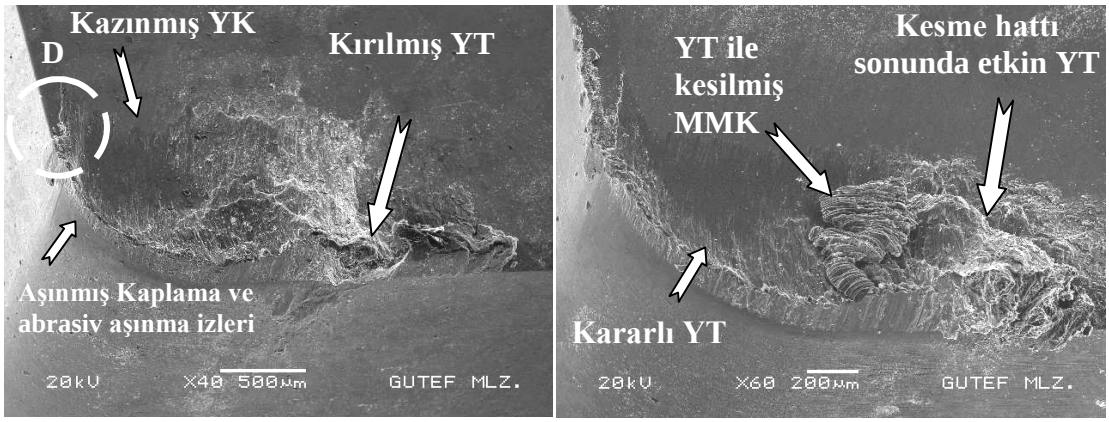


(a) (b)

Resim 7.15. Hacimce % 8 Al_2O_3 takviyeli kompozitin kaplamasız KBN kesici takımla 160 m/min kesme hızında işlenmesi sonrasında çekilen kesici takım SEM fotoğrafları
a) x60 büyütme, b) x200 büyütme

Resim 7.15’te 160 m/min kesme hızında YT’ın kesme hattı sonunda kitle halinde oluştuğu görülmektedir. Aynı zamanda da kesme hattı kenarı ve yanak yüzeyinde daha az olmakla birlikte YT oluşumu görülmektedir. Resim 7.15. b’de taralı alanın büyütülmüş fotoğrafı incelendiğinde, YT’ın kesme hattı sonunda işlenmemiş iş parçası yüzeyine doğru çıkıntı şeklinde oluştuğu görülmektedir. Ayrıca YT kitlesinin adhesiv ve abrasiv aşınma mekanizmaları ile aşındığı görülmektedir. YT kitlesinin kararlı olduğu da söylenebilir.

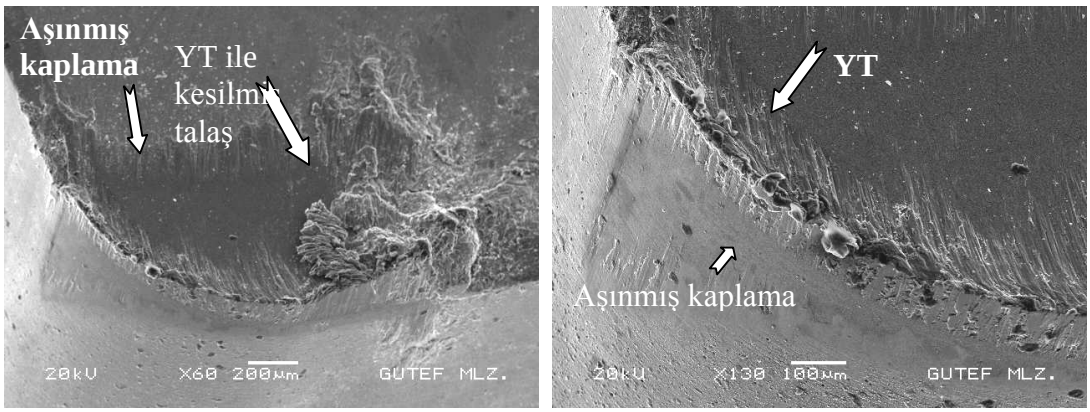
Resim 7.16’da kaplamalı KBN (GBi03) kesici takımın kaplama katmanının her iki kesme hızında da kesici takım talaş yüzeyi ve kesme hattı yan yüzeyinde, matrisin yapışma eğilimine bağlı olarak adhesiv aşınma mekanizması ve Al_2O_3 parçacıklar tarafından da abrasiv aşınma mekanizmasıyla aşındığı görülmektedir.



(a) (b)

Resim 7.16. % 8 Al_2O_3 takviyeli kompozitin kaplamalı KBN GBi03 kodlu kesici takımla işlenmesi sonrasında çekilen kesici takım SEM fotoğrafları
a) Kesme hızı 130 m/min, b) Kesme hızı 220 m/min

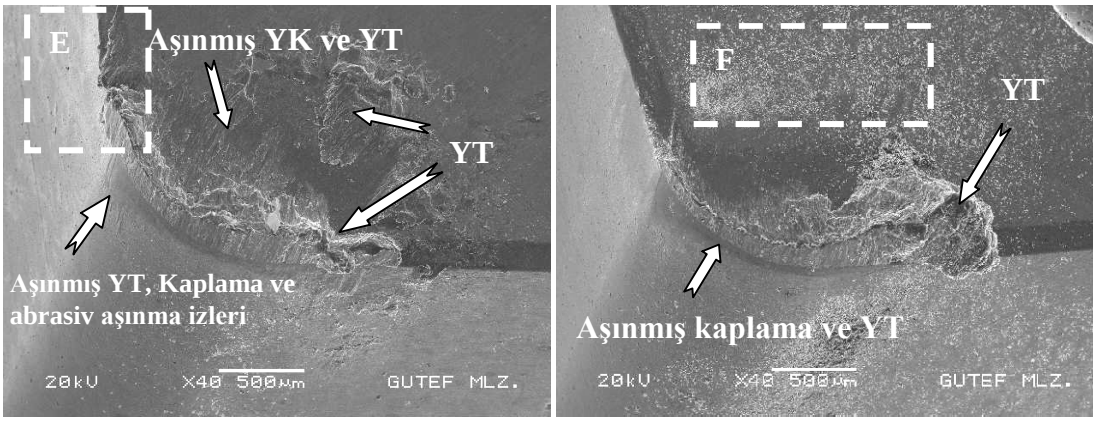
Resim 7.16. a ve Resim 7.16. b kıyaslandığında, aşınma değerlerinin kesme hızının arttırılması ile özellikle kesicinin burun yüzeyinde daha da arttığı tespit edilmiştir. Resim 7.16. a'da "D" harfi ile belirtilen kısımda yer alan YT sürekli değişim gösteren kesme kenarı gibi davranarak, işlenen MMK malzeme yüzeyinin pürüzlülük değerine kötü yönde etkileyecektir. Resim 7.16. b'de yığıntı talaşın kesicinin kesme geometrisini tamamıyla değiştirdiği, kestiği MMK malzemenin varlığıyla bir kez daha anlaşılmıştır.



(a) (b)

Resim 7.17. Hacimce % 8 Al_2O_3 takviyeli kompozitin kaplamalı KBN GBi03 kodlu kesici takımla 190 m/min kesme hızında işlenmesi sonrasında çekilen kesici takım SEM fotoğrafları
a) x60 büyütme, b) x130 büyütme

Resim 7.17. a'da kesici takım üzerinde yer alan kaplama katmanının abrasif aşınma mekanizması ile birlikte adhesiv aşınma mekanizmasıyla aşınmış olabileceği görülmektedir. Yine YT oluşumunun, kesme kenarı hattı boyunca ve kesme hattı sonunda daha fazla oluştuğu görülmüştür. Kesici takım kesme hattı burun bölgesi yan yüzeyinde daha fazla olmakla birlikte kaplama katmanının aşındığı Resim 7.17. b'de tespit edilmiştir. YT'ların kesici takım kesme hattında yer alan köşe pahını tamamen doldurarak, kesicinin kesme geometrisini de değiştirdikleri görülmektedir.



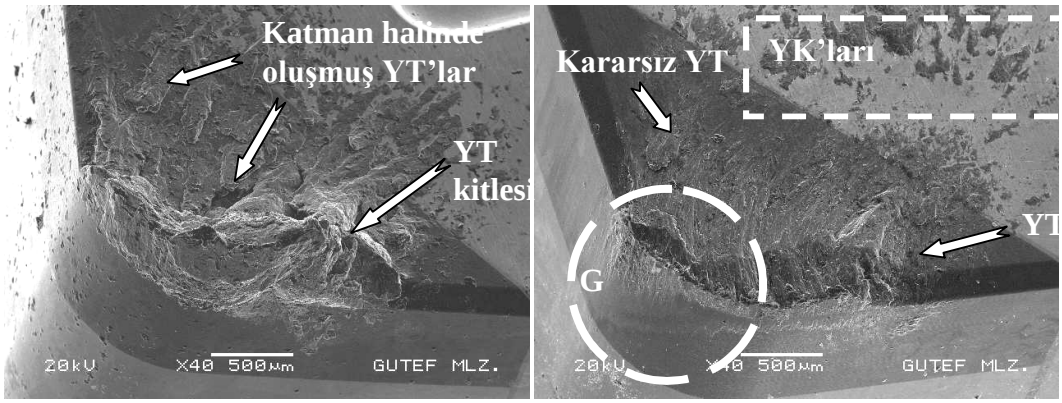
(a) (b)

Resim 7.18. % 8 Al_2O_3 takviyeli kompozitin kaplamalı KBN (MBC010) kesici takımla işlenmesi sonrasında çekilen kesici takım SEM fotoğrafları
a) Kesme hızı 130 m/min, b) Kesme hızı 220 m/min

Resim 7.18'de yine kesme hızının arttırılmasıyla YT oluşumunun daha da azaldığı görülmektedir. Düşük kesme hızlarında yığıntı talaşlarının daha geniş yüzeye yayıldıkları ve kesme hattı üzerinden dışarıya doğru yayılma eğilimi sergiledikleri Resim 7.18. a'da "E" harfi ile belirtilmiş kısımda daha da net anlaşılmaktadır. Yine bu şıkta YT'ların talaş yüzeyinde de katmanlar halinde varlıkları kesilen talaşların ilerlemesine engel olarak kesme kuvvetlerini arttıracakları ve talaşın formunu değiştirecekleri tespit edilmiştir. Resim 7.18. b'de kesme hızının arttırılmasına bağlı olarak MMK yapı içerisindeki takviye elemanlarının kırılarak ya da yapıdan ayrılarak saçıldıkları "F" harfi ile belirtilmiş alanda görülmektedir.

KBN kesici takımlarla hacimce % 4 Al_2O_3 ile birlikte hacimce % 4 Ni(K)Gr parçacıklarla takviyeli kompozitin işlenmesi sonrasında çekilen SEM görüntüleri

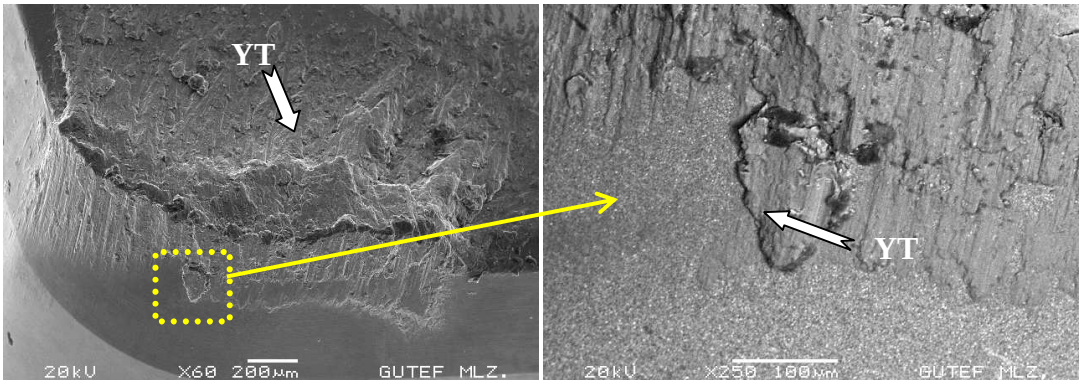
Kesicilerle bu MMK malzeme için beş ayrı kesme hızında toplamda 15 adet işleme deneyi gerçekleştirilmiştir. Bu kompozitin işleme deneylerine örnek teşkil eden Resim 7.19 ve Resim 7.22 arasında kaplamasız ve kaplamalı KBN kesici takımlara ait SEM görüntüleri sunulmuştur.



(a) (b)

Resim 7.19. Karma takviyeli kompozitin kaplamasız KBN (MB8025) kesici takımla işlenmesi sonrasında çekilen kesici takım SEM fotoğrafları
a) Kesme hızı 130 m/min, b) Kesme hızı 220 m/min

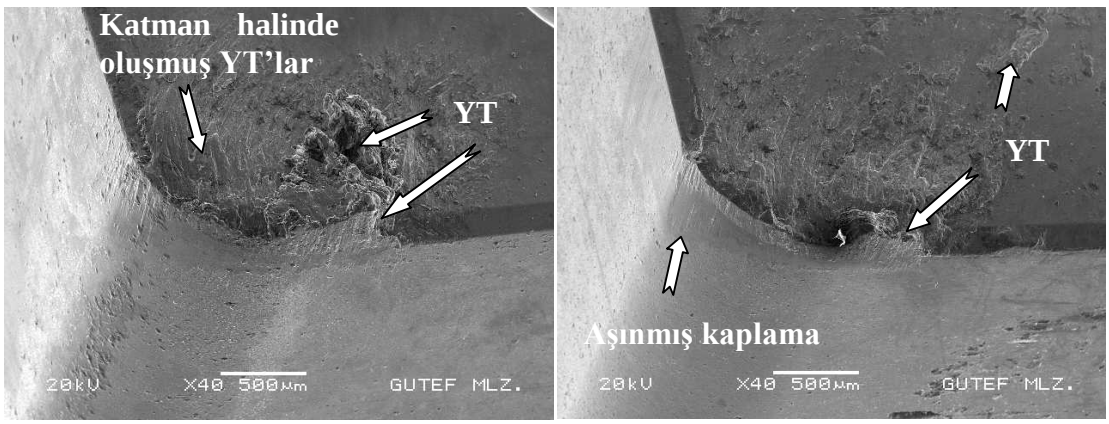
Resim 7.19'da karma takviye elemanlı MMK'in kaplamasız KBN (MB8025) kesici takımla işlenmesinde kesici takım talaş yüzeyinde özellikle düşük kesme hızlarında YT oluşumunun fazla olduğu görülmektedir. YT'ların kesicinin kesme hattı sonunda daha da yoğun olarak oluştukları tespit edilmiştir. Yine kesme hızının arttırılmasıyla YT'ların oluşma eğilimlerinin azaldığı fakat yayılma eğilimlerinde YK'ları halinde arttığı görülmüştür. Resim 7.19. a'da YT'ların katmanlar halinde birbirine yapışarak oluştukları ve böylelikle de YT kalınlığının arttığı tespit edilmiştir. YT'ların kesme hattını koruduklarını da kesme hattı yan yüzeyine sızmış YT'ların varlığıyla izah edilebilir. Özellikle Resim 7.19. b'de "G" harfi ile belirlenmiş alan içerisindeki YT'ların MMK yapı içerisinde yer alan % 4 hacim oranındaki Al_2O_3 parçacıklar tarafından aşındıkları görülmüştür.



(a) (b)

Resim 7.20. Karma takviyeli kompozitin kaplamasız KBN (MB8025) kesici takımla 190 m/min kesme hızında işlenmesi sonrasında çekilen kesici takım SEM fotoğrafları
a) x60 büyütme, b) x250 büyütme

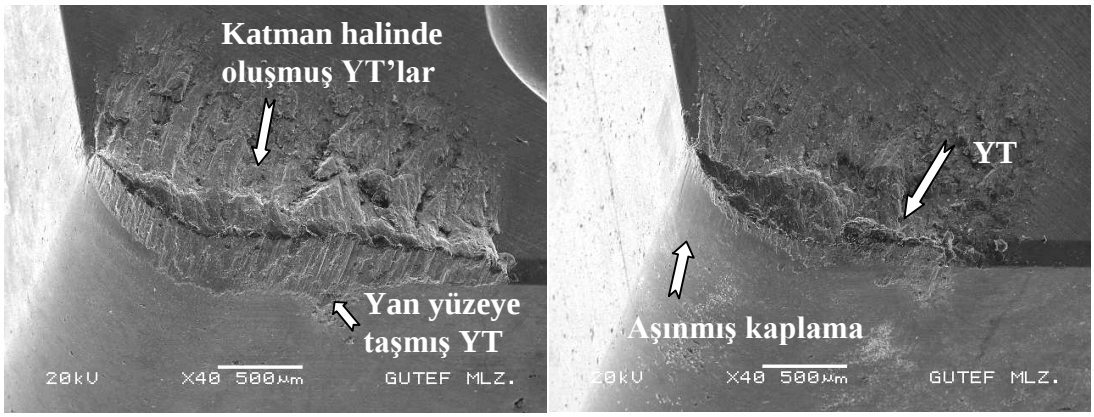
Resim 7.20. a'da 190 m/min kesme hızında yine kesici takım talaş yüzeyinde kesme hattı sonunda daha fazla olmak üzere YT birikimi söz konusudur. Hatta kesme hattı yan kenarı boyunca oluşmuş YT gözlenmektedir. Resim 7.20. b'de kesici takım kesme hattı yan kenarında matris ve grafit takviye elemanının yapıştığı ve zamanla kopma eğiliminde olduğu görülmektedir. Yine bu şıkta yer alan fotoğrafta YT'ların adhesiv aşınma mekanizmasıyla dinamik hareketliliklerine bağlı olarak kesici takıma hasar verecekleri düşünülmektedir. Ayrıca YT'ların kesme hattı ve kenarını korudukları ve abrasiv aşınmaya maruz kaldıkları görülmektedir.



(a) (b)

Resim 7.21. Karma takviyeli kompozitin kaplamalı KBN (GBi03) kesici takımla işlenmesi sonrasında çekilen kesici takım SEM fotoğrafları
a) Kesme hızı 130 m/min, b) Kesme hızı 220 m/min

Resim 7.21'de kaplamalı GBi03 kodlu KBN kesici takımın kaplama katmanının özellikle Resim 7.21. b şıkkındaki 220 m/min kesme hızında aşındığı görülmektedir. YT'lar yine kesme hattı sonunda daha yoğun olarak gözlenmektedir. Kesme hızının artmasına bağlı olarak YT katmanlarının yayılma eğiliminde oldukları Resim 7.21. b'de tespit edilmiştir.



(a) (b)

Resim 7.22. Karma takviyeli kompozitin kaplamalı KBN (MBC010) kesici takımla işlenmesi sonrasında çekilen kesici takım SEM fotoğrafları
a) Kesme hızı 130 m/min, b) Kesme hızı 220 m/min

Resim 7.22'de de yine düşük kesme hızında katman kalınlığı daha fazla YT'ların kesme hattı ve talaş yüzeyinde oluştukları görülmektedir. Resim 7.22. a ve Resim 7.22. b'de yine YT'ların kesme kenarı yan yüzeyine nüfuz ederek bu yüzeyi koruyucu etki sergilediği tespit edilmiştir. Yüksek kesme hızında bu eğilim azalmıştır.

Üretilen MMK malzemelerin kübik bor nitrür kesici takımlarla işlenmesi ile ilgili genel değerlendirme

KBN kesici takımlarla üretilen MMK malzemelerin işleme deneyleri sonrasında aşınma grafikleri ve SEM fotoğraflarında gerçekleştirilen incelemeler, KBN kesici takımların YT oluşumuna maruz kaldıklarını ve aşınma dirençlerine bağlı olarak çok az aşındıkları tespit edilmiştir. Özellikle hacimce % 8 Al_2O_3 parçacık takviyeli MMK'in işleme deneylerinde, diğer MMK malzemelere kıyasla bir miktar fazla

aşındıkları tespit edilmiştir. Bu kompozit ile karma takviyeli kompozitin işleme deneylerinde kaplanmış KBN kesicilerin kaplama katmanlarının aşındığı anlaşılmıştır. Kaplama katmanının izler halinde aşınması YK ve YT oluşumuna katkıda bulunmuştur. Kaplamasız KBN MB8025 kodlu kesici takımda ise aşınma direnci fazla olan çok kristalli KBN ana yapının, talaş yüzeyi ve kesme hattının honlanmış olması YK ve YT oluşumunu azaltmıştır. KBN kesicilerde kaplama uygulamasının dikkate değer bir katkı sağlamadığı ve hatta abrasiv aşınma mekanizmasıyla kaplamanın aşındığı tespit edilmiştir. Kaplamanın üzerinde Al_2O_3 parçacıklar tarafından oluşan aşınma izlerinin YT oluşumuna katkıda bulunduğu tespit edilmiştir. Al_2O_3 parçacıklarının yüzde hacim oranının azalmasıyla MMK malzemenin işlenme özelliği iyileşmiştir. Bu durum kaplama katmanında ve kesici takımların kesme hattı yan yüzeylerinde oluşan aşınma değerlerinin azalmasıyla izah edilebilir. Yüksek kesme hızlarında dahi YT'ın KBN kesici takımların kesme geometrisini değiştirdiği yapılan SEM incelemelerinden anlaşılmaktadır. Ayrıca kesme hızının arttırılmasıyla yapı içerisindeki takviye elemanlarının kesilen talaş ya da yüzeylerden ayrılarak etrafa dağıldıkları görülmüştür. MBC010 kodlu KBN kesici takımın diğer KBN kesici takımlara kıyasla aşınma direnci bakımından daha iyi özellikte olduğu tespit edilmiştir.

7.4.2. Kesme kuvvetlerinin değerlendirilmesi

Kesme kuvvetlerinin ölçümü, üç yönde aynı anda kuvvet ölçebilen dinamometre yardımıyla, MMK parçaları salgısız olarak tezgah aynasına bağlanmasında kullanılan özel bir punta kullanılarak iki punta arasında BSD torna tezgahında yapılmıştır. MMK malzemeler iki punta arasında tezgaha bağlandıktan sonra, deneylerde kullanılmayan KBN kesici uç ile az bir kesme derinliğinde yüzeylerinden işlenerek dönme salgıları alınmıştır. Her ölçüm için yeni kesici takım kullanılmıştır. Deneyler sonrasında elde edilen kuvvet değerleri Çizelge 7.6 ile Çizelge 7.8 arasında sunulmuştur. Çizelgelerdeki değerlerin daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla da Şekil 7.15'ten Şekil 7.41'e kadar kesme kuvveti bileşenlerinin farklı şekillerde gruplanmış olarak grafikleri sunulmuştur. Ayrıca Resim 7.23 ile Resim 7.28 arasında da talaş kökü resimleri sunulmuştur.

Çizelge 7.6. KBN kesici takımlar için kesme kuvveti sonuçları

Kesici Takım özellikleri ve ISO Uç Kodu	Malzeme	İlerleme hızı (f), mm/rev	Kesme derinliği (a), mm	Kesme hızı (V), m/min	İlerleme kuvveti (Ff), N	Radyal kuvvet (Fr), N	Esas kesme kuvveti (Fc), N
Kaplamasız KBN SNGA120408 MB8025	Karma Takviyeli, % 4 Al_2O_3 % 4 Ni(K)Gr	0,15	1,00	100	93,65	86,99	174,48
				130	97,60	85,04	168,16
				160	97,65	86,59	166,05
				190	98,76	82,48	167,44
				220	113,15	110,89	191,27
Kaplamasız KBN SNGA120408 MB8025	% 8 Al_2O_3	0,15	1,00	100	140,44	132,99	218,6
				130	138,87	128,47	213,04
				160	131,58	121,44	207,32
				190	119,3	107,26	196,77
				220	117,25	106,75	195,05
Kaplamasız KBN SNGA120408 MB8025	% 8 Ni(K)Gr	0,15	1,00	100	61,89	55,72	144,29
				130	68,15	59,47	139,08
				160	68,09	62,46	144,35
				190	86,43	80,64	154,14
				220	80,77	75,64	152,48
Kaplamalı KBN SNGA120408 GBi03	Karma Takviyeli, % 4 Al_2O_3 % 4 Ni(K)Gr	0,15	1,00	100	95,30	85,91	176,36
				130	99,55	86,42	168,79
				160	97,24	85,75	166,84
				190	98,76	85,74	165,36
				220	113,90	106,34	189,42
Kaplamalı KBN SNGA120408 GBi03	% 8 Al_2O_3	0,15	1,00	100	151,90	142,32	229,26
				130	144,60	131,23	218,42
				160	136,68	123,34	213,92
				190	126,81	114,88	204,50
				220	121,20	107,33	199,00
Kaplamalı KBN SNGA120408 GBi03	% 8 Ni(K)Gr	0,15	1,00	100	65,55	54,52	144,94
				130	62,29	53,2	135,25
				160	72,92	65,5	146,08
				190	74,78	67,76	149,07
				220	83,29	74,61	154,53
Kaplamalı KBN SNGA120408 MBC010	Karma Takviyeli, % 4 Al_2O_3 % 4 Ni(K)Gr	0,15	1,00	100	96,77	87,24	178,66
				130	97,87	84,09	167,28
				160	94,37	84,90	169,72
				190	104,90	97,07	172,01
				220	104,58	97,02	178,23
Kaplamalı KBN SNGA120408 MBC010	% 8 Al_2O_3	0,15	1,00	100	156,62	145,47	236,27
				130	151,48	137,52	225,89
				160	136,92	124,99	214,08
				190	128,79	114,80	206,73
				220	121,25	110,07	200,63
Kaplamalı KBN SNGA120408 MBC010	% 8 Ni(K)Gr	0,15	1,00	100	61,50	53,53	142,65
				130	68,68	58,21	135,97
				160	68,66	62,03	144,01
				190	80,20	70,75	148,32
				220	84,41	75,54	154,63

Çizelge 7.7. SK kesici takımlar için kesme kuvveti sonuçları

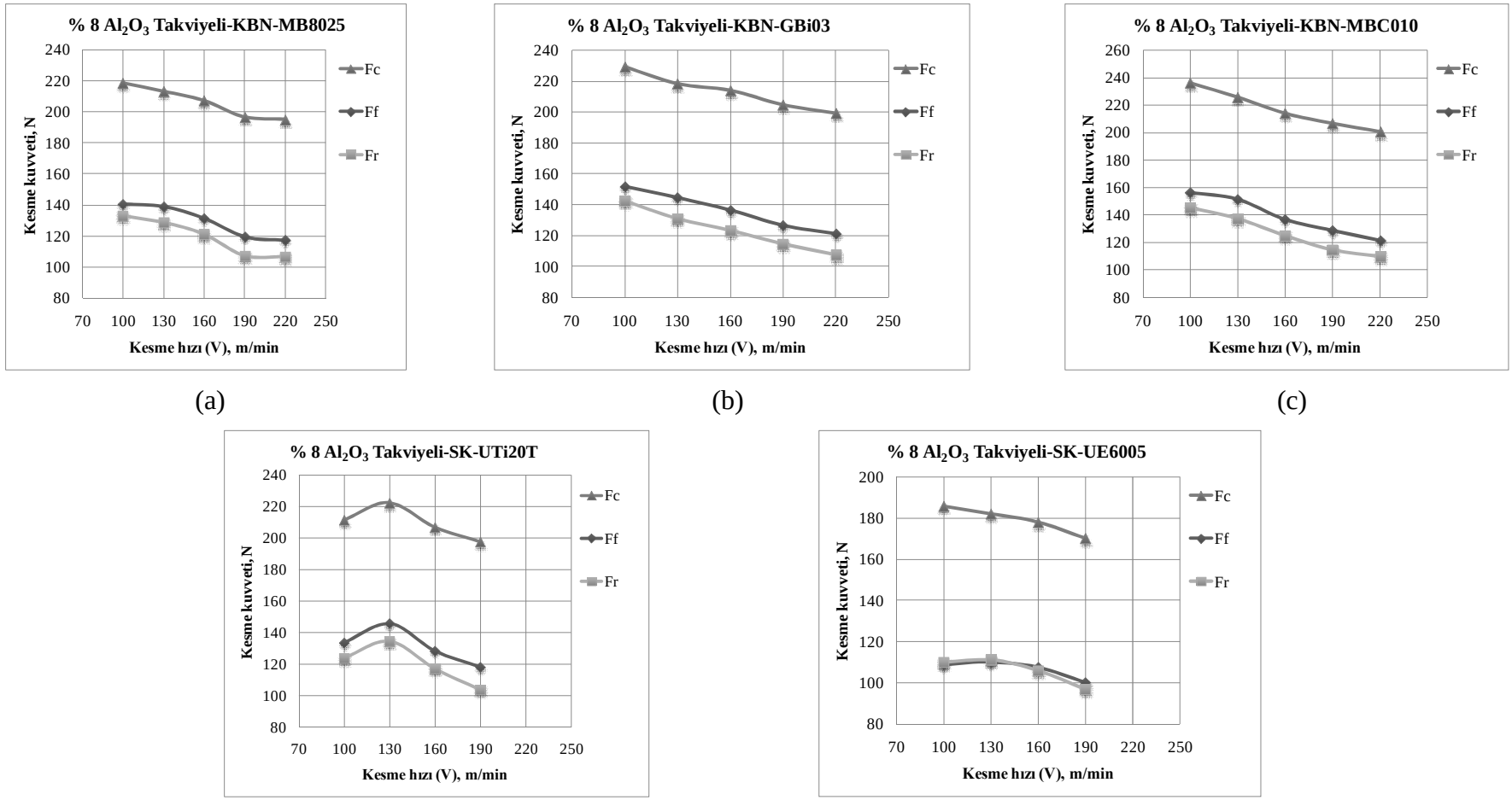
Kesici Takım özellikleri ve ISO uç Kodu	Malzeme	İlerleme hızı (f), mm/rev	Kesme derinliği (a), mm	Kesme hızı (V), m/min	İlerleme kuvveti (Ff), N	Radyal kuvvet (Fr), N	Esas kesme kuvveti (Fc), N
Kaplanmış S. Karbür SNMA120408 UE6005-K20	% 8 Al_2O_3	0,15	1,00	100	108,99	110,17	185,56
				130	110,17	111,16	181,95
				160	107,53	106,08	178,15
				190	100,12	97,12	170,18
Kaplanmış S. Karbür SNMA120408 UE6005-K20	% 8 Ni(K)Gr	0,15	1,00	100	55,86	47,91	125,08
				130	68,96	58,68	138,22
				160	70,01	59,11	135,95
				190	83,75	74,28	152,60
Kaplanmış S. Karbür SNMA120408 UE6005-K20	Karma Takviyeli, % 4 Al_2O_3 % 4 Ni(K)Gr	0,15	1,00	100	67,54	54,92	151,20
				130	92,15	81,64	163,19
				160	88,45	76,50	158,75
				190	90,95	79,92	157,37
Kaplamasız S. Karbür SNMA120408 UTİ20T-K20	% 8 Al_2O_3	0,15	1,00	100	133,67	123,99	211,50
				130	145,69	134,61	222,18
				160	128,51	117,15	206,98
				190	118,4	103,71	197,79
Kaplamasız S. Karbür SNMA120408 UTİ20T-K20	% 8 Ni(K)Gr	0,15	1,00	100	61,33	51,58	133,03
				130	58,38	48,93	125,79
				160	62,48	54,22	131,15
				190	71,75	62,83	137,36
Kaplamasız S. Karbür SNMA120408 UTİ20T-K20	Karma Takviyeli, % 4 Al_2O_3 % 4 Ni(K)Gr	0,15	1,00	100	83,33	72,40	157,86
				130	85,34	79,84	160,63
				160	96,78	86,47	169,58
				190	106,75	98,14	177,60

Çizelge 7.8. AA-6082 matris malzemesi için kesme kuvveti sonuçları

Kesici Takım özellikleri ve ISO Uç Kodu	Malzeme	İlerleme hızı (f), mm/rev	Kesme derinliği (a), mm	Kesme hızı (V), m/min	İlerleme kuvveti (Ff), N	Radyal kuvvet (Fr), N	Esas kesme kuvveti (Fc), N
Kaplamasız S. Karbür SNMA120408 UTİ20T-K20	% 100 AA-6082	0,15	1,00	100	147,41	167,97	248,04
				130	275,98	229,29	331,22
				160	252,82	210,11	302,35
				190	229,59	187,7	277,74
Kaplamasız KBN SNGA120408 MB8025	% 100 AA-6082	0,15	1,00	100	167,69	189,63	277,69
				130	276,05	248,37	338,56
				160	269,09	231,65	321,75
				190	243,21	200,82	298,96

Hacimce % 8 Al_2O_3 parçacık takviyeli MMK malzemenin işlenmesinde ölçülen kesme kuvveti bileşenleri, kesici takım SEM fotoğrafları ve talaş kökü incelemeleri

Kesme kuvvetleri, deneyler sonucunda DynoWare yazılımından elde edilen kuvvet bileşenleri Ff, Fr, Fc sırasıyla ilerleme kuvveti (Ff), radyal (pasif) kuvvet (Fr), esas kesme kuvveti (Fc) olarak değerlendirilmiştir.

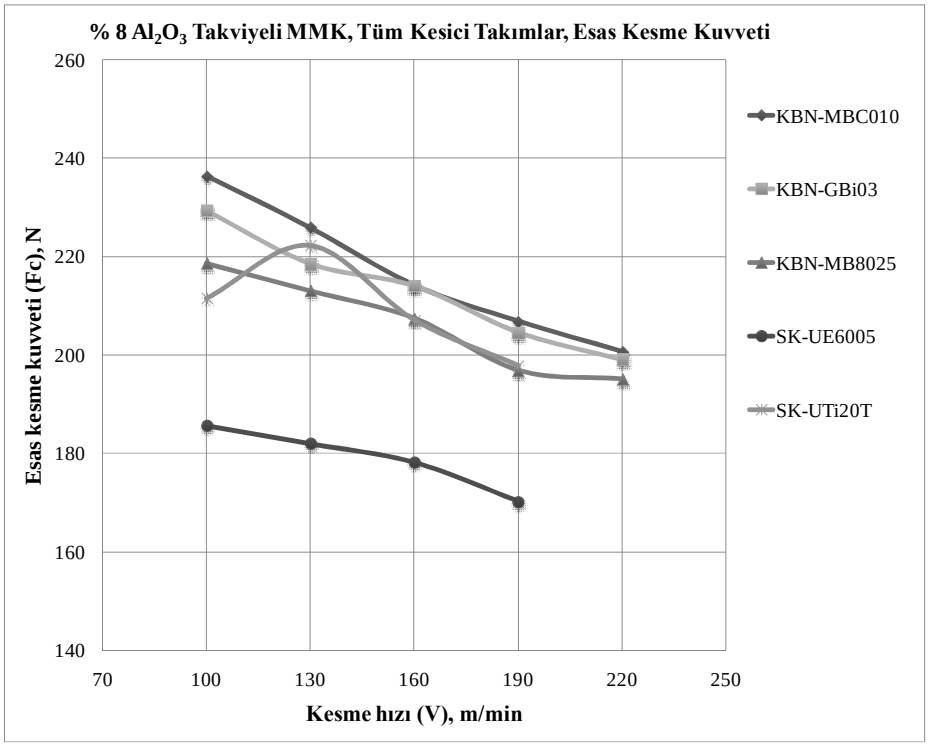


Şekil 7.15. Hacimce % 8 Al_2O_3 takviyeli kompozitin işlenmesinde ölçülen kesme hızına göre kuvvet bileşenleri
a) Kaplamasız KBN MB8025, b) Kaplamalı KBN GBi03, c) Kaplamalı KBN MBC010, d) Kaplamasız SK, e) Kaplamalı SK

Şekil 7.15'te hacimce % 8 Al_2O_3 takviyeli kompozitin, farklı kesici takımlarla işlenmesi esnasında ölçülen kuvvet bileşenlerinin, kesme hızına bağlı değişimi verilmiştir. Grafikler incelendiğinde; kompozitlerin işlenmesinde Ff ile Fr'nin birbirine yakın ve Fc'ye göre daha düşük değerlerde oluştukları görülmektedir. Diğer yandan, kuvvet bileşenleri değerlerinin genel eğiliminin literatürle uyuşması da deneylerin sağlıklı bir şekilde yapıldığını göstermektedir. Şekil 7.15. a, b ve c'de yer alan KBN kesici takımlar ile yapılan işleme deneylerinde, ilerleme kuvveti tüm kesme hızı değerlerinde, radyal kuvvete kıyasla 8~10 N daha fazla değerde ölçülmüştür. Şekil 7.15. d ve Şekil 7.15. e'de kaplamasız ve kaplamalı sementit karbür kesicilerle yapılan işleme deneyleri sonucunda, kaplamasız sementit karbür kesiciler için KBN kesici takımlara benzer olarak, ilerleme kuvvetinin pasif kuvvetten 8 ~ 10 N kadar yüksek değerde ölçüldüğü görülmektedir. Kaplamalı sementit karbür kesici ise kesme hızının 160 m/min'dan düşük olan deneylerde, pasif kuvvetin ilerleme kuvvetinden 2 ~ 3 N daha yüksek değerde seyrettiği tespit edilmiştir. SK kesici takımlar birbirleri ile kıyaslandığında, düşük kesme hızlarında yapılan deneylerde UTi20T kaplamasız SK kesicide, yığıntı talaş oluşumu ve aşınma direncine bağlı olarak, UE6005 kaplamalı SK kesiciden daha yüksek değerlerde kuvvetler elde edilmiştir. Hatta UTi20T kaplamasız sementit karbür kesici takım, 130 m/min kesme hızında en yüksek değere çıkmıştır. Şekil 7.15 dikkatlice incelenecek olursa, KBN kesici takımlar ile işleme sonrasında ölçülen kesme kuvvetleri, SK kesici takımlara kıyasla, tüm kesme hızlarında daha yüksek değerlerde ölçülmüştür. Bunun nedeni KBN kesici takımların kesme hattı kenarı boyunca 0,13 mm genişlik ve negatif yönde 25° açıda yer alan köşe pahının olmasına bağlanmıştır. Genel olarak grafiklerdeki kuvvet seyri değerlendirildiğinde, kesme hızının artmasıyla kesme kuvvetlerinin düştüğü görülmektedir. Bunun nedeni olarak, kesme hızının artmasıyla kesme bölgesinde oluşan sıcaklığın artmasıyla talaş oluşumunun kolaylaşması ve dolayısıyla takım-talaş arayüzey sürtünmesinin azalması gösterilebilir.

Kesici takımların takım ömürlerini en fazla etkileyen ve talaş kaldırmada kesme gücü tüketiminde en büyük öneme esas kesme kuvvetinin sahip olduğu bilinmektedir.

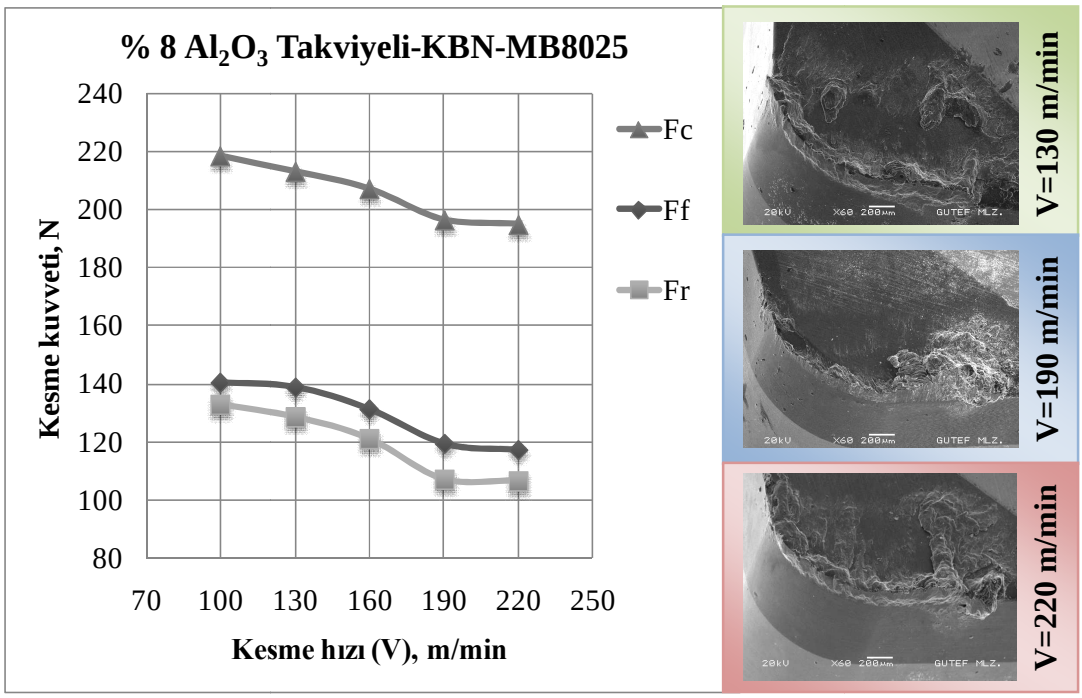
Buna bağlı olarak, Şekil 7.16'da % 8 Al_2O_3 takviyeli MMK'in işlenmesinde ölçülen Fc kuvvetlerinin değişimi tüm kesici takımları kapsayacak şekilde sunulmuştur.



Şekil 7.16. Hacimce % 8 Al_2O_3 takviyeli kompozitin işlenmesinde ölçülen esas kesme kuvvetinin kesme hızına göre değişimi

Şekil 7.16'da işleme deneylerinde kullanılan tüm kesme hızlarında en düşük esas kesme kuvveti (Fc) değerleri kaplamalı sementit karbür UE6005 kodlu kesicide ölçülmüştür. Kesme hızının arttırılmasıyla Fc değerleri, kaplamasız sementit karbür UTi20T kodlu kesicinin 130 m/min kesme hızında yapılan kesme deneyi haricinde düşüş eğilimindedir. Kaplamasız KBN MB8025 kodlu kesici ile gerçekleştirilen işleme deneylerinde diğer KBN kesicilere kıyasla esas kesme kuvveti değerleri daha düşüktür. Yine UTi20T kodlu sementit karbür kesici takım, % 8 Al_2O_3 takviyeli kompozitin işleme deneylerinde kesici takım formuna bağlı en kötü performansı sergilemiştir. Bu kötü performansın nedeni kesici takımın aşınma direnci ve kararlı yığıntı talaş oluşumuna bağlı değişen kesme geometrisinin, esas kesme kuvveti değerlerini yükseltmesine ve KBN kesicilere yakın değerde oluşmasına neden olmuştur.

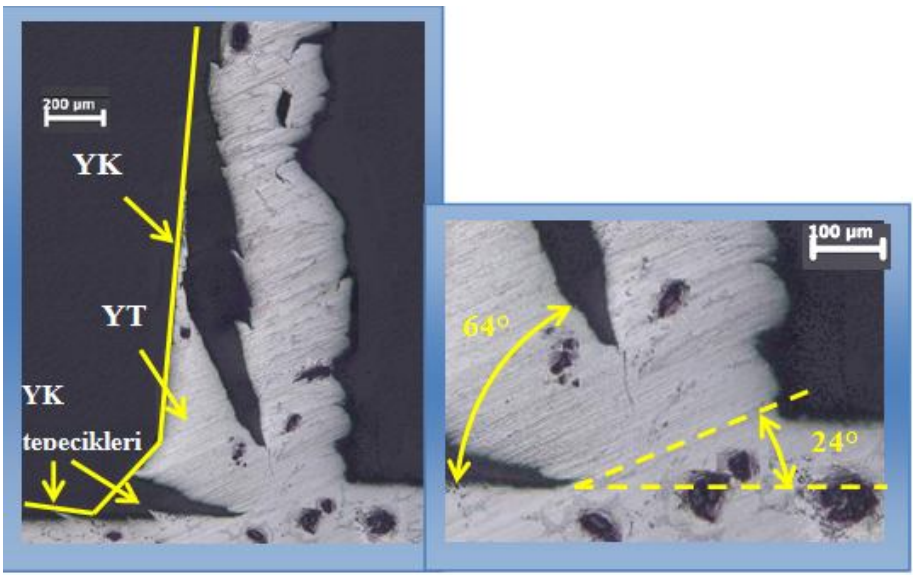
Şekil 7.17'de hacimce % 8 Al_2O_3 takviyeli kompozitin kaplamasız MB8025 kodlu KBN kesici takımla işlenmesi esnasında ölçülen kesme kuvveti bileşenleri ve kesici takım SEM fotoğrafları gösterilmiştir.



Şekil 7.17. Hacimce % 8 Al_2O_3 takviyeli kompozitin kaplamasız MB8025 kodlu KBN kesici takımla işlenmesinde ölçülen kesme kuvveti bileşenleri ve kesici takım SEM fotoğrafları

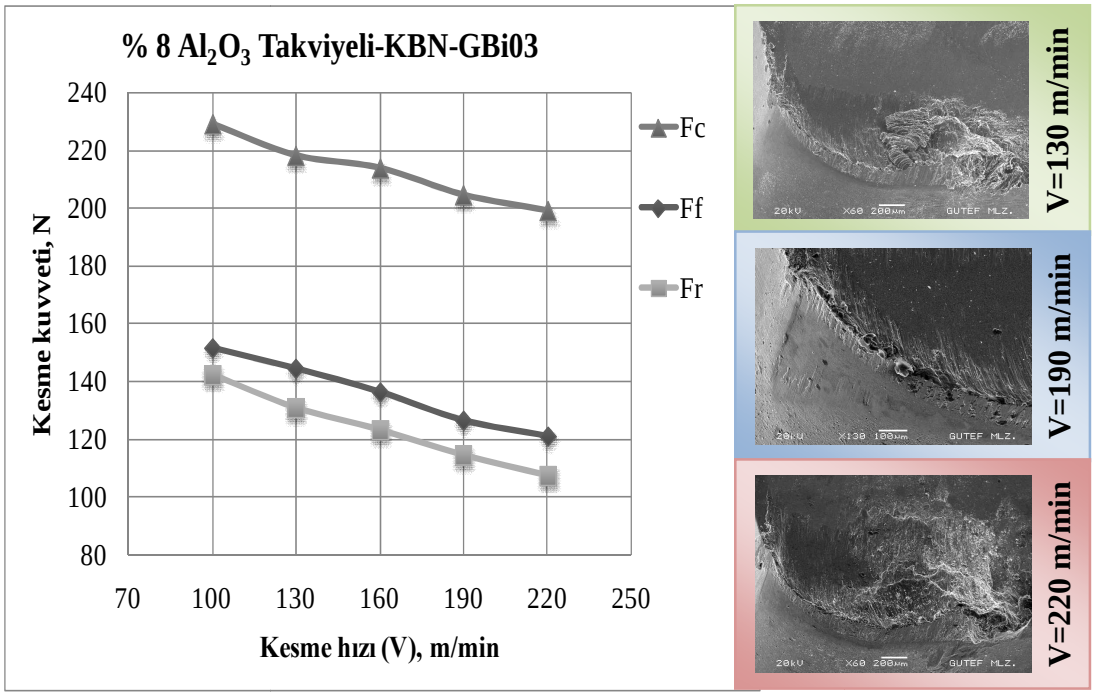
Şekil 7.17'de kesme kuvveti bileşenlerinin kesme hızının artmasıyla genel eğilimlerinin düşüş yönünde olduğu görülmektedir. Esas kesme kuvvetinin değeri, kesme hızının 100 m/min dan 220 m/min hızına çıkarılmasıyla % 7 oranında iyileşme sağlanmıştır. Şekil 7.17'de yer alan kesici takım SEM fotoğrafları incelendiğinde, YT'ların formunun talaşın akışına engel olacak tarzda ve kesici takımın kesme hattı sonunda daha yoğun olmakla birlikte, kesme hattını tamamıyla kapatarak oluştukları görülmektedir. Aynı zamanda MMK malzeme içerisinde yer alan aşındırıcı Al_2O_3 parçacıklar tarafından YT'ın aşındığı ve içbükey tarzda kesme hattından başlayarak oluştuğu görülmektedir. YT'ın formu itibarı ile kesicinin kesme geometrisini pozitif talaş açılı takıma benzer değiştirmesi kesme kuvvetlerinin azalmasına neden olmaktadır.

Resim 7.23'te 70 m/min kesme hızında talaş kökü alma cihazı ile hacimce % 8 Al_2O_3 takviyeli kompozitin kaplamasız MB8025 kodlu KBN kesici takımla işlenmesi esnasında alınmış talaş kökü morfolojisi sunulmuştur.



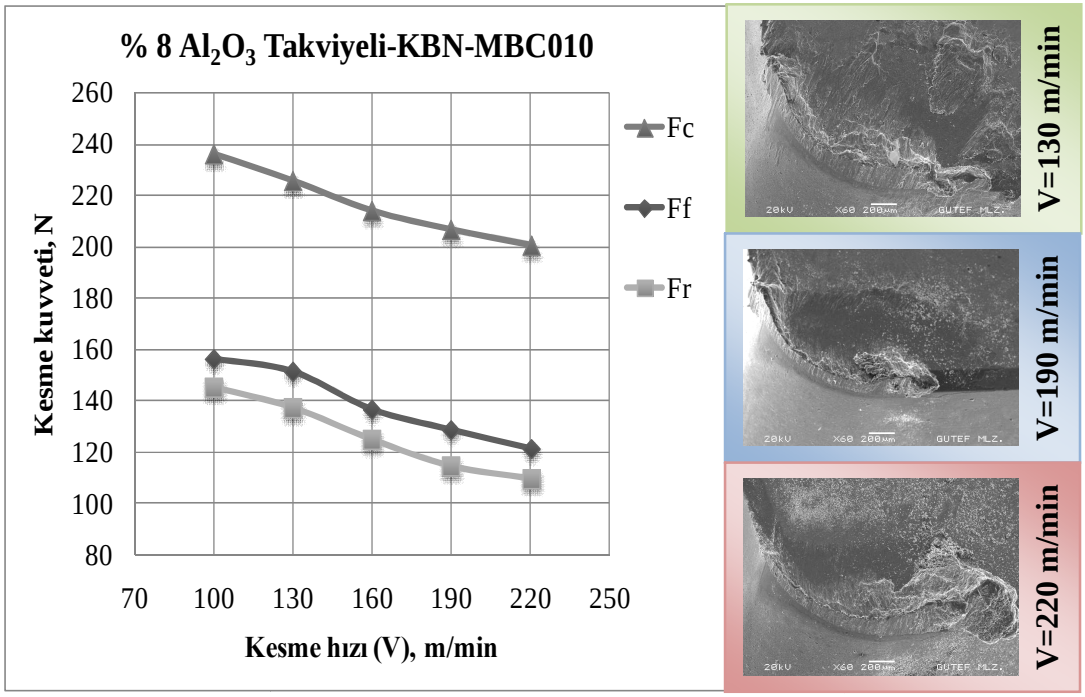
Resim 7.23. Kaplamasız MB8025 kodlu KBN kesici takım ile 70 m/min kesme hızında hacimce % 8 Al_2O_3 takviyeli kompozitten alınan talaş kökü

Resim 7.23'te MMK malzemenin kaplamasız MB8025 kodlu KBN kesici takımla işlenmesi esnasında, talaş kökü alma cihazı ile alınan talaş kökünün, optik mikroskopta farklı büyütme mercekleri ile çekilmiş fotoğrafları yer almaktadır. YT'ın takım talaş yüzeyine yapışarak takımın kesme geometrisini uç kısmında eksi 25° ve takım talaş yüzeyinde ise eksi 6°'den, pozitif 26°'ye değiştirdiği görülmektedir. MMK malzeme yüzeyinde YT tepeciklerinin oluştuğu da tespit edilmiştir. Bu yığıntı talaş tepecikleri işlenen MMK malzemenin yüzey pürüzlülüğünü, kötü yönde etkileyecektir. Benzer durum bazı araştırmacılar tarafından da belirtilmiştir [49,73]. Resim 7.23'te birinci deformasyon bölgesinde kayma düzlemi açısının 24° olduğu yapılan ölçümler sonrasında tespit edilmiştir.



Şekil 7.18. Hacimce % 8 Al_2O_3 takviyeli kompozitin kaplamalı GBi03 kodlu KBN kesici takımla işlenmesinde ölçülen kesme kuvveti bileşenleri ve kesici takım SEM fotoğrafları

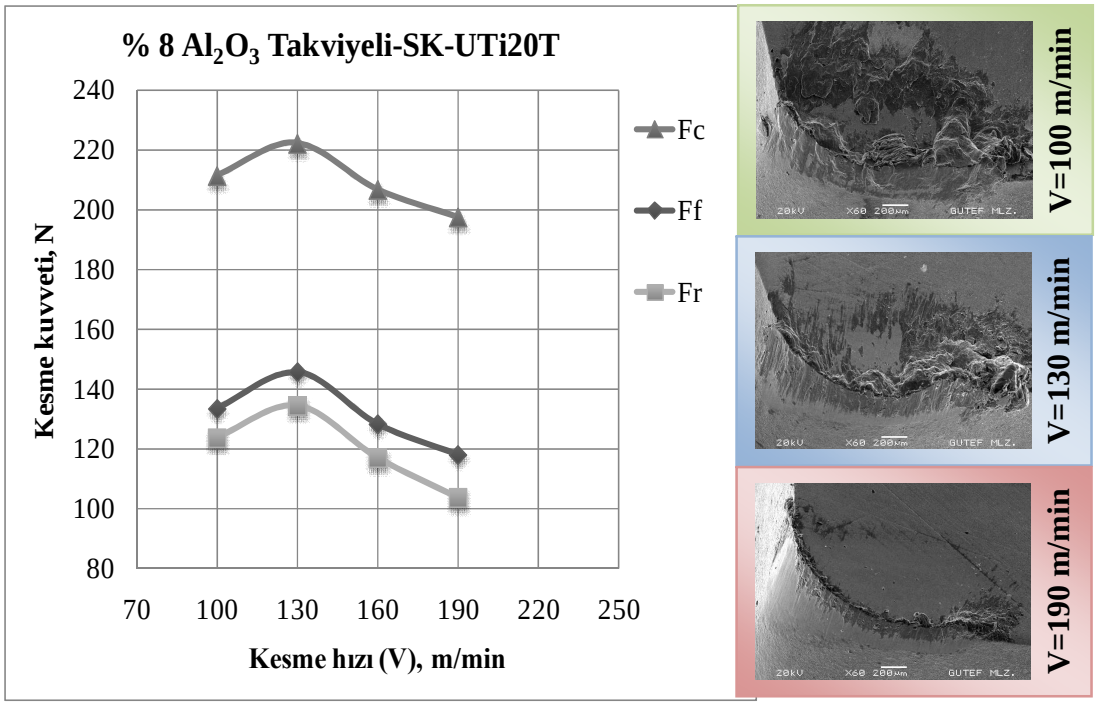
Kaplamalı KBN kesici takım ile hacimce % 8 Al_2O_3 takviyeli kompozitin işlenmesi esnasında ölçülen kesme kuvveti bileşenlerinin yine kaplamasız KBN kesici takımda olduğu gibi kesme hızının artmasıyla azaldığı Şekil 7.18'de görülmektedir. Grafiğin yan tarafında yer alan SEM ile çekilmiş fotoğraflardan kesme hızının artmasıyla YT'ın azaldığı görülmektedir. Şekil 7.18'de yer alan kesme kuvveti bileşenlerine ait değer grafiği Şekil 7.17'deki kaplamasız KBN kesici takımla kıyaslandığında tüm kesme kuvveti bileşenlerinin kaplamasız takımla işleme esnasında ölçülen kuvvet bileşeni değerlerine göre 4 ~ 8 N daha yüksek değerde ölçülmüştür. Şekil 7.18'de kullanılan KBN takımın üzerindeki kaplama katmanının MMK yapı içerisinde ortalama 42 µm boyutundaki parçacıklar tarafından abrasiv aşınmaya maruz kaldığı SEM incelemelerinde tespit edilmiştir. Aşınan bu kaplama katmanı üzerinde yer alan aşınma izleri YT'ın tutunma yüzeyini arttırarak oluşumunu hızlandırmakta ve YT-talaş temasının daha uzun sürmesine neden olmaktadır. Bu sebeple aynı geometrideki iki KBN kesici takım ile birbirine kıyasla aynı malzemenin işlenmesinde farklı kesme kuvveti bileşenleri ölçülmüştür.



Şekil 7.19. Hacimce % 8 Al_2O_3 takviyeli kompozitin kaplamalı MBC010 kodlu KBN kesici takımla işlenmesinde ölçülen kesme kuvveti bileşenleri ve kesici takım SEM fotoğrafları

Kaplamalı MBC010 kodlu KBN kesici takımla hacimce % 8 Al_2O_3 takviyeli kompozitin işlenmesi esnasında ölçülen kesme kuvveti bileşenleri yine diğer KBN kesici takımlarda olduğu gibi kesme hızının artmasına karşılık düşme eğilimindedir. Şekil 7.19'da sunulan SEM ile çekilmiş fotoğraflardan kesme hızının artmasına bağlı olarak YT oluşumunun genişlik ve kalınlık itibari ile azalmakta olduğu anlaşılmıştır. Bu durum kesme kuvveti bileşenlerinin kesme hızının artmasıyla düşüş eğilimini kısmen açıklamaktadır. Kaplamalı KBN MBC010 ve GBi03 kodlu kesici takımlarla, hacimce % 8 Al_2O_3 takviyeli kompozitin işlenmesi esnasında ölçülen kesme kuvveti bileşenleri birbirine yakın değerlerde ölçülmüştür.

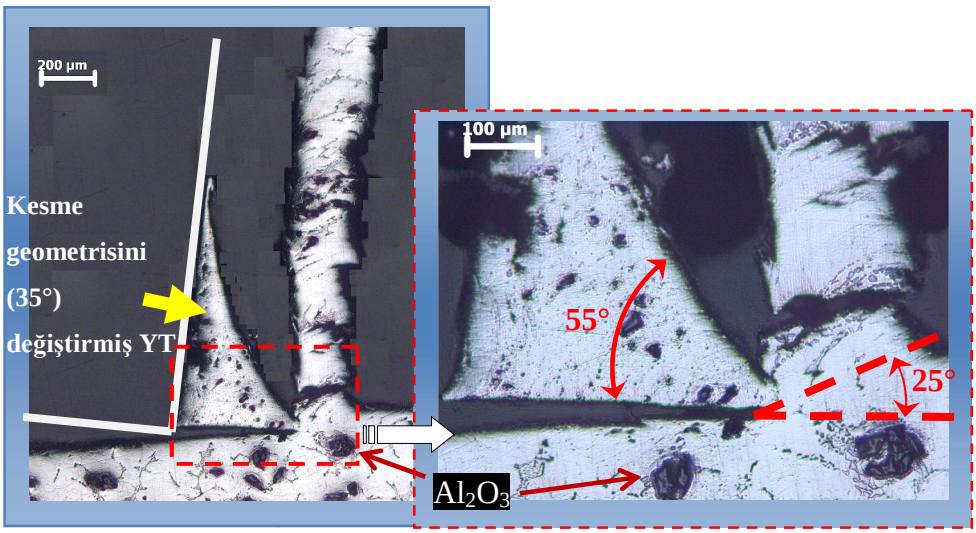
Hacimce % 8 Al_2O_3 takviyeli kompozitin kaplamasız UTi20T kodlu SK kesici takımla işlenmesi esnasında ölçülen kesme kuvveti bileşenlerinin değer grafiği ve kesici takıma ait üç boyutlu SEM görüntüleri Şekil 7.20'de sunulmuştur.



Şekil 7.20. Hacimce % 8 Al_2O_3 takviyeli kompozitin kaplamasız UTi20T kodlu SK kesici takımla işlenmesinde ölçülen kesme kuvveti bileşenleri ve kesici takım SEM fotoğrafları

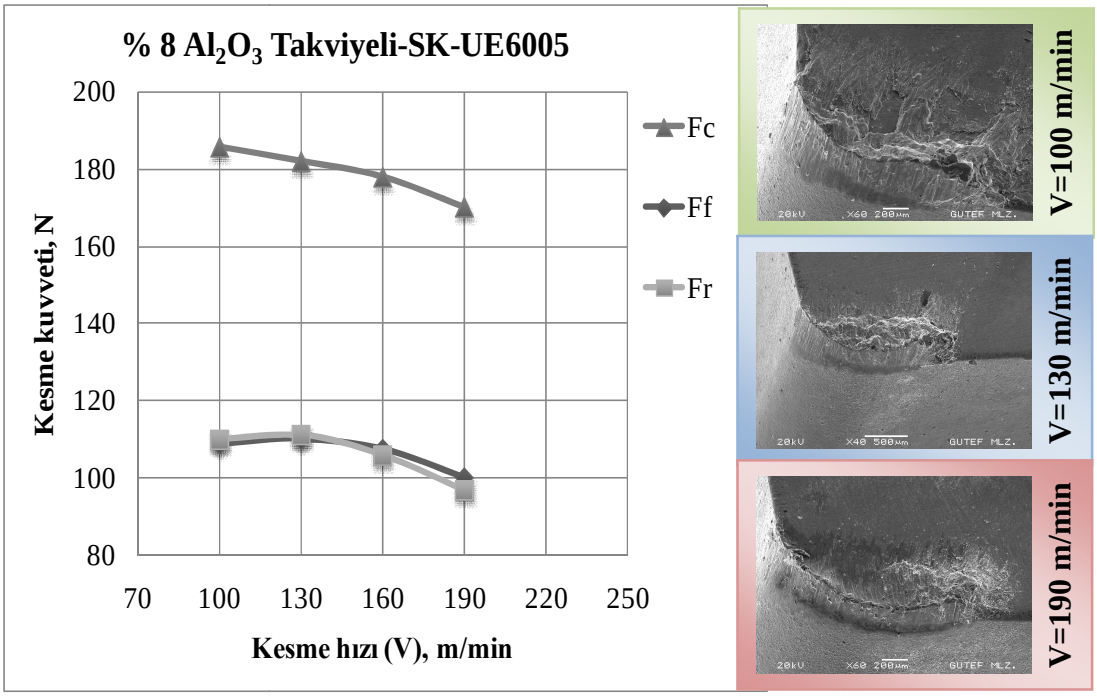
Şekil 7.20'de hacimce % 8 Al_2O_3 takviyeli kompozitin kaplamasız UTi20T kodlu SK kesici takımla işlenmesi sonrasında en düşük, en kritik ve en yüksek kesme hızı değerlerinde SEM ile çekilmiş üç boyutlu kesici takım uç kısmını gösteren fotoğraflar yer almaktadır. Şekil 7.20'de yer alan grafik, kesme kuvveti bileşenlerinden esas kesme kuvvetinin, diğer kuvvet bileşenlerine kıyasla % 70 ~ 85 arasında değişen oranlarda daha yüksek değerlerde oluştuğunu göstermektedir. Fotoğraflar incelendiğinde 100 m/min kesme hızında kesici takım talaş yüzeyinde etkili YT birikimi söz konusudur. En yüksek kesme kuvveti bileşenlerinin ölçüldüğü 130 m/min kesme hızında ise YT birikiminin diğer kesme hızları ile gerçekleştirilen deneylere kıyasla kesme hattı sonunda daha fazla olmak üzere kalınlık bakımından da yüksek oluştuğu görülmüştür. Ayrıca kesicinin kesme hattı yan yüzeyinde oluşan abrasiv aşınma izlerinin YT tarafından doldurulduğu da tespit edilmiştir. KBN kesici takımlarda olduğu gibi kesme kuvveti bileşenlerinin, SK kesici takımlarda da kesme hızının artmasıyla azalma eğiliminde oldukları görülmüştür. Resim 7.24'de aynı

malzemeden, aynı kesici takım ile 70 m/min kesme hızında alınmış talaş kökü optik mikroskop görüntüleri sunulmuştur.



Resim 7.24. Kaplamasız SK UTi20T kodlu kesici takım ile 70 m/min kesme hızında hacimce % 8 Al_2O_3 takviyeli kompozitten alınan talaş kökü

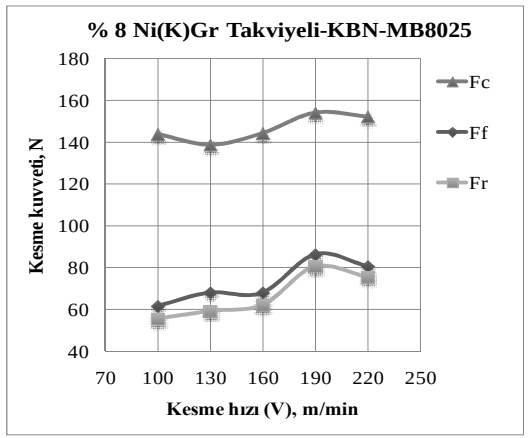
Resim 7.24'te kaplamasız UTi20T kesici takım ile 70 m/min kesme hızında hacimce % 8 Al_2O_3 takviyeli kompozitin işlenmesinde talaş formunun sürekli talaş şeklinde oluştuğu görülmektedir. Kesici takım talaş yüzeyinde yine YT oluşumundan kaçınılamadığı Resim 7.24'te görülmektedir. Resim 7.24'te kayma düzlemi açısı 25° olarak ölçülmüştür. YT'ın kesicinin kesme geometrisini pozitif yönde 35° olarak değiştirdiği yapılan ölçümlerden tespit edilmiştir. YT'ın takım talaş yüzeyinde kararlı olduğu ve takım-talaş temasını engellediği de görülmektedir.



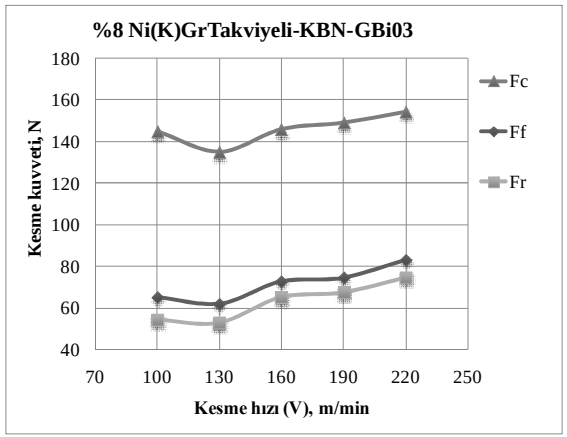
Şekil 7.21. Hacimce % 8 Al_2O_3 takviyeli kompozitin UE6005 kodlu kaplamalı SK kesici takımla işlenmesinde ölçülen kesme kuvveti bileşenleri ve kesici takım SEM fotoğrafları

Şekil 7.21'de yine kesme hızının artışıyla kesme kuvveti bileşenlerinin azalması söz konusudur. Şekil yan tarafında yer alan kesici takım üç boyutlu fotoğraflardan yine kesme hızının artmasına bağlı olarak YT oluşumunun azalma eğiliminde olduğu anlaşılmaktadır. Şekilden, kesme kuvveti bileşenlerinden esas kesme kuvvetinin, diğer kuvvet bileşenlerine kıyasla daha yüksek değerlerde oluştuğu görülebilmektedir. Şekil 7.21'de kuvvet bileşenlerini gösteren grafik, Şekil 7.20'de yer alan grafikle kıyaslandığında, tüm kesme hızlarında kesme kuvveti bileşenlerinin kaplamalı UE6005 kodlu sementit karbürde daha düşük değerde oluştuğu anlaşılmaktadır. Bunun nedeni kaplamanın etkisiyle kesici takımın aşınma direncinde artış sağlanmasına ve kaplamanın sürtünme katsayısının daha düşük olmasına bağlanmıştır.

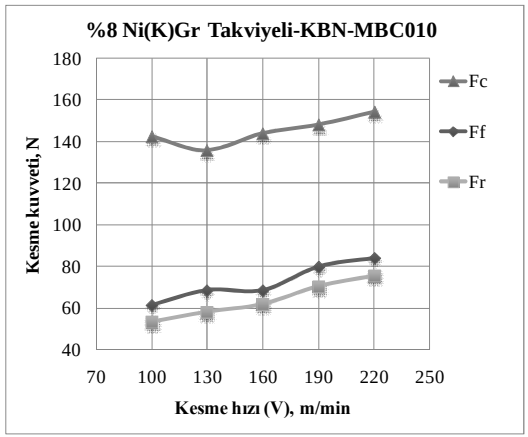
Hacimce % 8 Ni(K)Gr parçacık takviyeli MMK malzemenin işlenmesinde ölçülen kesme kuvveti bileşenleri, kesici takım SEM fotoğrafları ve talaş kökü incelemeleri



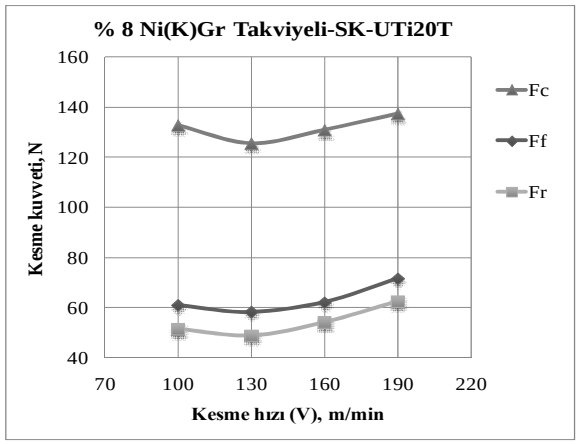
(a)



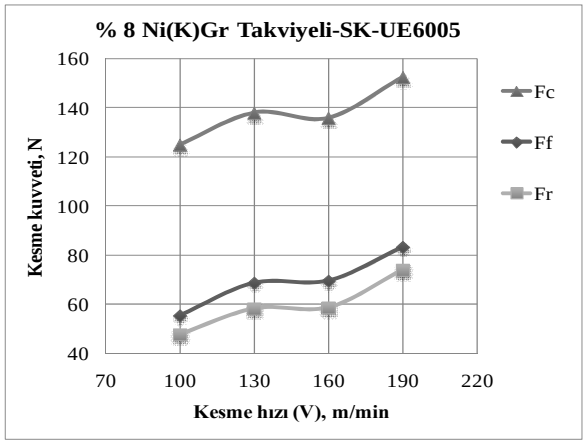
(b)



(c)



(d)

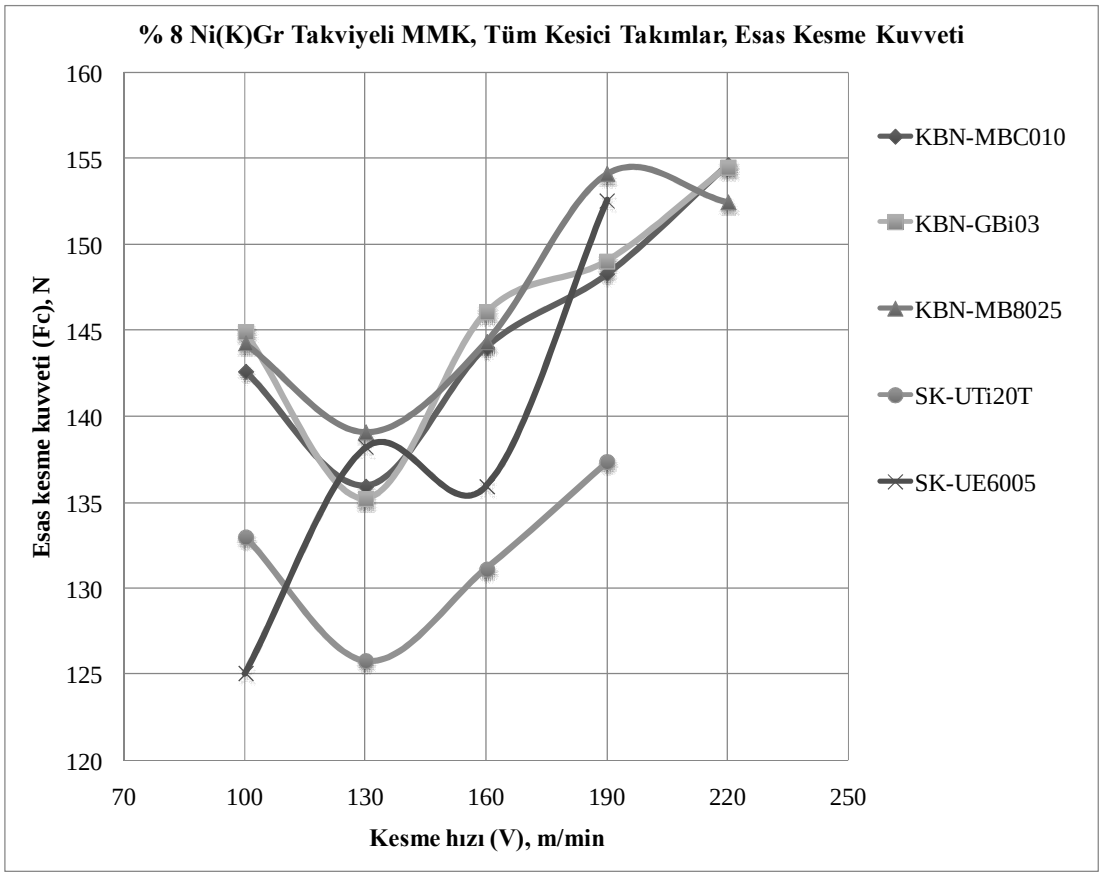


(e)

Şekil 7.22. Hacimce % 8 Ni(K)Gr takviyeli kompozitin işlenmesinde ölçülen kesme hızına göre kuvvet bileşenleri
a) Kaplamasız KBN MB8025, b) Kaplamalı KBN GBi03, c) Kaplamalı KBN MBC010,d) Kaplamasız SK, e) Kaplamalı SK

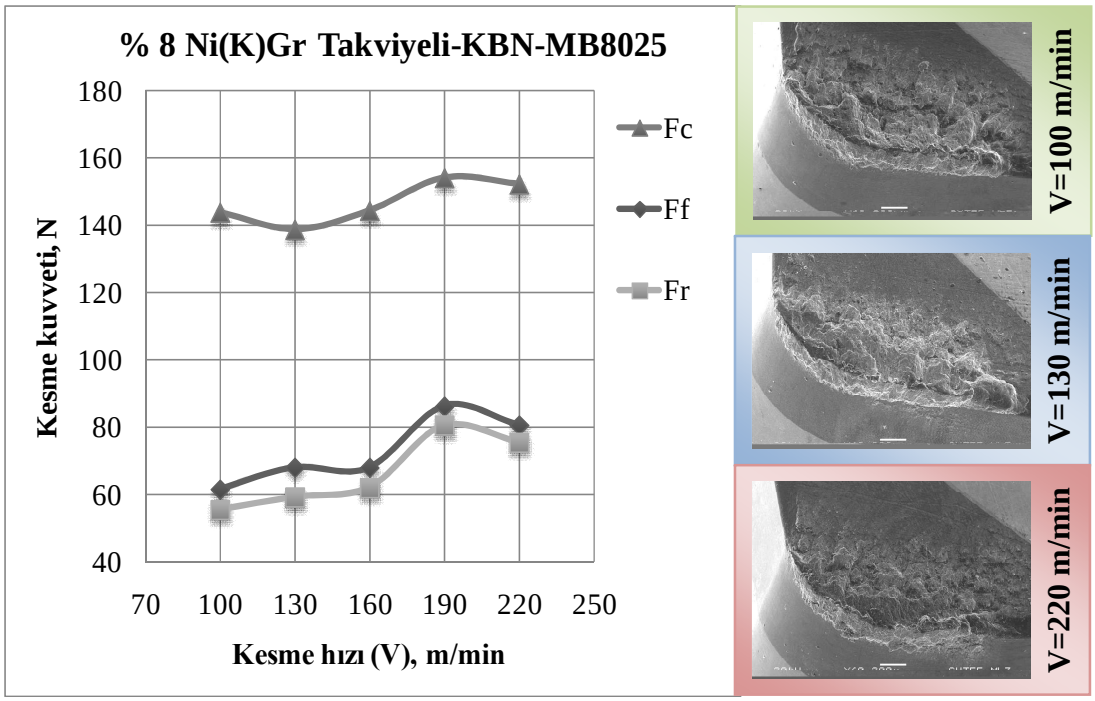
Şekil 7.22'de hacimce % 8 Ni(K)Gr takviyeli kompozitin tüm kesici takımlarla işlenmesi esnasında kesme kuvveti bileşenlerinin ölçülen değerleri grafik halinde sunulmuştur. Metal malzemelerin tornalama işlemlerinde kesme hızının kritik bir değere kadar arttırılmasıyla kesme kuvvetlerinin değişimi genelde düşüş eğilimindedir. Özellikle yüksek kesme hızlarına ulaşıldığında, belirli bir kesme hızından sonra bu düşüş yavaşlayarak devam etmektedir [3,66]. Şekil 7.22'de yer alan grafiklerde ise kullanılan tüm kesici takımlarla hacimce % 8 Ni(K)Gr takviyeli MMK'in işlenmesinde kesme hızının artmasına karşılık, genel itibari ile kesme kuvvetlerinde de bir artış söz konusudur. Bunun nedeni kesme hızının artmasıyla birinci deformasyon bölgesinde sıcaklığın artmasıyla bu bölgedeki Ni(K)Gr parçacıklarının dayanım özelliklerinin iyileşerek kesilmeye karşı dirençlerinin artması ve tane sınır hareketlerini engellemeleri ile matris malzemesinin yığıntı talaş oluşumuna neden olması gösterilebilir. Kesici takımın talaş yüzeyinde ve kesme hattı üzerinde oluşan yığıntı talaşın oluşumu, formu ve hareketliliği de kuvvet bileşenlerinin değişimini etkilemektedir. Şekil 7.22'de yer alan tüm kesici takımlar ile yapılan işleme deneylerinde, ilerleme kuvveti tüm kesme hızı değerlerinde, radyal kuvvete kıyasla 8 ~ 10 N daha fazla değerde ölçülmüştür. Esas kesme kuvveti değeri ise KBN kesici takımlarda ilerleme ve radyal kuvvetlerin % 133 katı fazla, karbür kesici takımlarda ise bu oran % 116 olarak tespit edilmiştir. Kuvvet ölçüm değerleri tüm kesicilerde birbirine yakın seyretmiştir. Sadece % 8 Ni(K)Gr parçacıklarla takviyeli MMK malzemenin, tüm kesici takımlarla işlenmesi sonrasında elde edilmiş kuvvet değerleri, hacimce % 8 Al_2O_3 takviyeli kompozite ait kuvvet bileşenleri değerlerine kıyasla daha düşük çıkmıştır.

Şekil 7.23'te tüm kesici takımları kapsayacak şekilde kesme hızına bağlı esas kesme kuvvetinin değişimi verilmiştir.



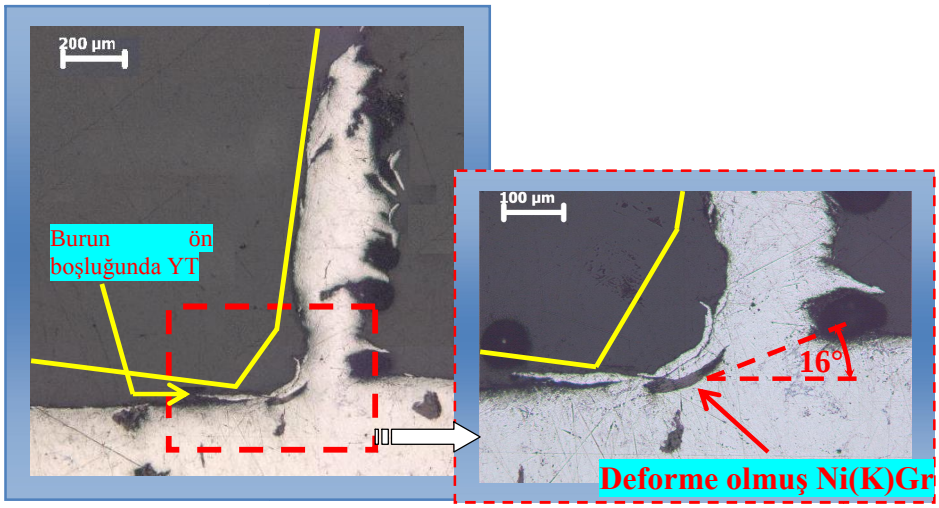
Şekil 7.23. Hacimce % 8 Ni(K)Gr takviyeli kompozitin işlenmesinde ölçülen esas kesme kuvvetinin kesme hızına göre değişimi

Şekil 7.23'te işleme deneylerinde 100 m/min kesme hızı dışındaki tüm kesme hızlarında en düşük esas kesme kuvveti değerleri kaplamasız sementit karbür UTi20T kodlu kesicide ölçülmüştür. 100 m/min kesme hızında ölçülen kesme kuvvetleri en küçükten en büyüğe doğru sıralanırsa UE6005-UTi20T-MBC010-MB8025-GBi03 şeklinde olacaktır. 190 m/min kesme hızında ise bu sıralama aynı tarzda değerlendirilirse UTi20T-MBC010-GBi03-UE6005-MB8025 şeklinde değişmektedir. En az kesme kuvveti oluşumu yönünden UTi20T kodlu kesicinin en iyi performans sergilediği görülmektedir. Bunun nedeni kesicinin kesme hattı geometrisinin tüm kesici takımlara kıyasla daha keskin köşe yapısında olmasına bağlanılabilir.



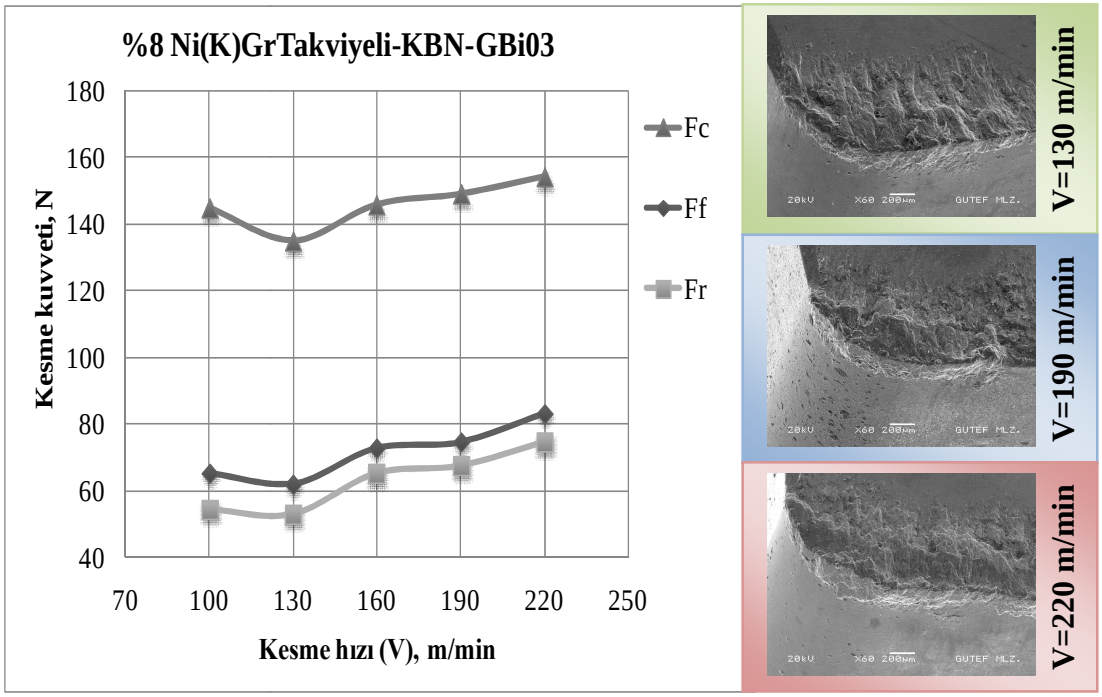
Şekil 7.24. Hacimce % 8 Ni(K)Gr takviyeli kompozitin kaplamasız MB8025 kodlu KBN kesici takımla işlenmesinde ölçülen kesme kuvveti bileşenleri ve kesici takım SEM fotoğrafları

Şekil 7.24'te kesme kuvveti bileşenlerinin kesme hızının artmasıyla genel eğilimlerinin artış yönünde olduğu görülmektedir. Şekil 7.24'te yer alan kesici takım SEM fotoğrafları incelendiğinde, YT'ların formunun talaşın akışına engel olacak tarzda ve kesici takımın kesme hattını tamamıyla kapatacak şekilde oluştukları görülmektedir. Burada yer alan fotoğraflardan YT'ların takım-talaş temasını engelleyerek katmanlar halinde kararlı bir tarzda oluştukları görülmektedir. Şekil 7.24'te 190 m/min kesme hızında YT'ın formuna bağlı olarak kesme hızı bileşenleri değer grafiğinde zirve yapmıştır. YT'ın kesme kuvveti bileşenlerini kötü yönde etkilediği araştırmacılar tarafından daha önceki çalışmalarda vurgulanmıştır [47-49,73]. Kesme hızının 220 m/min'ya çıkarılması ile artan talaş hızı sayesinde çıkan talaşların YT'ye yapışarak YT'ı yaydıkları ve bu nedenle de YT'ın kalınlığının azalmasına neden oldukları anlaşılmaktadır. Resim 7.25'te 70 m/min için hacimce % 8 Ni(K)Gr takviyeli kompozitin kaplamasız MB8025 kodlu KBN kesici takımla işlenmesi esnasında alınmış talaş kökü sunulmuştur.



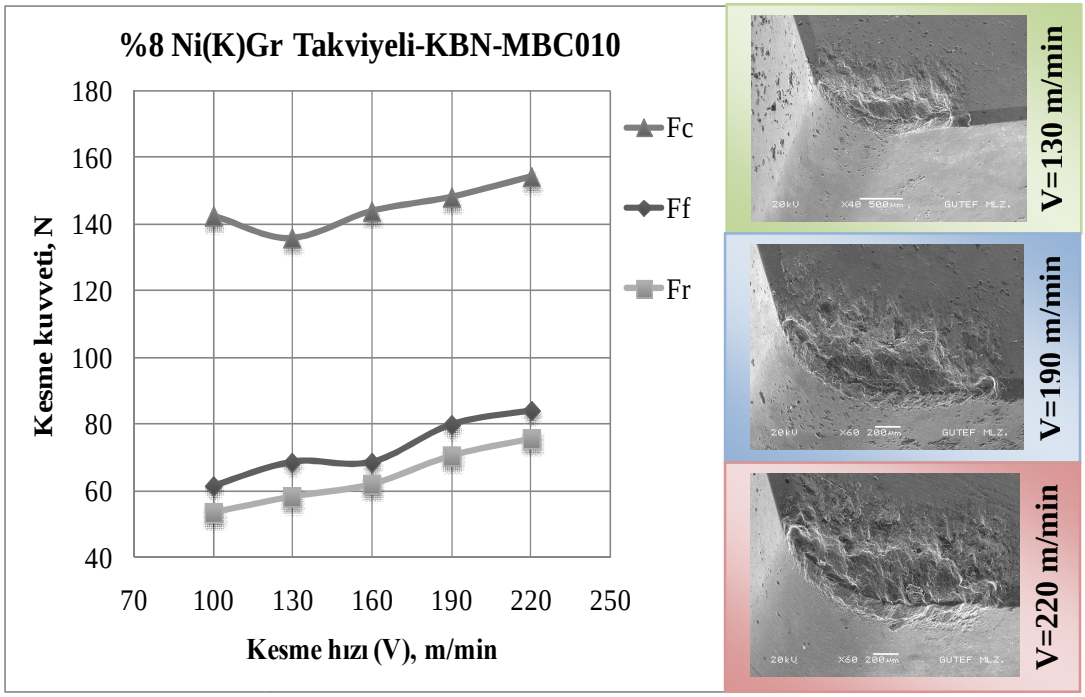
Resim 7.25. Kaplamasız MB8025 kodlu KBN kesici takım ile 70 m/min kesme hızında hacimce % 8 Ni(K)Gr takviyeli kompozitten alınan talaş kökü

Resim 7.25'te MMK malzemenin MB8025 kodlu kaplamasız KBN kesici takımla işlenmesi esnasında alınan talaş kökünün optik mikroskopta farklı büyütme mercekleri ile çekilmiş fotoğrafları görülmektedir. Birinci deformasyon bölgesinde kesme işlemi esnasında Ni(K)Gr parçacığın mekanik kuvvetlerin etkisiyle deforme olduğu görülmüştür. Buda kesme kuvvetlerinin düşük çıkmasına delil teşkil etmektedir. Yine Resim 7.25'te birinci deformasyon bölgesinde kayma düzlemi açısı 16° gibi düşük bir değerde ölçülmüştür. Kesicinin köşe pahı üzerinde ve burun yüzeyinde YT'ların oluştuğu her iki fotoğrafta da görülmektedir. Burun yüzeyinde oluşan yığıntı talaşın özellikle ilerleme kuvveti, pasif kuvvet ve yüzey pürüzlülüğünü kötü yönde etkileyeceği açıktır. Kesicinin kesme hattı köşe pahında oluşan yığıntı talaşın kararlı olduğu ve kesicinin kesme geometrisini değiştirdiği söylenebilir.



Şekil 7.25. Hacimce % 8 Ni(K)Gr takviyeli kompozitin kaplamalı GBi03 kodlu KBN kesici takımla işlenmesinde ölçülen kesme kuvveti bileşenleri ve kesici takım SEM fotoğrafları

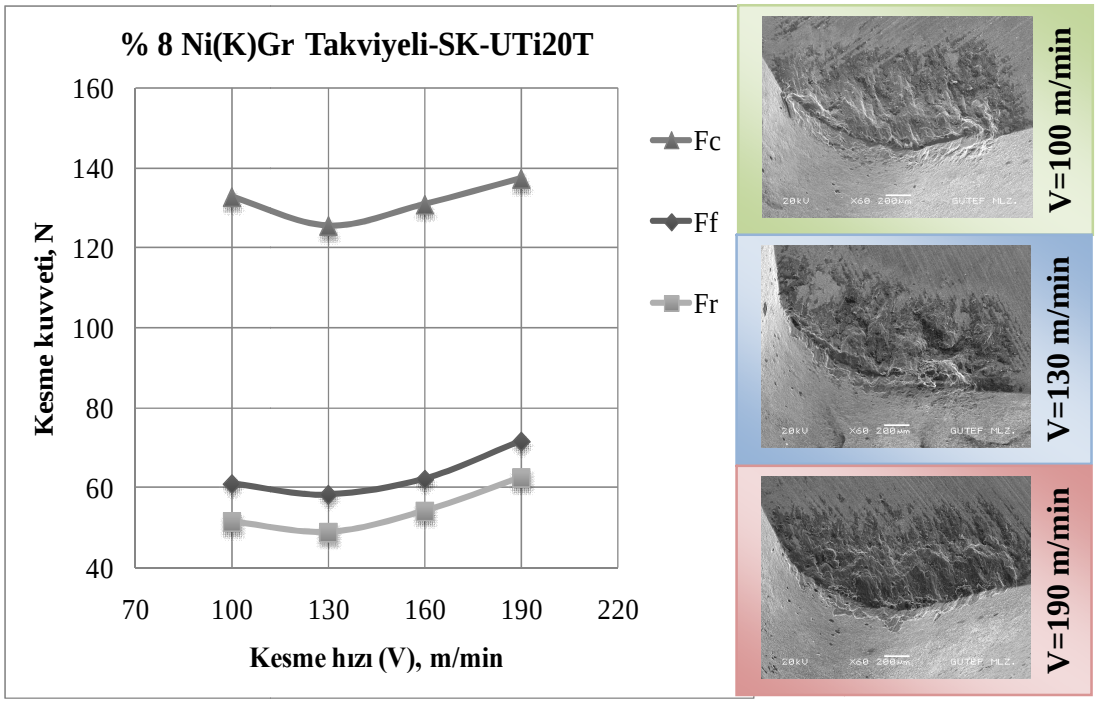
Kaplamalı KBN kesici takım ile hacimce % 8 Ni(K)Gr takviyeli kompozitin işlenmesi esnasında ölçülen kesme kuvveti bileşenlerinin yine kaplamasız KBN kesici takımda olduğu gibi kesme hızının artmasıyla artığı Şekil 7.25'te görülmektedir. Bu durum matrisin takım talaş yüzeyine yapışma eğiliminin Ni(K)Gr parçacıklar tarafından engellenemediğine bağlanabilir. Grafiğin yan tarafında yer alan SEM ile çekilmiş fotoğraflardan kesme hızının artmasıyla YT'ın dışbükey yay formunda oluştuğu görülmektedir. Oluşan yığıntı talaşların kesicinin talaş yüzeyinde katman şeklinde varlığı YT-talaş temasının oluşmasına ve kayma düzleminin yerini ve açısını değiştirmektedir. MB8025 kodlu KBN kesicinin üzerindeki TiN kaplama özelliğinin kesme kuvveti bileşenlerinin değişimine çok bariz bir katkısının olmadığı Şekil 7.25 ile Şekil 7.24 kıyaslandığında anlaşılmaktadır. Her iki kesici takımda kesme kuvveti bileşenleri aynı kesme hızlarında birbirlerine oldukça yakın ölçülmüştür.



Şekil 7.26. Hacimce % 8 Ni(K)Gr takviyeli kompozitin kaplamalı MBC010 kodlu KBN kesici takımla işlenmesinde ölçülen kesme kuvveti bileşenleri ve kesici takım SEM fotoğrafları

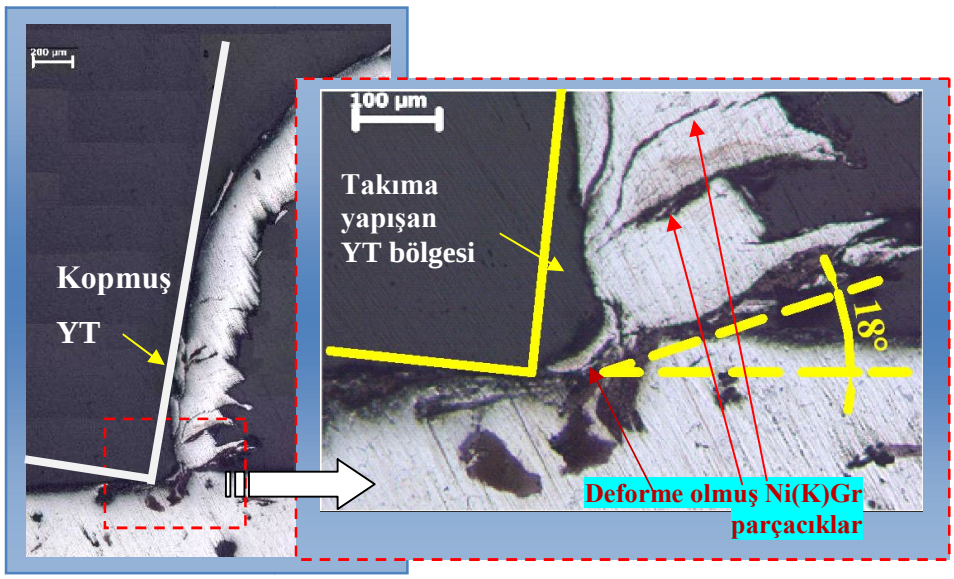
Kaplamalı MBC010 kodlu KBN kesici takımla hacimce % 8 Ni(K)Gr takviyeli kompozitin işlenmesi esnasında ölçülen kesme kuvveti bileşenleri yine diğer KBN kesici takımlarda olduğu gibi kesme hızının artmasına karşılık artma eğilimindedir. Şekil 7.26'da sunulan SEM ile çekilmiş fotoğraflardan kesme hızının artmasına bağlı olarak YT oluşumunun genişlik ve kalınlık itibari ile çoğalmakta olduğu anlaşılmıştır. Bu durum kesme kuvveti bileşenlerinin kesme hızının artmasıyla artış eğilimini kısmen açıklamaktadır. Değişen kesme geometrisi ve YT-talaş temas bölgesinin kesme hızının artmasıyla daha da genişlemesi kuvvet bileşenlerinin artmasında etkilidir.

Hacimce % 8 Ni(K)Gr takviyeli kompozitin kaplamasız UTi20T kodlu SK kesici takımla işlenmesi esnasında ölçülen kesme kuvveti bileşenleri grafiği ve kesici takıma ait üç boyutlu SEM görüntüleri Şekil 7.27'de sunulmuştur.



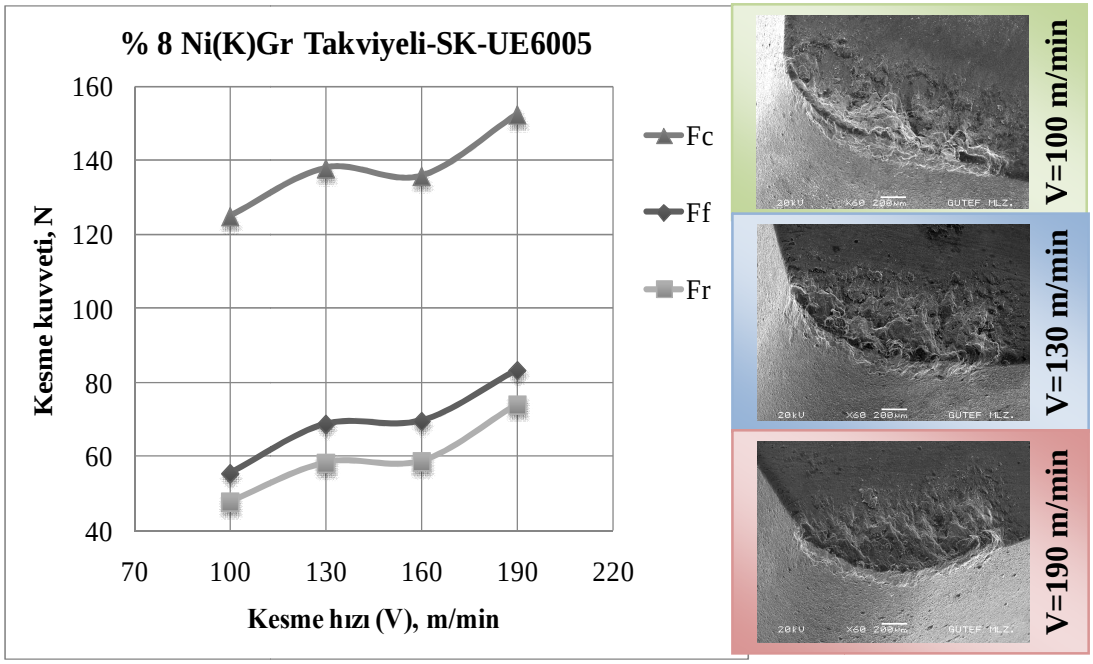
Şekil 7.27. Hacimce % 8 Ni(K)Gr takviyeli kompozitin kaplamasız UTi20T kodlu SK kesici takımla işlenmesinde ölçülen kesme kuvveti bileşenleri ve kesici takım SEM fotoğrafları

Şekil 7.27'de hacimce % 8 Ni(K)Gr takviyeli kompozitin kaplamasız UTi20T kodlu SK kesici takımla işlenmesi sonrasında en düşük, en kritik ve en yüksek kesme hızı değerlerinde SEM ile çekilmiş fotoğraflar yer almaktadır. Şekil 7.27'de yer alan grafik kesme kuvveti bileşenlerinden esas kesme kuvvetinin, diğer kuvvet bileşenlerine kıyasla daha yüksek değerlerde oluştuğunu göstermektedir. Fotoğraflar incelendiğinde 100 m/min kesme hızında kesici takım talaş yüzeyinde etkili YT birikimi söz konusudur. En düşük kesme kuvveti bileşenlerinin ölçüldüğü 130 m/min kesme hızında ise YT birikiminin diğer kesme hızları ile gerçekleştirilen deneylere kıyasla daha az oluştuğu görülmüştür. KBN kesici takımlarda olduğu gibi kesme kuvveti bileşenlerinin, SK kesici takımlarda da kesme hızının artışıyla artma eğiliminde oldukları görülmüştür. Bunun nedeni yine YT oluşumuna bağlanmıştır. Resim 7.26'da aynı malzemeden, aynı kesici takım ile 70 m/min kesme hızında alınmış talaş kökü optik mikroskop görüntüleri sunulmuştur.



Resim 7.26. Kaplamasız SK UTi20T kodlu kesici takım ile 70 m/min kesme hızında hacimce % 8 Ni(K)Gr takviyeli kompozitten alınan talaş kökü

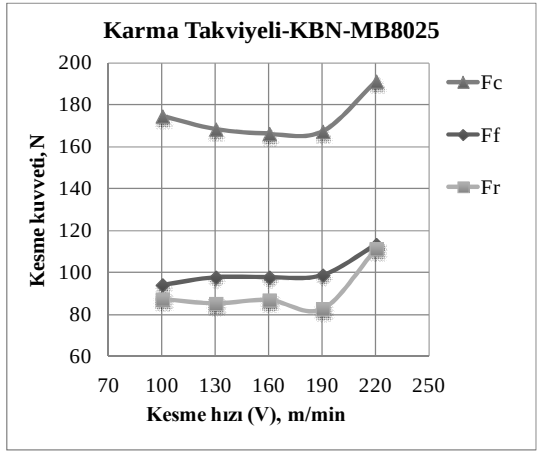
Resim 7.26'da kaplamasız UTi20T kesici takım ile 70 m/min kesme hızında hacimce % 8 Ni(K)Gr takviyeli kompozitin işlenmesinde talaş formunun sürekli talaş şeklinde oluştuğu görülmektedir. Kesici takım talaş yüzeyinde yine YT oluşumundan kaçınılamadığı Resim 7.26'da tespit edilmiştir. Resimden takım-talaş temas alanının uzun olduğu ve talaşla birlikte YT katmanının bir kısmının takım talaş yüzeyinden ayrılarak koptuğu görülmektedir. KBN kesici takımlardan MB8025 kodlu kaplamasız kesici takımla, aynı MMK'ten aynı kesme hızında alınan talaş kökü fotoğrafında (Resim 7.25) oluğu gibi, Resim 7.26'da da Ni(K)Gr takviye elemanı parçacıklarının talaş içerisinde ve kesme hattı birinci deformasyon bölgesi yakınlarında deforme olarak formalarını kaybettikleri tespit edilmiştir. Resim 7.26'da kayma düzlemi açısı 18° olarak ölçülmüştür. Resim 7.25'de bu değer 16° olarak ölçülmüştür. Buda kesici takım geometrisi ve özelliklerine (talaş yüzeyi pürüzlülük değeri, kesme hattı geometrisi) bağlı olarak kayma düzlemi açısının değiştiğini göstermektedir. Birinci deformasyon bölgesinde oluşan kayma düzlemi açısının artmasıyla kesme kuvveti bileşenlerinin ve deforme olmuş talaş kesitinin azalacağı önceki çalışmalarda rapor edilmiştir [49,73].



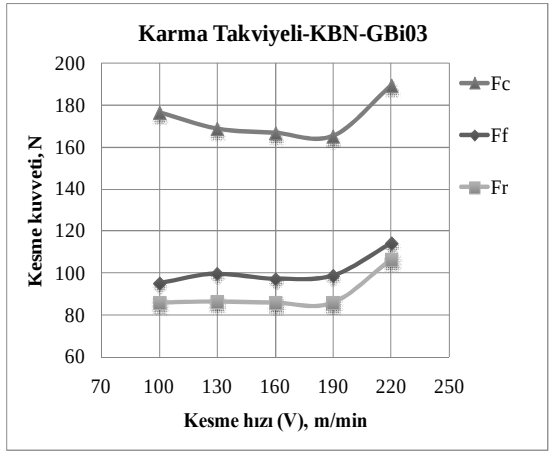
Şekil 7.28. Hacimce % 8 Ni(K)Gr takviyeli kompozitin UE6005 kodlu SK kesici takımla işlenmesinde ölçülen kesme kuvveti bileşenleri ve kesici takım SEM fotoğrafları

Şekil 7.28'de yine kesme hızının artışıyla kesme kuvveti bileşenlerinin artması söz konusudur. Şekil yan tarafında yer alan kesici takım üç boyutlu fotoğraflarından yine kesme hızının artmasına bağlı olarak YT oluşumunun dışbükey yay formunda oluştuğu görülmektedir. Bu durum YT'ın kesicinin geometrisini negatif talaş açılı takıma benzetmesine neden olacak ve kesme kuvveti bileşenleri kesme hızının arttırılmasıyla artacaktır. Şekil 7.28 esas kesme kuvvetinin, diğer kuvvet bileşenlerine kıyasla daha yüksek değerlerde oluştuğunu göstermektedir. Şekil 7.28'de kuvvet bileşenlerini gösteren grafik Şekil 7.27'de yer alan grafikle kıyaslandığında, 100 m/min dışındaki kesme hızlarında kesme kuvveti bileşenlerinin yüksek değerde olduğu anlaşılmaktadır. Bunun nedeni olarak Ni(K)Gr parçacıklarının kesme hızının artmasıyla kesme bölgesinde artan sıcaklıkla dayanım özelliklerinin iyileşmesine bağlı, tane sınır hareketlerini engellemeleri gösterilebilir.

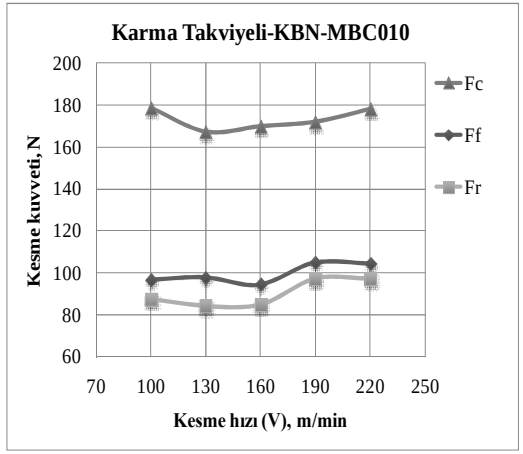
Hacimce % 4 oranlarında, Ni(K)Gr ve Al_2O_3 parçacıklarla karma takviyeli MMK malzemenin işlenmesinde ölçülen kesme kuvveti bileşenleri, kesici takım SEM fotoğrafları ve talaş kökü incelemeleri



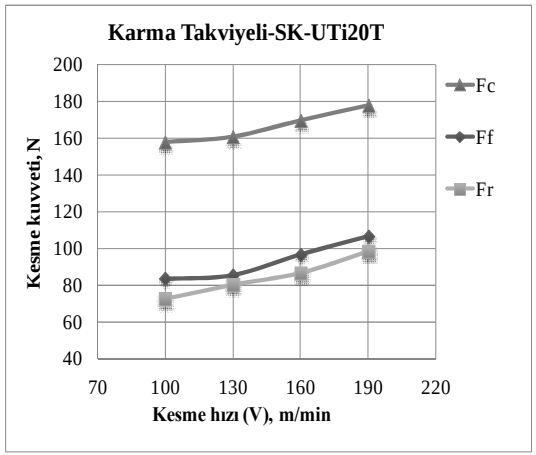
(a)



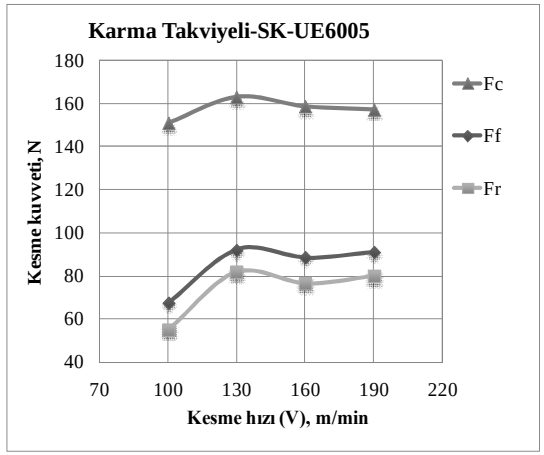
(b)



(c)



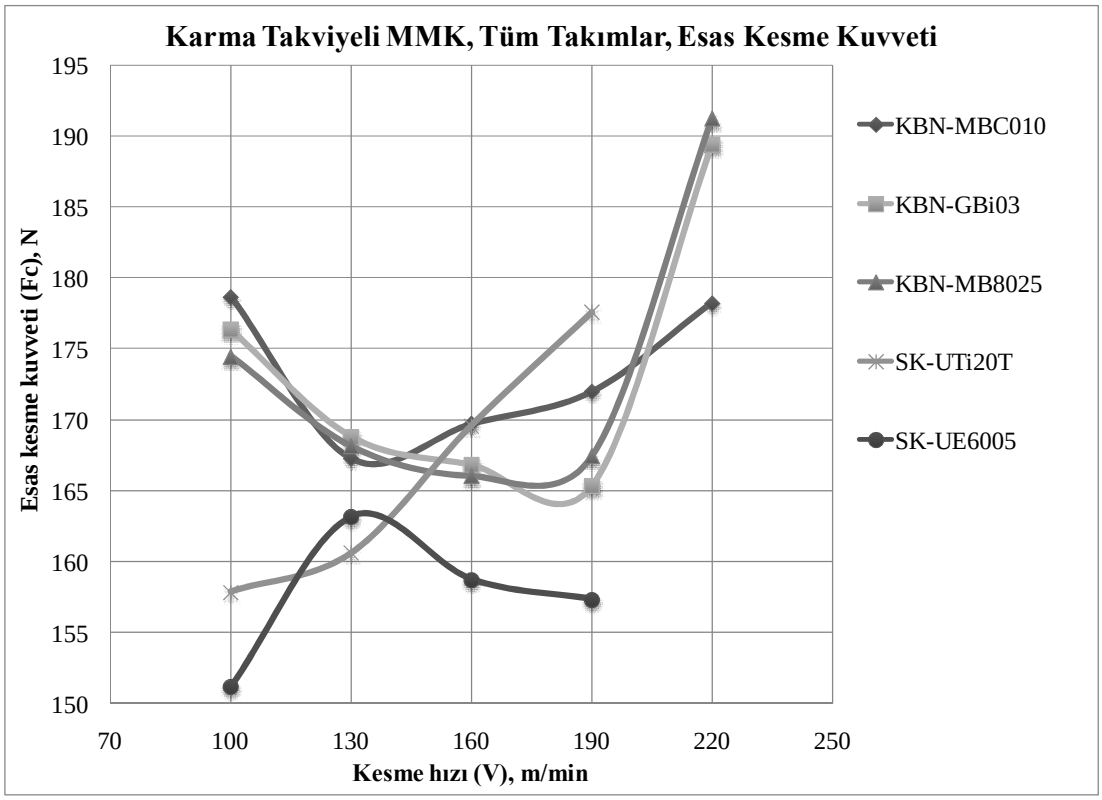
(d)



(e)

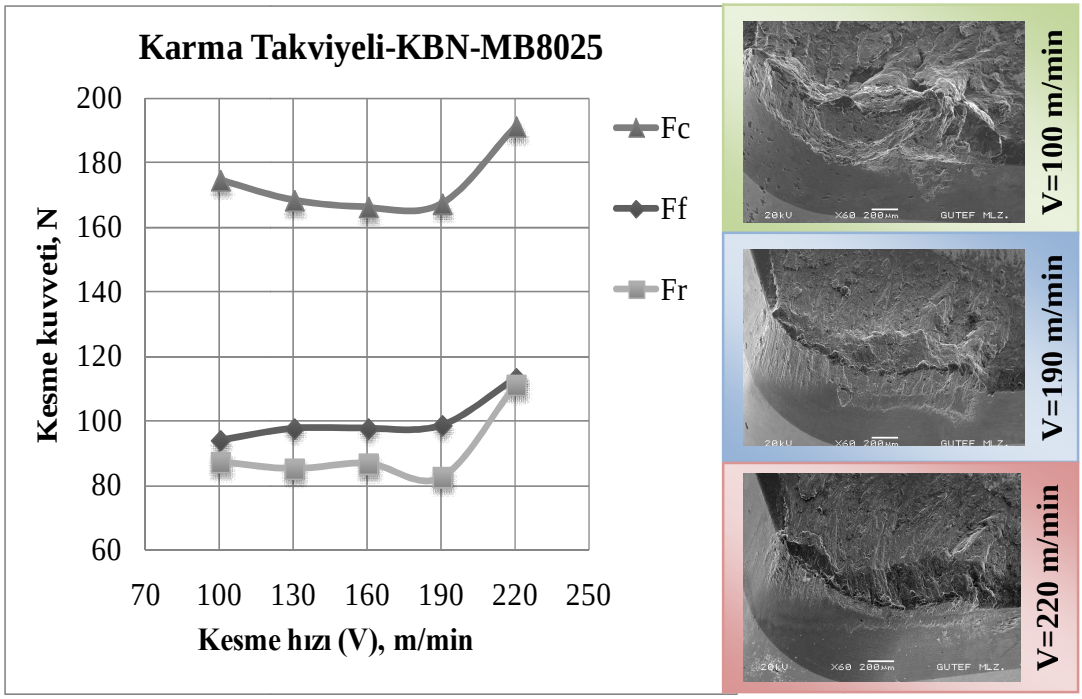
Şekil 7.29. Karma takviyeli kompozitin işlenmesi esnasında ölçülen kesme kuvveti bileşenleri
a) Kaplamasız KBN MB8025, b) Kaplamalı KBN GBi03, c) Kaplamalı KBN MBC010, d) Kaplamasız SK, e) Kaplamalı SK

Şekil 7.29'da karma takviyeli MMK malzemenin farklı kesici takımlarla işlenmesi esnasında ölçülen kesme kuvveti bileşenlerinin değer grafikleri yer almaktadır. KBN esaslı kesici takımlarda kesme kuvveti bileşenleri, sementit karbür kesici takımlara kıyasla daha yüksek değerlerde ölçülmüştür. Şekil 7.29'da yer alan grafiklerden karma takviyeli kompozitin işlenmesi esnasında oluşan kesme kuvveti bileşenlerinin genel itibarı ile düzgün bir eğilim sergiledikleri diğer kompozit malzemelere kıyasla söylenebilir. KBN kesici takımlar ile gerçekleştirilen işleme deneylerinde, kaplamasız MB8025 kodlu ve kaplamalı GBi03 kodlu KBN kesici takımlarla işlemede 190 m/min kesme hızında esas kesme kuvvetinin (Fc) en düşük değerde oluştuğu Şekil 7.29. a ve Şekil 7.29. b'den anlaşılmaktadır. Bu kesme hızı değeri bu iki KBN kesici takım içinde dönüm noktası özelliği taşımaktadır. Bu kesme hızı değerinin altında ve üstündeki kesme hızı değerlerinde özellikle esas kesme kuvvetinin arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca bu grafiklerde 220 m/min kesme hızı değerinde kesme kuvveti bileşenlerinin değer artışı ivmelenmektedir. MBC010 kodlu KBN kesici takımın aşınma direncine bağlı olarak diğer KBN kesici takımlara kıyasla daha iyi performansa sahip olduğu söylenebilir. Şekil 7.29. d ve Şekil 7.29. e'de yer alan kaplamasız ve kaplamalı SK kesici takımlar birbirleri ile kıyaslanırsa, kaplamalı SK kesicinin daha az kesme kuvveti bileşenlerinin oluşmasına neden olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 7.29. d'de UE6005 kodlu SK kesici takımın 130 m/min kesme hızında, işlemede kullanılan diğer kesme hızlarına kıyasla kuvvet bileşenlerinde artış olduğu görülmektedir. Şekil 7.30'da esas kesme kuvvetinin (Fc) tüm kesici takımları kapsayacak şekilde değişimini gösteren grafik sunulmuştur.



Şekil 7.30. Karma takviyeli kompozitin işlenmesinde ölçülen esas kesme kuvveti değerlerinin kesme hızına göre değişimi

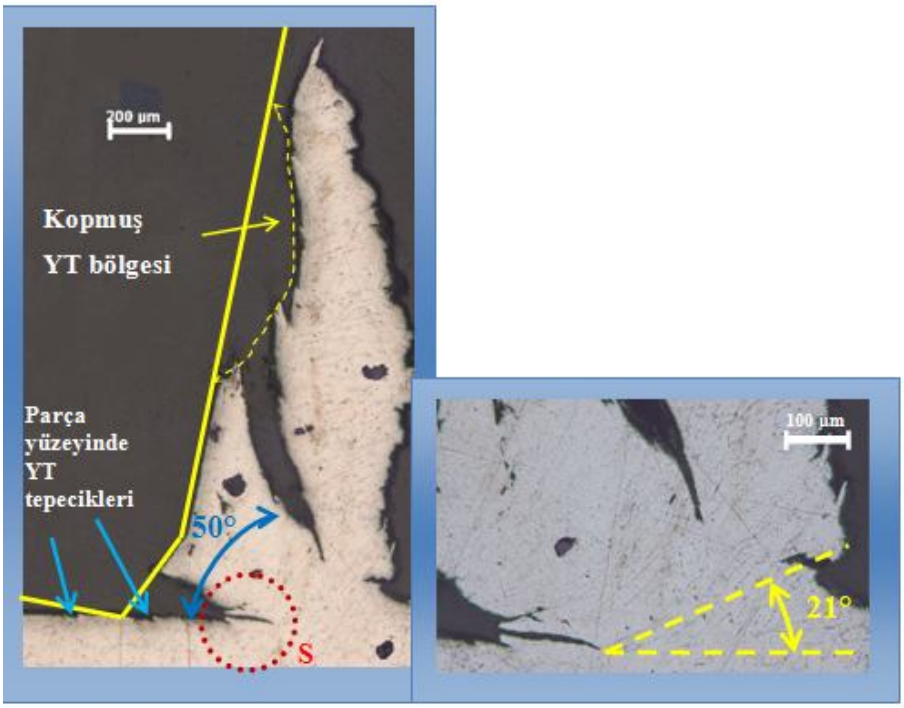
Şekil 7.30'da esas kesme kuvvetlerinin tespit edildiği KBN kesici takımlar, 220 m/min kesme hızında ölçülen esas kesme kuvvetleri bakımından birbiri ile kıyaslanırsa, MBC010, GBi03, MB8025 şeklinde en azdan en çoğa doğru sıralanırlar. KBN kesici takımlar 190 m/min kesme hızında gerçekleştirilen işleme deneylerinde oluşturdukları esas kesme kuvveti değerleri bakımından, SK kesici takımlarla genel itibarı ile kıyaslandıklarında, UTi20T kodlu kesiciye nazaran daha az, fakat UE6005 kodlu SK kesici takıma kıyasla bir miktar fazla kuvvet değişimine neden oldukları görülmüştür. UTi20T kodlu SK kesicinin adhesiv aşınma mekanizması ve MMK yapı içerisinde yer alan Al_2O_3 seramik takviye elemanları tarafından abrasiv aşınma mekanizması ile aşınmış olacağına bağlanmıştır. Buradan UTi20T kodlu SK kesici takımın aşınma direnci bakımından daha kötü performansa sahip olduğu yinelenmektedir.



Şekil 7.31. Karma takviyeli kompozitin kaplamasız MB8025 kodlu KBN kesici takımla işlenmesinde ölçülen kesme kuvveti bileşenleri ve kesici takım SEM fotoğrafları

Şekil 7.31'de karma takviyeli MMK malzemenin kaplamasız KBN kesici takım ile işlenmesi esnasında, kesme kuvveti bileşenlerine ait kuvvet değerlerinin 190 m/min kesme hızı değerine kadar düşüş yönünde olduğu görülmektedir. Fakat bu kesme hızı sonrasında kesme hızının 220 m/min değerine çıkarılmasıyla kuvvet değerlerinin birden arttıkları tespit edilmiştir. Bunun nedeni kesici takımın kesme hattı yan kenarı ve talaş yüzeyinde yer alan YT'ların kesilen talaşlar tarafından aşındırılmasına ya da adhesif etkiye maruz bırakarak kopartmaya çalışmalarına bağlanmıştır. YT'ların takım-talaş temasını engellemeleri ve yüksek kesme hızlarında YT'ların kesicinin kesme bölgelerine yayılarak YT-talaş temas alanının büyümesine neden olmaları ilave neden olarak gösterilebilir. Düşük kesme hızlarında da YT kalınlığının artması ve kesici takım kesme geometrisinin tamamıyla YT tarafından dinamik olarak değiştirilmesi kuvvet bileşenlerini arttırmaktadır. Şekil 7.31'de yer alan kesici takım SEM fotoğrafları incelendiğinde, YT'ların formunun talaşın akışına engel olacak tarzda ve kesici takımın kesme hattı sonunda daha yoğun ve kesme hattını tamamıyla kapatarak oluştukları görülmektedir. Resim 7.27'de 70 m/min kesme hızında karma

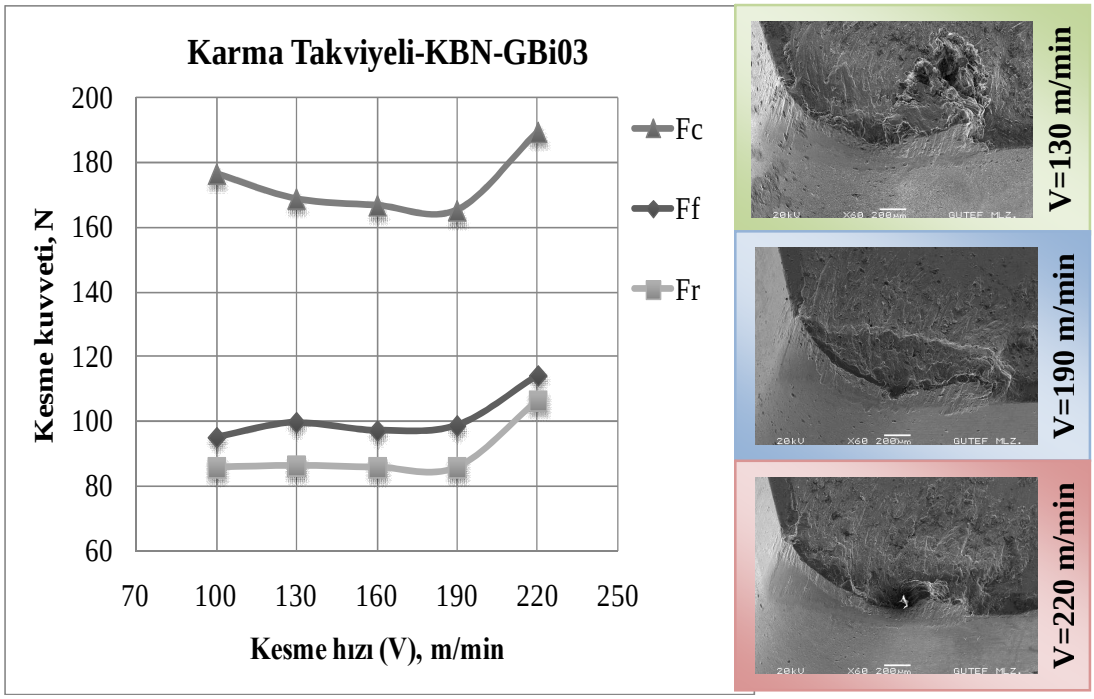
takviyeli kompozitin kaplamasız MB8025 kodlu KBN kesici takımla işlenmesi esnasında alınmış talaş kökü sunulmuştur.



Resim 7.27. Kaplamasız MB8025 kodlu KBN kesici takım ile 70 m/min kesme hızında karma takviyeli kompozitten alınan talaş kökü

Resim 7.27'de YT'ın takım talaş yüzeyine yapışarak takımın kesme geometrisini kesici takım kesme kenar hattı köşe pahında eksi 25°'den ve takım talaş yüzeyinde de eksi 6°'den, pozitif 40°'ye değiştirdiği görülmektedir. Resim 7.27'den işlenen MMK malzeme yüzeyinde YT tepeciklerinin oluştuğu da tespit edilmiştir. "S" harfi ile belirtilmiş bölgede, YT tepeciklerinin oluşma şekli görülmektedir. Oluşmalarında etkili olan mekanizmaların birinci deformasyon bölgesinde yırtılma başlangıcında, ısıl ve mekanik kuvvetlerin etkisiyle matrisin süneklilik özelliğinin talaşın oluşumu esnasında, kesici takımın bir parçası gibi davranan YT'a yapışma eğilimi olduğu söylenebilir. Bu yığıntı talaş tepecikleri işlenen MMK malzemenin yüzey pürüzlülüğünü, kötü yönde etkileyecektir. YT'ın kesicinin talaş yüzeyinde ikinci deformasyon bölgesinde kararlı bir yapışma eğiliminde olduğu ve zamanla kesme hattına uzak olan kısımlarından talaşla birlikte takım yüzeyinden koparak ayrıldığı

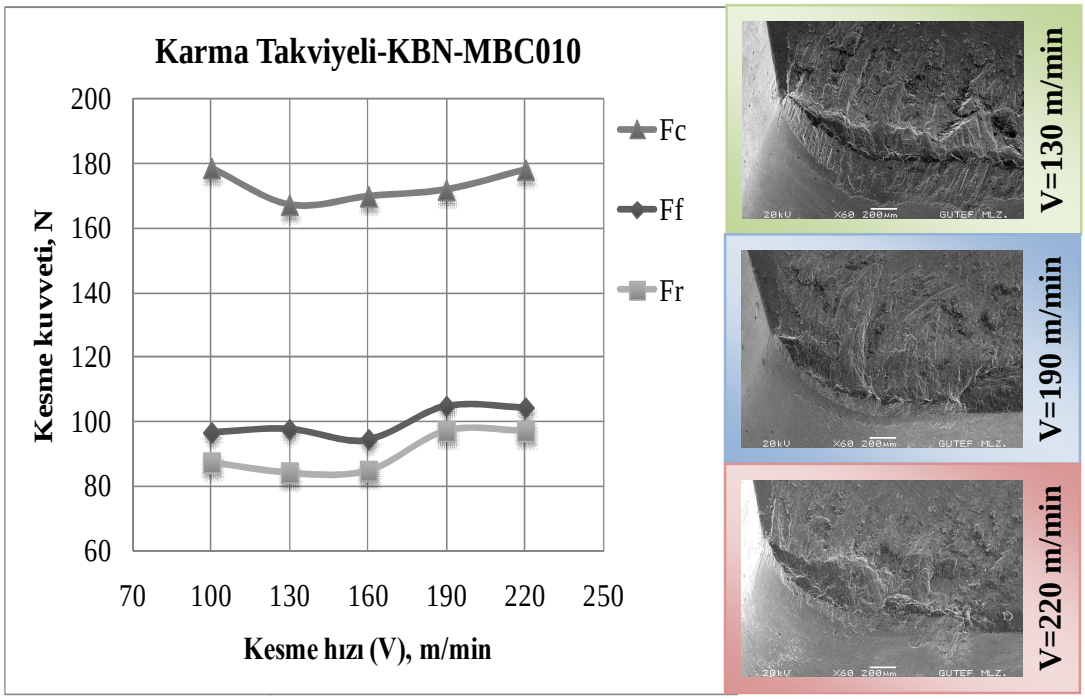
yine Resim 7.27'den anlaşılmaktadır. Resim 7.27'de birinci deformasyon bölgesinde kayma düzlemi açısının 21° olduğu yapılan ölçümler sonrasında tespit edilmiştir.



Şekil 7.32. Karma takviyeli kompozitin kaplamalı GBi03 kodlu KBN kesici takımla işlenmesinde ölçülen kesme kuvveti bileşenleri ve kesici takım SEM fotoğrafları

Şekil 7.32'de kaplamalı KBN kesici takım ile karma takviyeli kompozitin işlenmesi esnasında ölçülen kesme kuvveti bileşenlerinin yine kaplamasız KBN kesici takımda olduğu gibi kesme hızının 190 m/min değerine kadar artmasıyla azaldığı görülmektedir. Bunun nedeni olarak SEM ile çekilmiş kesici takımların fotoğrafları incelendiğinde YT'ın formunun 190 m/min kesme hızında daha düzgün ve yekpare özellik taşımasına bağlanmıştır. Bu fotoğraflardan kesme deneylerinde kullanılan KBN takımın üzerindeki kaplama katmanının MMK yapı içerisinde ortalama 42 µm boyutundaki parçacıklar tarafından abrasiv aşınmaya maruz kaldığı da tespit edilmiştir. Aşınan bu kaplama katmanı üzerinde yer alan aşınma izleri YT'ın tutunma yüzeyini arttırarak oluşumunu hızlandırmakta ve YT-talaş temasının daha uzun sürmesine neden olmaktadır. 220 m/min kesme hızında kuvvet bileşenlerinin artması YT'ların basıncın etkisiyle takım talaş yüzeyine yayılma eğilimlerinin var

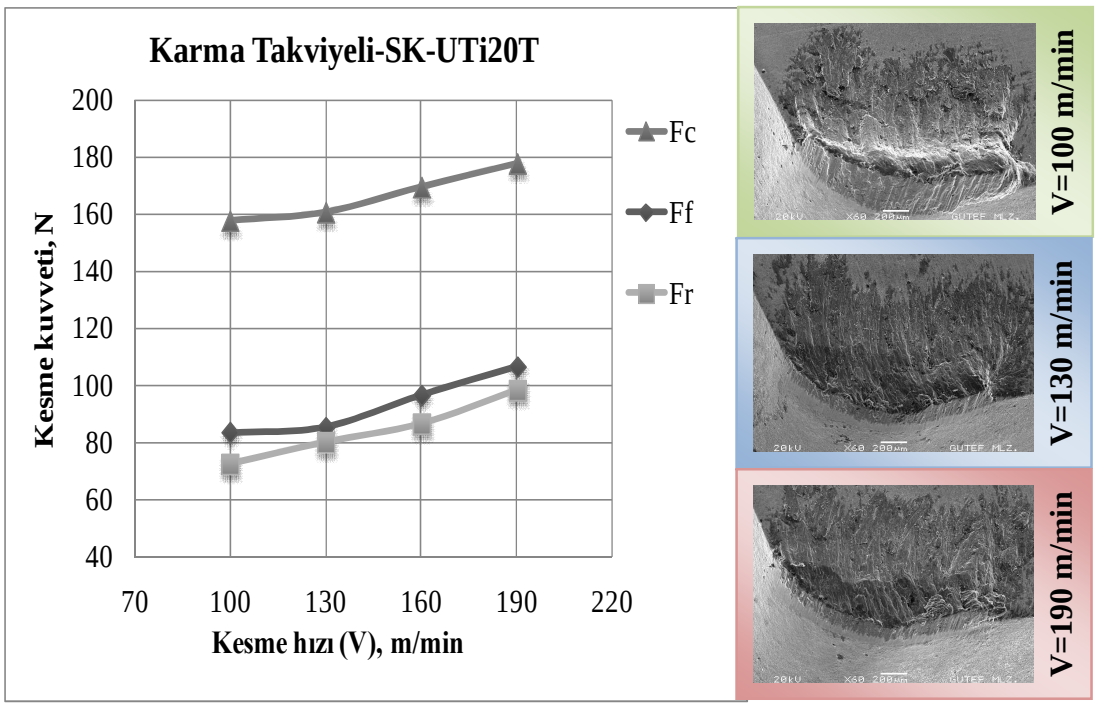
olması, yapı içerisindeki Ni(K)Gr parçacıklarının artan kesme bölgesi sıcaklığına bağlı olarak artan dayanım özellikleri ve parçacıkların tane sınır hareketlerini engellemeleri ile takımın parçacıkları yerinden çıkarmak yerine kesmek zorunda kalmasına bağlanmıştır.



Şekil 7.33. Karma takviyeli kompozitin kaplamalı MBC010 kodlu KBN kesici takımla işlenmesinde ölçülen kesme kuvveti bileşenleri ve kesici takım SEM fotoğrafları

Şekil 7.33'te kaplamalı MBC010 kodlu KBN kesici takımla hacimce karma takviyeli kompozitin işlenmesi esnasında ölçülen kesme kuvveti bileşenlerinin, tüm kesme hızlarında birbirlerine yakın değerlerde oluştuğu görülmektedir. Şekil 7.33'te 100 m/min kesme hızında kuvvet bileşenleri değerlerinden esas kesme kuvveti (Fc) en yüksek değerde oluşmuştur. Fakat bu kesme hızında ilerleme ve pasif kuvvet değerleri, 160 m/min kesme hızının dışındaki kesme hızı değerlerinden daha düşük ölçülmüştür. Şekil 7.33'te yer alan SEM ile çekilmiş fotoğraflarda MBC010 kodlu kesicinin üzerinde yer alan kaplama katmanının, Şekil 7.32'de yer alan GBi03 kodlu kesici takıma benzer şekilde, MMK yapı içerisinde yer alan Al_2O_3 parçacıklar tarafından abrasiv olarak aşındığı görülmektedir.

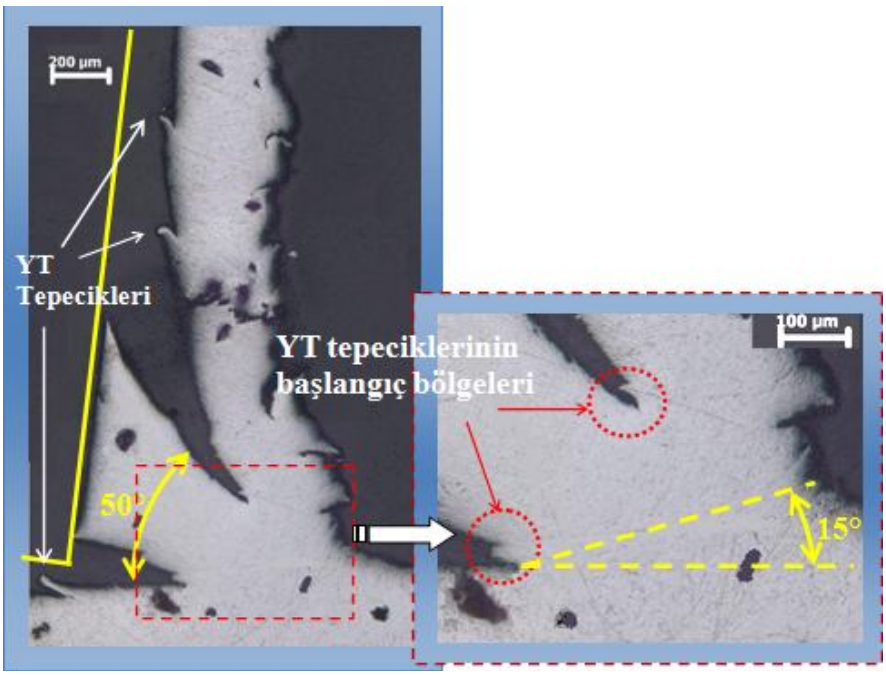
Karma takviyeli kompozitin kaplamasız UTi20T kodlu SK kesici takımla işlenmesi esnasında ölçülen kesme kuvveti bileşenlerinin değer grafiği ve kesici takımlara ait üç boyutlu SEM görüntüleri Şekil 7.34'te sunulmuştur.



Şekil 7.34. Karma takviyeli kompozitin kaplamasız UTi20T kodlu SK kesici takımla işlenmesinde ölçülen kesme kuvveti bileşenleri ve kesici takım SEM fotoğrafları

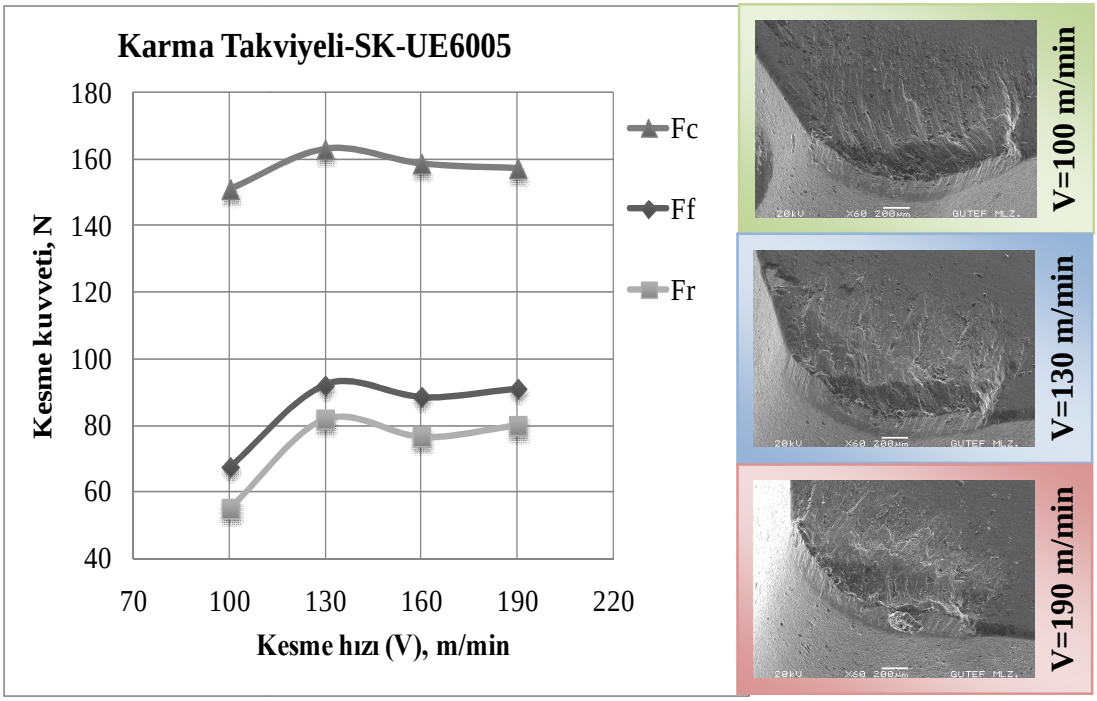
Şekil 7.34'te yer alan grafik, kesme kuvveti bileşenlerinden esas kesme kuvvetinin, diğer kuvvet bileşenlerine kıyasla yaklaşık iki kat daha yüksek değerlerde oluştuğunu göstermektedir. Fotoğraflar incelendiğinde 100 m/min kesme hızında kesici takım talaş yüzeyinde etkili YT birikimi söz konusudur. Kesme hızının artmasına bağlı olarak YT birikiminin azaldığı SEM ile çekilmiş kesici takım fotoğraflarından anlaşılmaktadır. En yüksek kesme kuvveti bileşenlerinin 190 m/min kesme hızında oluştuğu Şekil 7.34'te yer alan grafikte görülmektedir. Burada kesme kuvvetlerinin artış eğiliminin nedeni, bu kesicinin aşınma direncine bağlı olarak kesici takım kesme hattı boyunca yan kenarda oluşan aşınma izlerinin genişliğinin kesme hızının artışıyla ivmelenmesine bağlanmıştır.

Resim 7.28’de kaplamasız UTi20T kesici takım ile 70 m/min kesme hızında karma takviyeli kompozitin işlenmesinde alınmış talaş kökü optik mikroskop görüntüleri sunulmuştur.



Resim 7.28. Kaplamasız SK UTi20T kodlu kesici takım ile 70 m/min kesme hızında karma takviyeli kompozitten alınan talaş kökü

Resim 7.28’de talaşın formunun sürekli talaş şeklinde oluştuğu görülmektedir. Kesici takım talaş yüzeyinde yine YT oluşumundan kaçınılamadığı ve işlenmiş yüzeyde ve kesilen talaşta yığıntı talaş tepeciklerinin varlığı Resim 7.28’de görülmüştür. YT tepeciklerinin oluşumu takımın bir parçası gibi davranan kararlı YT’ın, birinci deformasyon bölgesinde talaş akışı başlangıç noktası ile işlenmiş yüzey belirme kısmında matrisin kararlı YT’a yapışma eğilimden kaynaklanmaktadır. Resim 7.28’de kayma düzlemi açısı 15° olarak ölçülmüştür. Resim 7.27’de bu değer 21° olarak ölçülmüştür. YT’ın kesicinin kesme geometrisini eksi 6°’den, pozitif 30°’ye değiştirdiği yapılan ölçümlerden tespit edilmiştir. YT’ın takım talaş yüzeyinde kararlı olduğu ve takım-talaş temasını engellediği Resim 7.28’de görülmektedir.

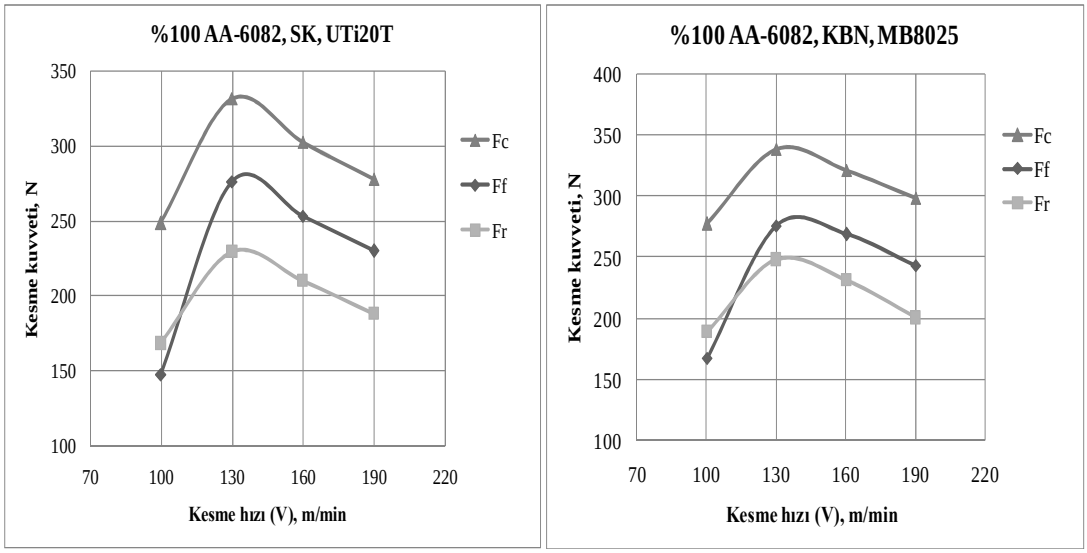


Şekil 7.35. Karma takviyeli kompozitin UE6005 kodlu kaplamalı SK kesici takımla işlenmesinde ölçülen kesme kuvveti bileşenleri ve kesici takım SEM fotoğrafları

Şekil 7.35'de yine kesme hızının artışıyla kesme kuvveti bileşenlerinde azda olsa artış söz konusudur. Bu artışın nedeni diğer kaplamasız sementit karbür kesici takımda da gözlendiği gibi kesici takımın kesme hattı yan kenarının abrasiv olarak aşınmasıyla ilişkilendirilmiştir. Şekil 7.35'de yer alan kesici takım fotoğraflarından yine kesme hızının artmasına bağlı olarak YT oluşumunun azalma eğiliminde olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 7.35'de kuvvet bileşenlerini gösteren grafik, Şekil 7.34'te yer alan grafikle kıyaslandığında, tüm kesme hızlarında kesme kuvveti bileşenlerinin kaplamlı UE6005 kodlu sementit karbürde daha düşük değerde oluştuğu anlaşılmaktadır. Bunun nedeni kaplamanın etkisiyle kesici takımın aşınma direncinin artmasına bağlanmıştır.

AA-6082 alaşımının işlenmesi esnasında ölçülen kesme kuvveti bileşenleri

Şekil 7.36'da MMK malzemelerle aynı üretim parametrelerinde işlem görmüş AA-6082 alaşımının kaplamasız SK ve KBN kesici takımlarla işlenmesinde ölçülen kuvvet bileşenlerine ait değer grafikleri görülmektedir.



(a) (b)

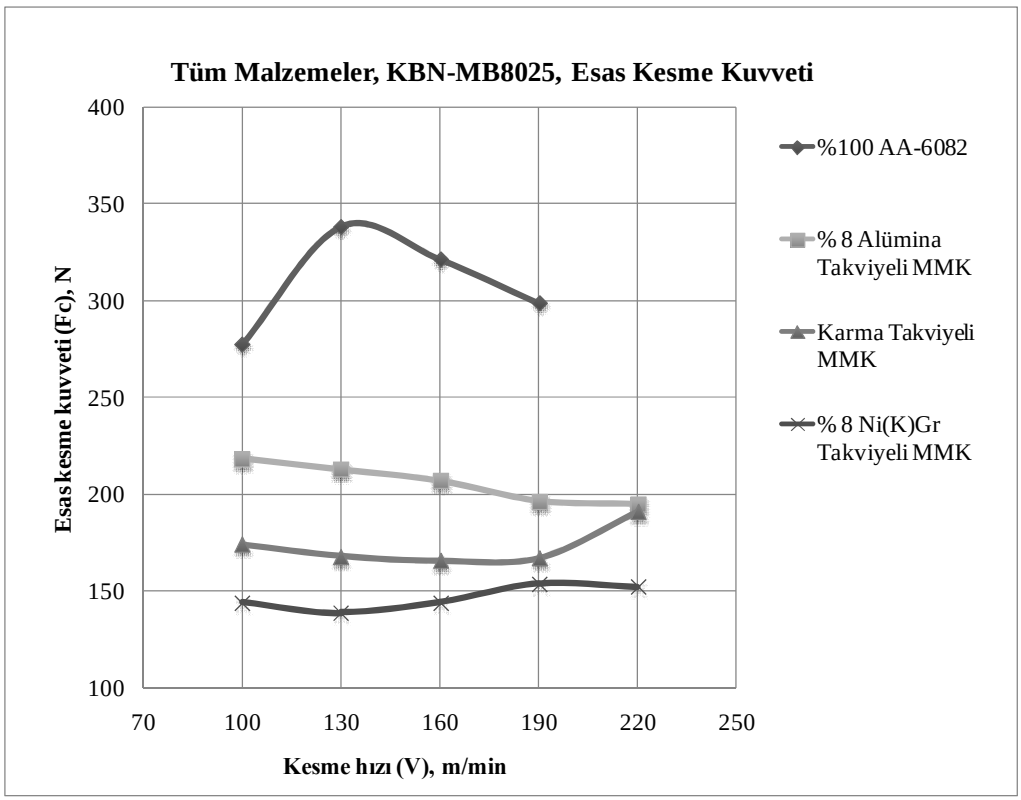
Şekil 7.36. İşlem görmüş AA-6082 matris alaşımının kaplamasız SK ve KBN kesici takımlarla işlenmesinde ölçülen kuvvet bileşenleri
a) Kaplamasız SK (UTi20T), b) Kaplamasız KBN (MB8025)

İşlem görmüş alüminyum alaşımı AA-6082'in kompozit malzemelere kıyasla daha yüksek kesme kuvveti bileşenlerinin oluşmasına neden olduğu yapılan grafik incelemelerden anlaşılmıştır. Bunun nedeni alüminyumun sünek özelliğine bağlı artan yapışma eğilimidir. Şekil 7.36'da tüm kesme hızlarında yine diğer MMK malzemelerde olduğu gibi esas kesme kuvveti, diğer kesme kuvveti bileşenlerine kıyasla daha yüksek değerde ölçülmüştür. Kesme hızı değeri bakımından en düşük olan 100 m/min kesme hızında radyal kuvvet (Fr), ilerleme kuvvetine (Ff) kıyasla bir miktar yüksek ölçülmüştür. Bunun nedeni olarak düşük kesme hızındaki yığıntı talaş miktarının artmasıyla kesme işleminin kazıma işlemine benzer bir tavır alması ve dolayısıyla talaş akış hızının azalması gösterilebilir. 130 m/min ve sonrasındaki kesme hızı değerlerinde kesme kuvveti bileşenlerinin hızla azaldığı Şekil 7.36'dan

anlaşılmıştır. Buda talaş akış hızının artmasına bağlı azalan YT kalınlığına bağlanabilir. AA-6082 alaşımının daha yüksek kesme hızlarında daha az kesme kuvveti oluşumuna neden olacağı düşünülmektedir.

Tornalama işlemi esnasında oluşan kesme kuvveti bileşenlerinden esas kesme kuvvetine bağlı, kullanılan tüm kesici takımların işleme performansları

Kaplamasız MB8025 kodlu KBN kesici takım

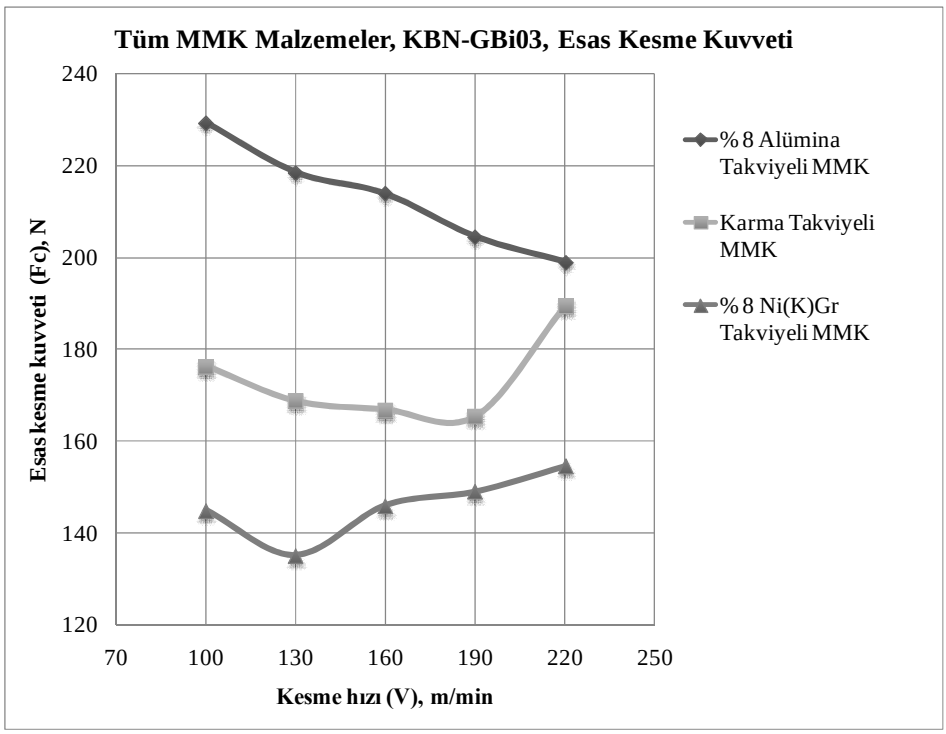


Şekil 7.37. Kaplamasız MB8025 kodlu KBN kesici takımla tüm işlenen malzemelerde esas kesme kuvvetinin kesme hızına bağlı değişimi

Şekil 7.37'de yer alan esas kesme kuvveti değer verilerine ait en yüksekten en düşük kuvvet oluşumuna doğru sıralama yapılacak olursa; sırasıyla % 100 AA-6082 alaşımı, % 8 Al_2O_3 parçacık takviyeli MMK, karma takviyeli MMK, % 8 Ni(K)Gr takviyeli MMK şeklinde sıralanırlar. MMK malzemeler esas kesme kuvveti değerleri bakımından kıyaslandığında, karma takviye elemanı uygulamasının kesme kuvveti bileşenlerinin oluşumu açısından ara bir özellikte olduğunu göstermektedir. Karma

takviye uygulamasıyla 100 m/min kesme hızında, Ni(K)Gr takviyeli kompozite kıyasla esas kesme kuvveti % 20 artmış, Al_2O_3 takviyeli kompozite kıyasla ise aynı oranda azalmıştır. Kesme hızının 190 m/min'ya çıkarılması ile bu oranlar Ni(K)Gr takviyeli kompozitte esas kesme kuvveti artma oranı % 8 değerine gerilemiş, Al_2O_3 takviyeli kompozite ise değişim oranı % 20 oranında sabit kalmıştır. AA-6082 matris alaşımının yapışma eğilimine bağlı olarak işleme deneyinde en fazla esas kesme kuvvetinin oluşmasına neden olduğu görülmektedir. MMK'lerde ise yapı içerisindeki parçacıkların matrisin süneklik ve yapışma eğilimini azaltarak talaş formunu değiştirmeleri kesme kuvvetlerinin düşmesine neden olmuştur.

Kaplamalı GBi03 kodlu KBN kesici takım

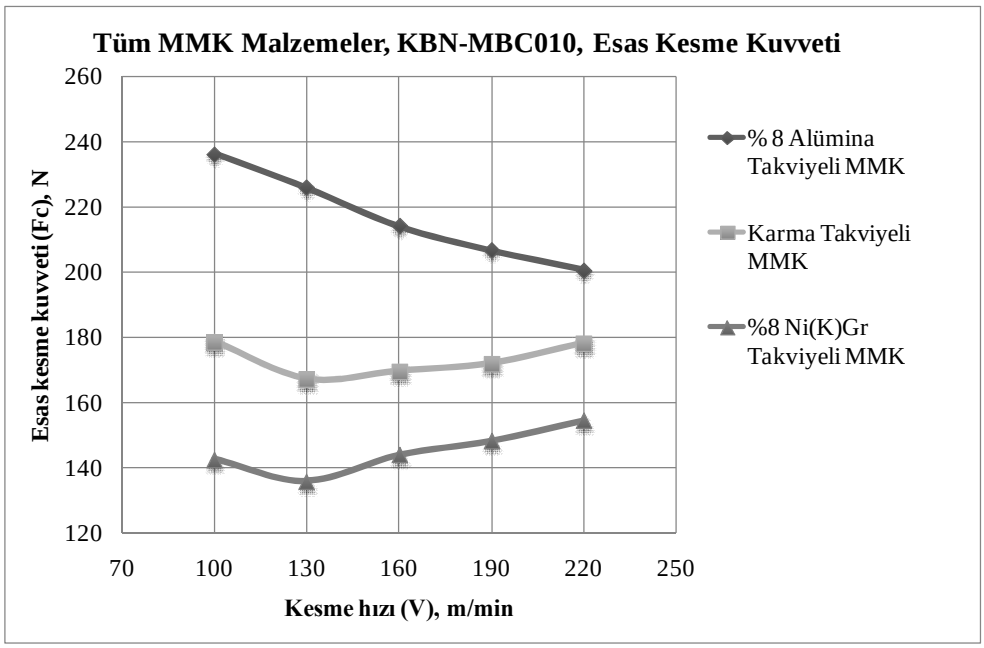


Şekil 7.38. Kaplamalı GBi03 kodlu KBN kesici takımla tüm işlenen malzemelerde esas kesme kuvvetinin kesme hızına bağlı değişimi

Şekil 7.38'de GBi03 kodlu KBN kesici takımla MMK malzemelerin işlenmesinde en az esas kesme kuvvetinin yine Ni(K)Gr parçacıklarla takviyeli kompozitte oluştuğu görülmektedir. Bu MMK'i takiben karma parçacık takviyeli MMK ve Al_2O_3

takviyeli MMK şeklinde esas kesme kuvvetlerinin arttığı tespit edilmiştir. Kesme hızının arttırılmasıyla esas kesme kuvveti değerlerinin Al_2O_3 takviyeli MMK'te düşme, diğer MMK'lerde ise atma eğiliminde oldukları Şekil 7.38'den anlaşılmaktadır. Karma takviyeli kompozitte 100 m/min kesme hızı değerinde ölçülen kesme kuvveti değerleri, Ni(K)Gr parçacık takviyeli MMK'e kıyasla % 22 oranında artmış, Al_2O_3 takviyeli kompozite kıyaslaysa % 23 oranında azalmıştır. Kesme hızının % 120 oranında arttırılması ile 220 m/min değerinde, esas kesme kuvvetinin bu değişim aralığı, Ni(K)Gr parçacık takviyeli MMK'e kıyasla karma takviyeli kompozitte artma oranı % 25 oranına yükselmiş, Al_2O_3 takviyeli kompozite kıyaslaysa karma takviyeli kompozitte azalma aralığı % 5 oranına gerilemiştir.

Kaplamalı MBC010 kodlu KBN kesici takım

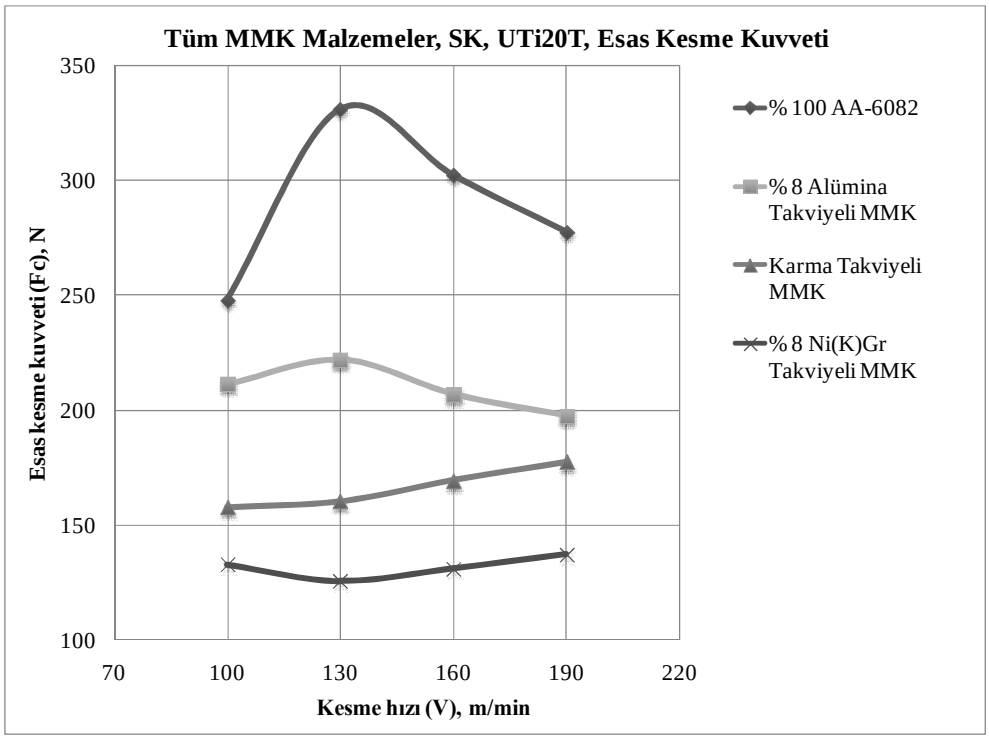


Şekil 7.39. Kaplamalı MBC010 kodlu KBN kesici takımla tüm işlenen malzemelerde esas kesme kuvvetinin kesme hızına bağlı değişimi

Şekil 7.39'da da esas kesme kuvveti tüm kesme hızlarında, hacimce % 8 oranında Al_2O_3 parçacık takviyeli kompozitte en yüksek değerde ölçülmüştür. Bunun nedeni yine malzeme içerisinde yer alan sert seramik parçacıklarının varlığına bağlanmıştır. Kesme hızının artmasıyla esas keme kuvveti değerleri Al_2O_3 parçacık takviyeli

kompozitte düşme eğilimi sergilerken, diğer kompozitlerde ise artma söz konusudur. Karma takviyeli kompozitte 100 m/min kesme hızı değerinde ölçülen kesme kuvveti değerleri, Ni(K)Gr parçacık takviyeli MMK'e kıyasla % 27 oranında artmış, Al_2O_3 takviyeli kompozite kıyaslaysa % 25 oranında azalmıştır. Kesme hızının % 120 oranında arttırılması ile 220 m/min değerinde, esas kesme kuvvetinin bu değişim aralığı, Ni(K)Gr parçacık takviyeli MMK'e kıyasla karma takviyeli kompozitte artma oranı % 15, Al_2O_3 takviyeli kompozite kıyaslaysa karma takviyeli kompozitte azalma aralığı % 14 oranına gerilemiştir.

Kaplamasız UTi20T kodlu SK kesici takım

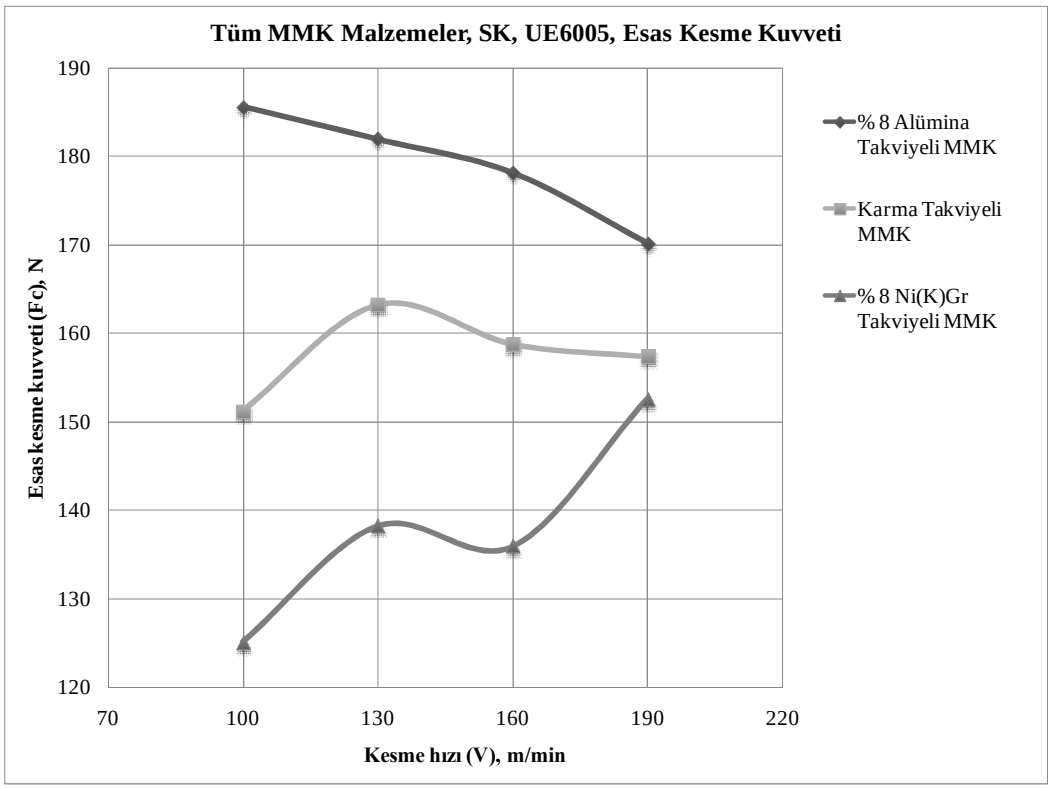


Şekil 7.40. Kaplamasız UTi20T kodlu SK kesici takımla, tüm işlenen malzemelerde esas kesme kuvvetinin kesme hızına bağlı değişimi

Şekil 7.40'da kaplamasız UTi20T kodlu SK kesici takımla tüm işlenen malzemelerde esas kesme kuvvetinin en yüksek değerden en düşük değere doğru, AA-6082, % 8 Al_2O_3 parçacık takviyeli MMK, karma parçacık takviyeli MMK ve % 8 Ni(K)Gr, parçacık takviyeli MMK şeklinde sıralandığı görülmektedir. Takviye elemanlarının

matrisin mikroyapısını değiştirerek esas kesme kuvvetinin azalmasına neden oldukları görülmüştür. Karma takviyeli kompozitte 100 m/min kesme hızı değerinde ölçülen kesme kuvveti değerleri, AA-6082 alaşımına kıyasla % 38 oranında azalmış, Ni(K)Gr parçacık takviyeli MMK'e kıyasla % 16 oranında artmış, Al_2O_3 takviyeli kompozite kıyaslaysa % 25 oranında azalmıştır. Kesme hızının % 120 oranında arttırılması ile 220 m/min değerinde, esas kesme kuvvetinin bu değişim aralığı, AA-6082 alaşımında % 36 artma oranına gerilemiş, Ni(K)Gr parçacık takviyeli MMK'e kıyasla karma takviyeli kompozitte artma oranı % 29 oranına yükselmiş, Al_2O_3 takviyeli kompozite kıyaslaysa karma takviyeli kompozitte azalma aralığı % 10 oranına gerilemiştir.

Kaplamalı UE6005 kodlu SK kesici takım



Şekil 7.41. Kaplamalı UE6005 kodlu SK kesici takımla tüm işlenen malzemelerde esas kesme kuvvetinin kesme hızına bağlı değişimi

Şekil 7.41'de kaplamalı UE6005 kodlu SK kesici takımla tüm işlenen malzemelerde esas kesme kuvvetinin en yüksek değerden en düşük değere doğru, % 8 Al_2O_3 parçacık takviyeli MMK, karma parçacık takviyeli MMK ve % 8 Ni(K)Gr, parçacık takviyeli MMK şeklinde sıralandığı görülmektedir. Şekil 7.40'da sunulan kaplamasız SK kesici takımda da olduğu gibi kesme hızının artmasıyla esas keme kuvveti değerleri, Al_2O_3 parçacık takviyeli kompozitte düşme eğilimi sergilerken, diğer kompozitlerde ise artma söz konusudur. Karma takviyeli kompozitte 100 m/min kesme hızı değerinde ölçülen kesme kuvveti değerleri, Ni(K)Gr parçacık takviyeli MMK'e kıyasla % 21 oranında artmış, Al_2O_3 takviyeli kompozite kıyaslaysa % 19 oranında azalmıştır. Kesme hızının % 120 oranında arttırılması ile 220 m/min değerinde, esas kesme kuvvetinin bu değişim aralığı, Ni(K)Gr parçacık takviyeli MMK'e kıyasla karma takviyeli kompozitte artma oranı % 3 oranına, Al_2O_3 takviyeli kompozite kıyaslaysa karma takviyeli kompozitte azalma aralığı % 8 oranına gerilemiştir.

7.4.3. Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi

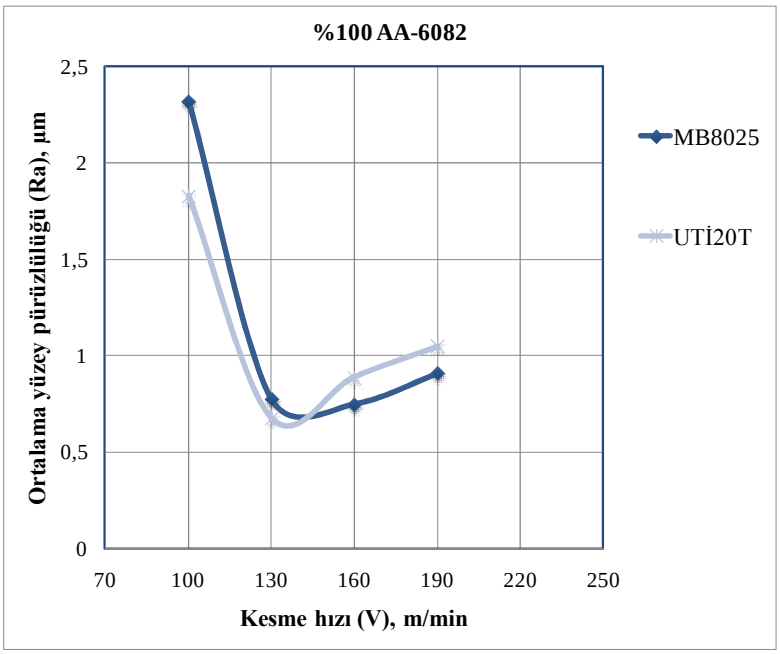
Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri kesme kuvveti ölçüm deneylerinde gerçekleştirilmiştir. İlerleme hızı (0,15 mm/rev) ve kesme derinliğinin (1 mm) sabit tutulduğu kuru işleme şartları sonrasında gerçekleştirilen ölçümlerle, malzeme ve kesici takım özellikleri ile kesme hızının değişimine bağlı, işlenen yüzeylerin ortalama yüzey pürüzlülük değeri bakımından değerlendirilmiştir.

<u>AA-6082 matris alaşımına ait yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonuçları</u>

İşlem görmüş AA-6082 alaşımının kaplamasız SK ve yine kaplamasız KBN kesici takımlar ile tornalama işlemi sonrasında ölçülmüş ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri Çizelge 7.9'da yer almaktadır. Çizelgedeki değerler grafik halinde Şekil 7.42'de sunulmuştur.

Çizelge 7.9. AA-6082 matris alaşımının işlenmesinde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri

Kesici takım özellikleri ve ISO uç kodu	Malzeme	İlerleme hızı (f), mm/rev	Kesme derinliği (a), mm	Kesme hızı (V), m/min	Ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri (Ra), µm
Kaplamasız SK SNMA120408 UTİ20T-K20	% 100 AA-6082	0,15	1,00	100	1,83
				130	0,68
				160	0,89
				190	1,05
Kaplamasız KBN SNMA120408 MB8025	% 100 AA-6082	0,15	1,00	100	2,32
				130	0,78
				160	0,75
				190	0,91



Şekil 7.42. AA-6082 matris alaşımının kaplamasız SK ve KBN kesici takımlar ile tornalama işlemi sonrasında ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değer grafiği

Şekil 7.42'de 100 m/min kesme hızı değerinde her iki kesici takım içinde en yüksek ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri ölçülmüştür. Bu durum YT oluşumuyla ilişkilendirilmiştir. Normalde yığıntı talaşın varlığı talaş kökü alma cihazlarıyla belirlenebilmektedir. Bazı durumlarda yüksek yüzey pürüzlülük değerleri de yığıntı talaşın varlığını gösterebilir. Kesici uç üzerindeki yığıntı talaş kesici takım üzerinden iş parçası malzemesine doğru çıkıntı oluşturarak talaş derinliğini ve kesicinin kesme geometrisini değiştirir. İşlenen malzeme ile temas eden düzensiz bir yapıdaki kesme

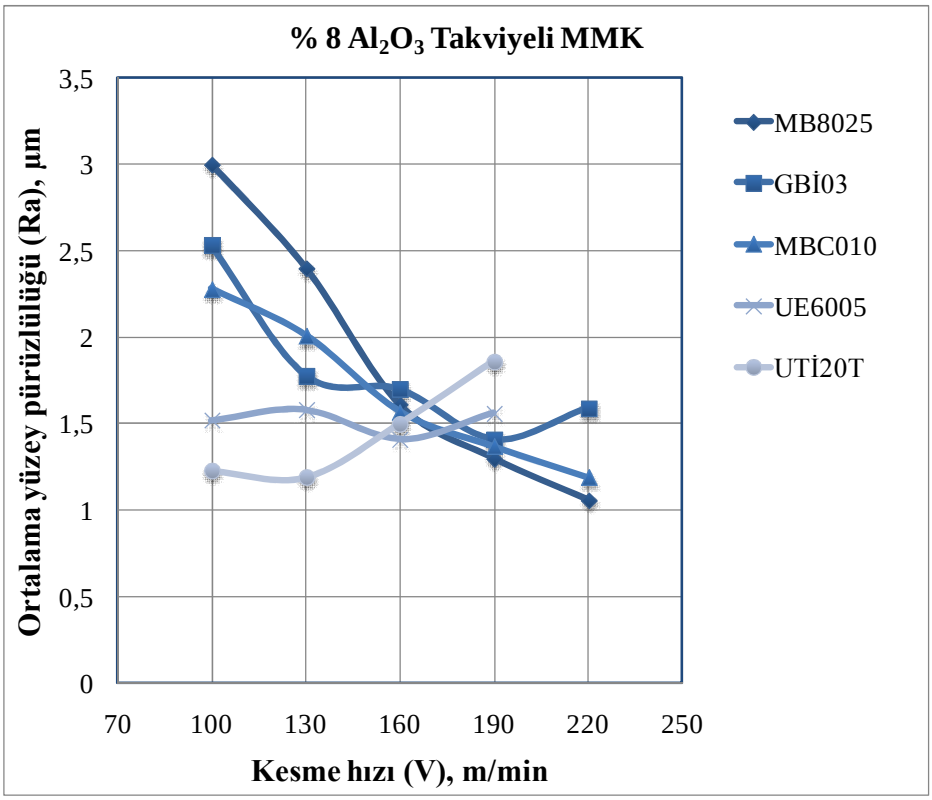
geometrisi yüzey pürüzlülüğünü artırır [7,40,47,48,]. Şekil 7.42'de kesme hızının 100 m/min hızından % 30 arttırılarak 130 m/min'ya çıkarılması ile ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinde kaplamasız SK kesici takımda % 270 ve yine kaplamasız KBN kesici takımda ise % 309 oranında iyileşme tespit edilmiştir. AA-6082 alaşımının işleme deneyleri sonrasında en iyi yüzey pürüzlülüğü değeri UTi20T kodlu SK kesici takım ile 130 m/min kesme hızında 0,68 µm değerinde ölçülmüştür.

Hacimce % 8 Al_2O_3 parçacık takviyeli MMK'e ait yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonuçları

Hacimce % 8 Al_2O_3 parçacık takviyeli kompozitin tornalama işlemi sonrasında ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri Çizelge 7.10'de çizelge halinde ve Şekil 7.43'te de grafik olarak sunulmuştur.

Çizelge 7.10. Hacimce % 8 Al_2O_3 parçacık takviyeli kompozitin işlenmesinde ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri

Kesici takım özellikleri ve ISO uç kodu	**Malzeme**	**İlerleme hızı (f), mm/rev**	**Kesme derinliği (a), mm**	**Kesme hızı (V), m/min**	**Ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri (Ra), µm**
Kaplamasız KBN SNGA120408 MB8025	% 8 Al_2O_3	0,15	1,00	100	3,0
				130	2,4
				160	1,61
				190	1,3
				220	1,06
Kaplamalı KBN SNGA120408 GBi03	% 8 Al_2O_3	0,15	1,00	100	2,53
				130	1,78
				160	1,7
				190	1,41
				220	1,59
Kaplamalı KBN SNGA120408 MBC010	% 8 Al_2O_3	0,15	1,00	100	2,28
				130	2,01
				160	1,57
				190	1,37
				220	1,19
Kaplamalı SK SNMA120408 UE6005-K20	% 8 Al_2O_3	0,15	1,00	100	1,52
				130	1,58
				160	1,41
				190	1,56
Kaplamasız SK SNMA120408 UTİ20T-K20	% 8 Al_2O_3	0,15	1,00	100	1,23
				130	1,19
				160	1,5
				190	1,86



Şekil 7.43. Hacimce % 8 Al_2O_3 parçacık takviyeli kompozitin tornalama işlemi sonrasında ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değer grafiği

Çizelge 7.10 ve Şekil 7.43'te hacimce % 8 Al_2O_3 parçacık takviyeli kompozitin KBN kesici takımlarla tornalama işlemi sonrasında ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin kesme hızının arttırılması ile düşüş eğiliminde olduğu görülmektedir. SK kesici takımlarda ise özellikle kaplamasız UTi20T kodlu kesici takımda kesme hızının artmasıyla işlenen yüzeyin ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinin de arttığı tespit edilmiştir. Bu durum kesici takımın aşınma direnciyle ilişkilendirilmiştir. Bazı araştırmacılar tarafından bu durum sementit karbür kesici takımlarla MMK malzemelerin işlenmesinde hızlı kesici takım aşınması sebebiyle işlenen yüzeyin aşırı deformasyona uğraması ile açıklanabilir [40,47]. SK kesici takımlar özellikle düşük kesme hızlarında KBN kesici takımlara kıyasla daha iyi ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinin oluşmasına neden olurken, bu durum 160 m/min kesme hızının sonrasında tersine dönmüştür. Hacimce % 8 Al_2O_3 parçacık takviyeli kompozitin, 190 m/min kesme hızında işlenmesi sonrasında ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerine göre, kesici takımlar en iyiden en kötüye doğru; kaplamasız

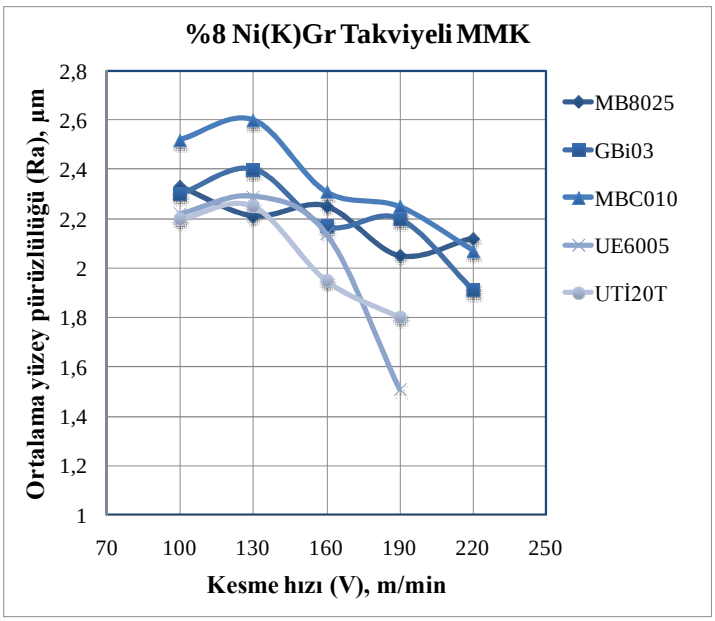
MB8025 KBN, kaplamalı MBC010 KBN, kaplamalı GBi03 KBN, kaplamalı UE6005 kodlu SK ve kaplamasız UTi20T kodlu SK şeklinde sıralanırlar. Burada kaplamasız KBN kesici takımın en düşük yüzey pürüzlülüğüne neden olması kaplamalı KBN kesici takımların takım ömrü ve aşınma deneyleri kısmında yer alan SEM fotoğrafları incelenerek açıklanabilir. Kaplamalı KBN kesici takımların üzerindeki kaplama katmanının, MMK yapı içerisinde yer alan Al_2O_3 seramik parçacıkları tarafından abrasiv aşınma mekanizması ile hızla aşındığı tespit edilmiştir. Aşınan bu kaplamalar kesicinin talaş yüzeyi ve özellikle kesme hattı üzerinde dışa ve yan yüzeye doğru YT oluşumuna katkıda bulundukları ve YT'ın tutunma zamanını arttırdıkları tespit edilmiştir. Böylelikle de işlenen yüzeyin kararsız, değişen bir geometriye sahip kesici takımla işlenmiş gibi pürüzlülüğünün artmasına neden olmuşlardır. Hatta talaş kökü fotoğraflarında (Resim 7.23, Resim 7.24) yer alan işlenmiş yüzeydeki YT tepeciklerinin işlenen yüzeyin pürüzlülük değerine kötü yönde yansıdıkları da talaş kökü incelemelerinden anlaşılmıştır. Hacimce % 8 Al_2O_3 takviyeli kompozitin işlenmesinde en iyi ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri, kaplamasız MB8025 kodlu KBN kesici takımla işlemede 1,06 μm olarak ölçülmüştür.

Hacimce % 8 Ni(K)Gr parçacık takviyeli MMK'e ait yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonuçları

Hacimce % 8 Ni(K)Gr parçacık takviyeli kompozitin tornalama işlemi sonrasında ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri Çizelge 7.11'de çizelge halinde ve Şekil 7.44'te de grafik olarak sunulmuştur.

Çizelge 7.11. Hacimce % 8 Ni(K)Gr parçacık takviyeli MMK'in işlenmesi sonrasında ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri

Kesici takım özellikleri ve ISO uç kodu	Malzeme	İlerleme hızı (f), mm/rev	Kesme derinliği (a), mm	Kesme hızı (V), m/min	Ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri (Ra), µm
Kaplamasız KBN SNGA120408 MB8025	% 8 Ni(K)Gr	0,15	1,00	100	2,33
				130	2,21
				160	2,25
				190	2,05
				220	2,12
Kaplamalı KBN SNGA120408 GBi03	% 8 Ni(K)Gr	0,15	1,00	100	2,3
				130	2,4
				160	2,17
				190	2,2
				220	1,91
Kaplamalı KBN SNGA120408 MBC010	% 8 Ni(K)Gr	0,15	1,00	100	2,52
				130	2,6
				160	2,31
				190	2,25
				220	2,07
Kaplamasız SK SNMA120408 UTİ20T-K20	% 8 Ni(K)Gr	0,15	1,00	100	2,2
				130	2,25
				160	1,95
				190	1,8
Kaplamalı SK SNMA120408 UE6005-K20	% 8 Ni(K)Gr	0,15	1,00	100	2,22
				130	2,29
				160	2,14
				190	1,51

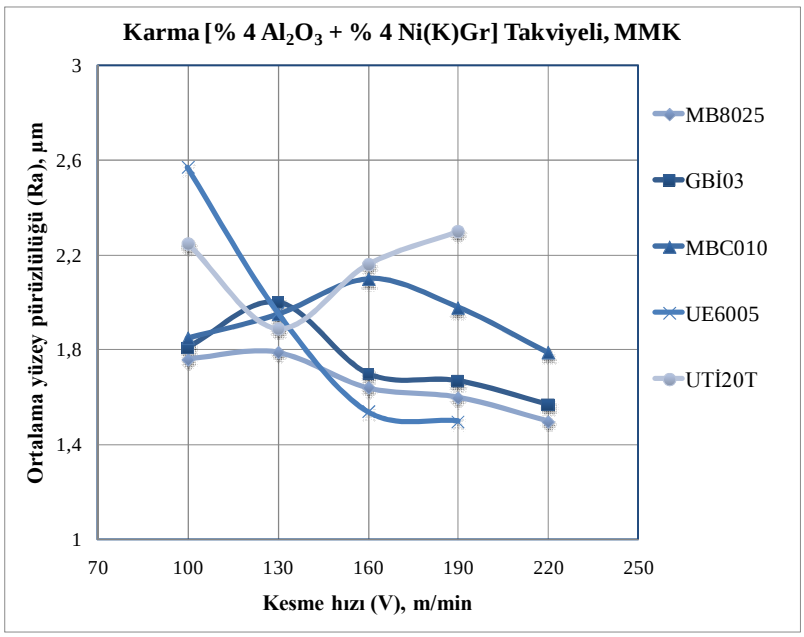


Şekil 7.44. Hacimce % 8 Ni(K)Gr parçacık takviyeli kompozitin tornalama işlemi sonrasında ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değer grafiği

Şekil 7.44'te hacimce % 8 Ni(K)Gr parçacık takviyeli kompozitin tornalama işlemi sonrasında ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin kesme hızının arttırılmasıyla azalma eğiliminde oldukları görülmektedir. Bu azalma eğilimi sementit karbür kesici takımlarda KBN kesicilere kıyasla daha fazladır. Hacimce % 8 oranında Ni(K)Gr parçacık takviyeli kompozitin, 190 m/min kesme hızında işlenmesi sonrasında ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerine göre, kesici takımlar en iyiden en kötüye doğru; kaplamalı UE6005 kodlu SK, kaplamasız UTi20T kodlu SK, kaplamasız MB8025 kodlu KBN, kaplamalı GBi03 kodlu KBN ve kaplamalı MBC010 kodlu KBN şeklinde sıralanırlar. Bu MMK malzemenin işleme deneyleri sonrasında en iyi ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri 190 m/min kesme hızında kaplamalı UE6005 kodlu SK kesici takımla işlenmesinde 1,51 µm değerinde ölçülmüştür.

Karma parçacıklarla takviyeli MMK'e ait yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonuçları

Karma parçacıklarla takviyeli kompozitin tornalama işlemi sonrasında ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri Çizelge 7.12'de çizelge halinde ve Şekil 7.45'te de grafik olarak sunulmuştur.



Şekil 7.45. Karma parçacıklarla takviyeli kompozitin tornalama işlemi sonrasında ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değer grafiği

Çizelge 7.12. Karma parçacıklarla takviyeli kompozitin işlenmesi sonrasında ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri

Kesici takım özellikleri ve ISO uç kodu	**Malzeme**	**İlerleme hızı (f), mm/rev**	**Kesme derinliği (a), mm**	**Kesme hızı (V), m/min**	**Ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri (Ra), µm**
Kaplamasız KBN SNGA120408 MB8025	Karma Takviyeli, % 4 Al_2O_3 % 4 Ni(K)Gr	0,15	1,00	100	1,76
				130	1,79
				160	1,64
				190	1,60
				220	1,50
Kaplamalı KBN SNGA120408 GBi03	Karma Takviyeli, % 4 Al_2O_3 % 4 Ni(K)Gr	0,15	1,00	100	1,81
				130	2,00
				160	1,70
				190	1,67
				220	1,57
Kaplamalı KBN SNGA120408 MBC010	Karma Takviyeli, % 4 Al_2O_3 % 4 Ni(K)Gr	0,15	1,00	100	1,85
				130	1,95
				160	2,10
				190	1,98
				220	1,79
Kaplamasız SK SNMA120408 UTi20T-K20	Karma Takviyeli, % 4 Al_2O_3 % 4 Ni(K)Gr	0,15	1,00	100	2,25
				130	1,89
				160	2,16
				190	2,30
Kaplamalı SK SNMA120408 UE6005-K20	Karma Takviyeli, % 4 Al_2O_3 % 4 Ni(K)Gr	0,15	1,00	100	2,57
				130	1,96
				160	1,54
				190	1,5

Şekil 7.45'te karma parçacık takviyeli MMK'in işleme deneyleri sonrasında ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin 220 m/min kesme hızında KBN kesici takımlarda en düşük değerde elde edildiği görülmektedir. Sementit karbür kesici takımlarda ise en düşük ortama yüzey pürüzlülüğü değeri kaplamalı SK kesicide 190 m/min kesme hızı değerinde, kaplamasız SK kesicide ise 130 m/min düşük kesme hızında ölçülmüştür. Kaplamasız SK kesici takımın aşınma direncine bağlı olarak yüksek kesme hızlarında yüzey pürüzlülüğü değerlerinin arttığı gözlenmiştir. En iyi yüzey pürüzlülüğü değeri KBN kesici takımlarda 220 m/min kesme hızında kaplamasız MB8025 kodlu KBN kesici takımla gerçekleştirilen işleme deneyleri sonrasında 1,5 µm değerinde ölçülmüştür. MMK'in SK kesici takımlarla işlenmesi sonrasında en iyi ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri UE6005 kodlu SK kesici takım ile 190 m/min kesme hızında aynı değerde ölçülmüştür.

7.4.4. Kesici takımların işleme maliyetlerinin değerlendirilmesi

MMK malzemeler son şekle yakın üretilmiş olsalar dahi özellikle talaşlı imalatla şekillendirilmek zorundadırlar. Buda bünyelerinde yer alan sert ve aşındırıcı takviye fazı nedeniyle oldukça zor ve maliyet açısından külfetlidir. Araştırmacılar MMK malzemelerin tasarlanırken istenilen dayanım özelliklerini sergileyecek tarzda ve şekillendirilme maliyetlerini de dikkate alarak tasarlanması gerektiğini vurgulamaktadırlar. Çalışmada üretilen MMK'ler özellikle karma ve yekpare takviyeli olarak üretilmişlerdir. Bu da işlenebilirlikleri açısından kıyaslama yaparak, düşük işleme maliyetli kompozit yapının belirlenmesine olanak tanımıştır. Bu amaçla, alümina ve karma takviyeli MMK malzemelerin işlenmesinde kullanılan kesici takımların maliyet çizelgeleri (Çizelge 7.13 ve Çizelge 7.14) çıkarılmıştır.

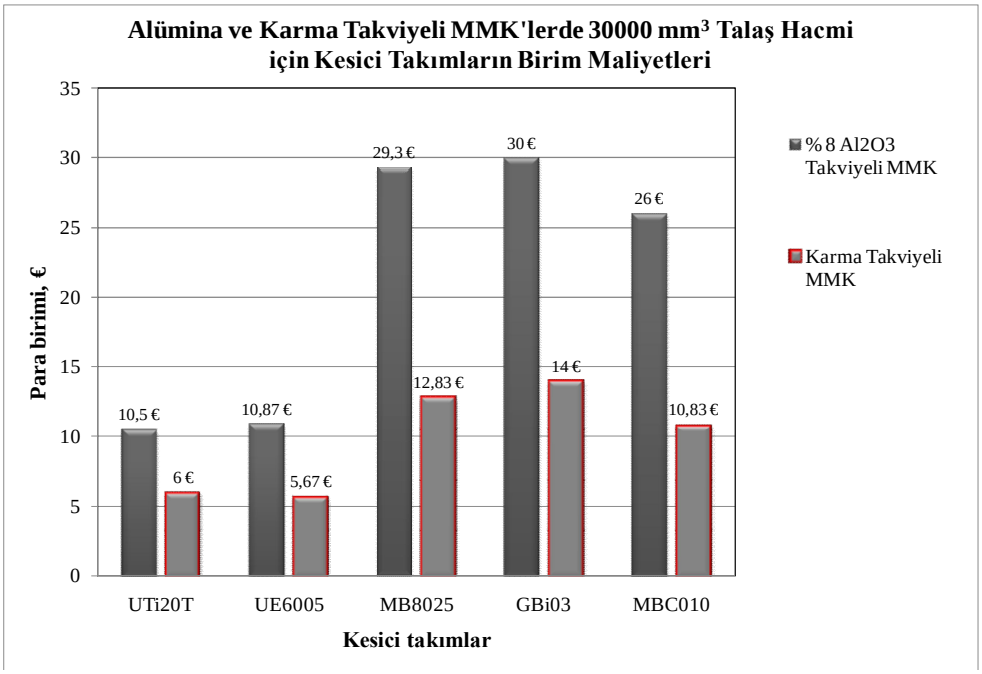
Çizelge 7.13. Hacimce % 8 Al_2O_3 takviyeli MMK malzemenin işlenmesinde kullanılan kesici takımların maliyet çizelgesi

% 8 Al_2O_3 takviyeli MMK Malzeme İşleme Maliyet Analizi									
Kesici takım	**Kesme hızı**	**Kesici takım birim fiyatı, €**	**Kesici takım uç sayısı**	**Uç başına birim fiyat, €**	**Uç başına kaldırılan talaş hacmi, mm^3**	**Vb aşınma miktarı, mm**	**Vb = 0,3 mm için uç başına ömür talaş hacmi, mm^3**	**Takım için ömür talaş hacmi, mm^3**	**30000 mm^3 için birim maliyet, €**
UTi20T	190 m/min	6	8	0,75	2000	0,29	2070	16560	10,5
UE6005		7	8	0,875	2000	0,24	2500	20000	10,87
MB8025		22	2	11	3000	0,08	11250	22500	29,3
GBi03		24	2	12	3000	0,075	12000	24000	30
MBC010		26	2	13	3000	0,06	15000	30000	26

Çizelge 7.14. Karma takviyeli MMK malzemenin işlenmesinde kullanılan kesici takımların maliyet çizelgesi

Karma takviyeli MMK Malzeme İşleme Maliyet Analizi									
Kesici takım	**Kesme hızı**	**Kesici takım birim fiyatı, €**	**Kesici takım uç sayısı**	**Uç başına birim fiyat, €**	**Uç başına kaldırılan talaş hacmi, mm^3**	**Vb aşınma miktarı, mm**	**Vb = 0,3 mm için uç başına ömür talaş hacmi, mm^3**	**Takım için ömür talaş hacmi, mm^3**	**30000 mm^3 için birim maliyet, €**
UTi20T	190 m/min	6	8	0,75	2000	0,16	3750	30000	6
UE6005		7	8	0,875	2000	0,13	4615	36920	5,67
MB8025		22	2	11	3000	0,035	25714	51428	12,83
GBi03		24	2	12	3000	0,035	25714	51428	14
MBC010		26	2	13	3000	0,025	36000	72000	10,83

Çizelge 7.13 ve Çizelge 7.14 kesici takımlarla 190 m/min kesme hızında, toplamda kaldırılan talaş hacmine bağlı, kesici takım yanak yüzeyinde meydana gelen aşınma genişlikleri (V_b) dikkate alınarak hazırlanmıştır. ISO3685 standardına göre kesici takım yanak aşınması için ömür kıstası V_b = 0,3 mm'dir. Bu kıstasın, kesici takımların kesme hattı yanak yüzeyinde oluşması için gerekli kesici takım ömür talaş hacmi, oran ve orantı prensibine bağlı hesaplanmıştır. Üretilen MMK malzemeler içerisinde işlenebilirliği en zor olan Al_2O_3 takviyeli kompozitin, kesici takımlarla işlenmesi sonrasında yapılan hesaplamalarda elde edilen en fazla kaldırılan talaş hacim miktarı, kesici takım ömür talaş hacmi kıstası olarak kullanılmıştır. Bu değer Çizelge 7.13'de 30000 mm^3 talaş hacmi değeri olarak, MBC010 kodlu KBN kesici takımda tespit edilmiştir. Elde edilen veriler Şekil 7.46'daki grafikte sunulmuştur.



Şekil 7.46. Alümina ve karma takviyeli MMK'lerde 30000 mm^3 talaş hacmi için kesici takımların birim maliyet grafiği

Şekil 7.46'da 30000 mm^3 talaş hacmi için gerekli birim kesici takım maliyetleri incelendiğinde, alümina takviyeli MMK için en az maliyetle işleme yapabilmek için UTi20T kodlu SK kesici takımın kullanılması önerilebilir. Fakat işleme maliyeti bakımından az görülen bu değer, imalat süresi dikkate alındığında kesicinin 30000 mm^3 talaş hacmini kesebilmesi için 14 köşesinin (10,5 / 0,75 = 14) kullanılmasını

gerektirmektedir. Buda kesicinin 14 defa sökülüp takılması demektir. Bu durum ürün imalat süresini uzatacaktır. Ekonomik imalat yapılmak istenirken uzun süren imalat süresi bu kesicinin ekonomikliğini düşünmemiz gerektiğini bildirmektedir. Aynı zamanda sürekli kesme yapılamayacağı için de bu kesicinin, ürün imalat süresi göz ardı edildiğinde sadece kaba talaş alma işlemlerinde ekonomik olarak kullanılabileceği çıkarımında bulunabilinir. Bu açıklamalar ışığında KBN kesici takımları işleme sürekliliği açısından birbirleri ile kıyaslanırsa alümina takviyeli MMK için en ekonomik KBN kesici takımın MBC010 kodlu KBN kesici takım olduğu görülmektedir. Diğer kesici takımlarla 30000 mm^3 talaş hacmini kesebilmek için her iki KBN kesici takımdan da iki adet alınması gerektiği düşünülürse MBC010 kodlu KBN kesici takım en ekonomik işleme maliyetine sahiptir. Şekil 7.46'da yine 30000 mm^3 talaş hacmi için gerekli birim kesici takım maliyetleri karma takviyeli kompozit için incelendiğinde, SK kesici takımlar arasında UE6005 kodlu kaplamalı SK'ün en düşük birim işleme maliyetine sahip olduğu anlaşılmaktadır. Fakat bu kesici takımında yine alümina takviyeli kompozitte olduğu gibi ürün imalat süresi göz ardı edildiğinde, sadece kaba talaş alma işlemleri için ekonomik olduğu göz ardı edilmemelidir. Çünkü bu kesici takımında 7 köşesinin (5,67 / 0,875 = 6,48 ~7) kullanılması gerekmektedir. Sürekli kesme operasyonlarında bu kompozit içinde sadece KBN kesici takımların kullanılabileceği anlaşılmaktadır. Şekil 7.46'da KBN kesici takımların işleme maliyetleri kıyaslandığında ise yine MBC010 kodlu kesici takımın en ekonomik (30000 mm^3 talaş hacmi için 10,83 €) KBN kesici takım olduğu görülmektedir.

Şekil 7.46'dan alümina ve karma takviyeli kompozitler işleme maliyetleri bakımından kıyaslanırlarsa, karma takviye elemanı uygulamasıyla işleme maliyeti bakımından SK kesici takımlarda, UTi20T kodlu kaplamasız SK kesicide % 43, UE6005 kodlu kaplamalı SK kesicide ise % 48 oranında iyileşme sağlanmıştır. KBN kesici takımlarda ise bu oranlar; MB8025 kodlu kaplamasız KBN kesicide % 56, GBi03 kodlu kaplamalı KBN kesicide % 53, MB8025 kodlu kaplamasız KBN kesicide % 58 şeklinde hesaplanmıştır. Bu iyileşmelerin nedeni karma MMK yapı içerinde yer alan Al_2O_3 takviye elemanı oranının yekpare alümina takviyeli MMK'e kıyasla % 50 oranında daha az olmasıdır.

8. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada Al_2O_3 ve Ni(K)Gr parçacıkları tekli ve karma olarak, en fazla % 8 hacim oranında AA-6082 alaşımına ilave ederek üç farklı MMK malzeme üretilmiştir. Aynı zamanda kıyaslamada kullanılmak üzere, MMK'lerle aynı şartlarda AA-6082 alaşımı da tekrar ergitilerek basınçlı döküm yöntemiyle üretilmiştir. Üretilen MMK malzemelerin mikroyapı özellikleri, sertlik ve yoğunluk değerleri ile gözenek miktarlarının ve işlenme özelliklerinin belirlenmesi amacıyla deneyler yapılmıştır. Üretilen malzemelerin işlenebilirlik özellikleri, tornalama yönteminde farklı kesici takımlar kullanılarak incelenmiştir. Yapılan bu deneysel çalışmalardan aşağıdaki sonuçlar çıkarılmış ve bazı öneriler sunulmuştur:

1. Matris alaşımının ergimesi için ergitme fırını sıcaklık değerinin 680 ºC'ye ayarlanması yeterlidir. Fakat takviye elemanlarının ilave işleminde bu sıcaklığın matrisin yarı-katı ergime sıcaklığına yakın bir değere (640 ºC) indirilmesi, parçacıkların ana faz tarafından ıslatılmasına yardımcı olacaktır. Metal kalıba, karışımın alınmasından önce ise sıcaklık değerinin 700 ºC'ye çıkarılması, karışımın döküm işlemini kolaylaştırmaktadır. Metal döküm kalıbının ve sıkıştırma piminin tav fırınında 500 ºC sıcaklığa kadar ön ısıtma işlemine tabi tutulması gerekmektedir.

2. Matris fazının pota içerisinde ergimeden önce koruyucu atmosfer ortamının fırın içerisinde oluşturulması gerekmektedir. Bu işlem için % 99,99 saflıkta argon gazının kullanılması ve koruyucu atmosfer ortamının döküm işlemi bitene kadar devam ettirilmesi önerilir.

3. Takviye elemanlarının ilave yönteminin, parçacıkların alüminyum folyo içerisine yaklaşık 4 ~ 6 g'lık paketler halinde sarılarak, elle üst kapaktaki ilave deliklerinden atılmasıyla, parçacıkların daha kolay ergimiş metal içerisine nüfus ettikleri ve matris tarafından ıslatılmalarının kolaylaştığı tespit edilmiştir. Ayrıca parçacıkları folyo içerisine sarmadan önce hacimce % 1 oranında magnezyum tozu ile karıştırılması ıslanma özelliklerini iyileştirmiştir.

4. Takviye elemanları karıştırma işleminde, türbin kanatlı karıştırıcının kullanılması parçacık dağılımının homojenleştirilmesine katkıda bulunmuştur. Bu karıştırıcı uç ile takviye elemanlarının tamamının ilave işlemi bitene kadar, çok düşük dönme hızında (örneğin; 100 rev/min) karıştırma işlemi devam ettirilmelidir. Aynı zamanda karıştırıcının dönüş yönü, zaman zaman saat ibresi yönü ve tersinde döndürülmeli ve karıştırıcı aşağı-yukarı hareket ettirilmelidir. Takviye elemanlarının ilave işleminin bitiminde, karıştırıcının dönme hızı kademeli olarak arttırılmalı ve en yüksek hıza ulaşıldıktan sonra yirmi dakika daha karıştırma işlemi sürdürülmelidir. Bu sürede karıştırıcı zaman zaman saat ibresi ve tersi yönünde döndürülmeli ve aynı zamanda aşağı-yukarı hareket ettirilmelidir. Bu işlemlerin homojen parçacık dağılımına katkıda bulunduğu mikroyapı incelemeleri esnasında tespit edilmiştir.

5. Nikel kaplı grafit takviye elemanlarının alüminyum esaslı matris alaşımı tarafından rahatlıkla ıslatıldığı ve topaklanma eğiliminde olmadıkları mikroyapı incelemelerinde tespit edilmiştir.

6. Karışımın metal kalıba alımından sonra, yön kontrol valfli motorlu hidrolik preste, kalıp içerisinde 93,59 MPa yük uygulanmıştır. Uygulanan bu yük ile matrisin mikroyapısını oluşturan tanelerin, çokgen formunda şekillendiğini ve üretilen tüm malzemelerde gözenek miktarının azaldığı tespit edilmiştir. Bu nedenle ergimiş metal karıştırma yöntemi ile MMK malzeme üretiminde, sıkıştırmalı döküm tekniği de beraberinde kullanılmalıdır. Üretilen MMK malzemelerde ölçümler sonucunda en düşük gözenek miktarı karma takviyeli kompozitte % 0,3 değerinde ölçülmüştür. En yüksek gözeneklilik değeri ise hacimce % 8 Ni(K)Gr takviyeli kompozitte % 0,96 değerinde ölçülmüştür. Karma takviye elemanı uygulaması gözenek miktarını azaltmıştır.

7. Mikroyapı incelemeleri tüm kompozitlerde nispeten homojen dağılmış parçacıklar şeklinde, takviye elemanlarının ana faz alaşımı tarafından istenilen formda ıslatıldığını göstermiştir. Hacimce % 8 Al_2O_3 ve karma takviyeli kompozitlerde az da olsa parçacık topaklanmalarının var olduğu gözlenmiştir.

8. Üretilen kompozitlerin sertlik değerleri ana faz alaşımına göre daha yüksek değerde ölçülmüştür. Takviye elemanı sertlik değerine bağlı olarak üretilen kompozitlerin sertliklerinin değiştiği, ayrıca Al_2O_3 parçacıklarının oranının artmasıyla sertliğinde arttığı görülmüştür. En yüksek sertlik değeri hacimce % 8 Al_2O_3 takviyeli kompozitlerde 105 BHN olarak ölçülmüştür.

9. Kesici takımlarla gerçekleştirilen işleme deneylerinde, takviye elemanı tipinin ve yüzde hacim oranının, kesici takımların aşınmasına ve kuvvet bileşenlerinin değişimine etkide bulunduğu tespit edilmiştir. Özellikle SK kesici takımlarla hacimce % 8 Al_2O_3 parçacıklarla takviyeli kompozitin işleme deneylerinde, kesici takım aşınmalarının etkin olarak, yan yüzeyde olduğu ve aşınma mekanizmasının esas olarak adhesiv aşınma olmakla birlikte abrasiv ve diğer aşınma mekanizmaları ile oluştuğu takım mikroskobu ve SEM incelemelerinde tespit edilmiştir. Ayrıca bu kompozitte tüm işleme deneylerinde kesme kuvveti bileşenlerinin, diğer MMK'lere kıyasla daha yüksek değerlerde oluştuğu tespit edilmiştir. En az esas kesme kuvveti değeri, hacimce % 8 Ni(K)Gr takviyeli kompozitin, çok katlı kaplamalı UE6005 kodlu SK kesici takımla, 100 m/min kesme hızında işlenmesi esnasında 125,08 N olarak ölçülmüştür.

10. Hacimce % 8 Ni(K)Gr takviyeli kompozitin işleme deneylerinde kullanılan kesici takımlarda YT oluşumu gözlenirken, takım aşınmasına rastlanmamıştır.

11. Gerçekleştirilen işlenebilirlik deneylerinde tüm kesici takımlarda etkili yığıntı talaş oluşumunun var olduğu, takım mikroskobu, optik mikroskop talaş kökü incelemeleri ve SEM görüntülerinde tespit edilmiştir. Matris alaşımı, alüminyum gibi sünek ve işleme esnasında yapışma eğilimi yüksek alaşımlar seçildiğinde, bu durumun kaçınılmaz olduğu dikkate alınmalıdır.

12. Karma takviye elemanı uygulamasıyla işleme deneylerinde hacimce % 8 Al_2O_3 takviyeli kompozite kıyasla daha az kesme kuvveti bileşenlerinin oluştuğu ve kesici takımların daha az aşındığı tespit edilmiştir. Karma takviye elemanlı kompozitler işlenme özellikleri bakımından ideal bir özelliktedir.

13. En iyi ortalama yüzey pürüzlülük değeri, hacimce % 8 ortalama 42 μm boyutlu Al_2O_3 parçacıklarla takviyeli kompozitin kaplamasız MB8025 kodlu KBN kesici takım ile 220 m/min kesme hızında işlenmesi sonrasında 1,05 μm değerinde ölçülmüştür. Bu değer soğutma ortamlarının kullanılmasıyla daha da düşürülebilir.

14. Ni(K)Gr takviyeli MMK'in işleme deneylerinde, en az kesme kuvveti bileşenlerinin oluşumu ve yüzey pürüzlülüğü dikkate alındığında, maliyet açısından UE6005 kodlu kaplamalı SK kesici takımın bu tür kompozitlerin işlenmesinde kullanılması önerilir. Bu kesici takım yüksek kesme hızlarında makul yüzey pürüzlülüğü ve ekonomik işleme sağlayacaktır.

15. Yine karma takviyeli MMK'in işleme deneyleri sonrasında, en az kesici takım aşınması ve en az kesme kuvveti bileşenlerinin oluşumu için MBC010 kodlu kaplamalı KBN kesici takım önerilmektedir. Bu MMK için en iyi yüzey pürüzlülüğü değerinin elde edilmesinde, uzun süreli işleme için MB8025 kodlu kaplamasız KBN kesici takım ve kısa süreli işleme için de UE6005 kodlu kaplamalı SK kesici takımların kullanılması uygundur. Bu kesici takımlar ile en iyi yüzey pürüzlülüğü değeri 190 ~ 220 m/min kesme hızlarında tespit edilmiştir. Karma takviye elemanı uygulaması ile sementit karbür kesicilerin dahi makul işleme değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

16. İşleme maliyeti açısından üretilen MMK'ler değerlendirilirse; Ni(K)Gr takviyeli kompozitin karbür kesici takımlarla dahi işlenebilmesi bu kompozitin en ekonomik işleme özelliğine sahip olduğunu göstermektedir. Takibinde ise karma takviyeli kompozit ve alümina takviyeli kompozit gelmektedir. Karma takviye uygulaması, işleme maliyeti bakımından ideal bir MMK elde edilmesinde etkin rol oynamaktadır. Öyleki karma takviye elemanı uygulamasıyla yekpare alümina takviyeli kompozite kıyasla, işleme maliyeti bakımından SK kesici takımlarda, UTi20T kodlu kaplamasız SK kesicide % 43, UE6005 kodlu kaplamalı SK kesicide ise % 48 oranında iyileşme sağlanmıştır. KBN kesici takımlarda ise bu oranlar; MB8025 kodlu kaplamasız KBN kesicide % 56, GBi03 kodlu kaplamalı

KBN kesicide % 53, MB8025 kodlu kaplamasız KBN kesicide % 58 şeklinde hesaplanmıştır.

Elde edilen bu sonuçlar ışığında, bundan sonraki çalışmalara aşağıdaki öneriler getirilebilir ve şu tür çalışmalar devam ettirilebilir:

1. Takviye elemanlarının formlarının tek bir boyutla sınırlandırılamayacağı yapılan SEM incelemeleri ve parçacık boyut analizlerinde tespit edilmiştir. Bu nedenle bu tür çalışmalarda parçacıkların ortalama tane boyutu tespit edilmelidir.

2. Takviye elemanlarının karma halde kullanıldığı üretimlerde, üretim öncesi parçacıkların çok eksenli karıştırma cihazı ile 2 saat boyunca karıştırılmaları, kompozit yapıda homojen parçacık dağılımına katkıda bulunacaktır.

3. Ergimiş metal karıştırma yöntemine benzer MMK üretim yöntemlerinde, kaplamasız halde grafit takviye elemanlarının ana faz alaşımı tarafından ıslatılmasının güç olduğu dikkate alınmalıdır. Takviye elemanlarının metal içerikli kaplanması ıslanma özeliklerini iyileştirecektir.

4. YT'ların kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü değerlerinin değişiminde etkin rol oynadıkları yapılan incelemelerden anlaşılmıştır. YT oluşumunun azaltılması için yüksek kesme hızlarında çeşitli soğutma yöntemleri (basınçlı hava, kesme sıvısı, vb.) ile birlikte işleme yapılması önerilir.

5. İşleme deneylerinde, en fazla kesme kuvveti bileşenlerinin oluşmasına ve kesici takım aşınmasına neden olan Al_2O_3 takviyeli kompozitin işlenmesinde, sadece KBN kesici takımların kullanılması önerilir. Özellikle MBC010 kodlu KBN kesici takım bu tür seramik takviyeli kompozitlerin işlenmesinde aşınma direnci bakımından en iyi performansı sergileyecektir.

6. Karma ve yekpare olarak farklı boyutlarda farklı takviye elemanları ile takviyeli MMK malzemelerin üretimleri gerçekleştirilebilir. Bu malzemelerin mikroyapı özellikleri, serlik, aşınma dirençleri, çekme ve darbe dayanımları, termal

genleşme katsayıları, yorulma dayanımları gibi mekanik özellikleri detaylı olarak incelenebilir.

7. Makine ve motor parçalarının imalinde geliştirilen kompozitler kullanılarak çalışma performansları incelenebilir.

8. Farklı MMK malzeme üretim yöntemleri ile benzer özelliklerde üretimler gerçekleştirilerek birbirleri ile mekanik özelikler ve işlenebilirlikleri açısından kıyaslanabilir.

9. MMK'lerin ikincil metalürji yöntemleri ile (ekstrüzyonla şekillendirme, ısıl işlemle yaşlandırma, vb.) dayanım özelliklerinin değişimi ve bunların MMK'lerin işlenebilirlik özelliklerine etkileri karakterize edilebilir.

KAYNAKLAR

1. Weeton, J.W., Peters, D.M., Thomas, K.L., "Engineer's guide to composite materials", ***American Society for Metals,*** 1–50 (1990).

2. Chan, R.W., Haasen, P., Kramer, E.J., "Structure and properties of composites", ***Materials Science and Technology,*** 13: 1–339 (1993).

3. Groover, M.P., "Fundamentals of modern manufacturing", ***Prentice-Hall Inc.,*** USA, 251–260, 430–639 (1996).

4. 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).

5. Brick, B.M., Gordon, R.B., Philips, A., "Structure and properties of alloy", Third Edition, ***McGraw-Hill Book Company***, 210–430 (1965).

6. İnem, B., **"**The development of the structures and properties of magnesium matrix silicon carbide reinforced composites", Ph.D Thesis***, School of Materials, University of Leeds, England, Leeds,*** 1–50 (1993).

7. Çiftçi, İ., "Alüminyum esaslı kompozitlerde takviye oranı ve boyutunun mekanik özellikler ve işlenebilirlik üzerine etkisinin araştırılması", Doktora Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,*** Ankara, 1–90 (2003).

8. Sur, G., "Alüminyum esaslı kompozitlerin üretimi ve işlenebilirliğinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,*** Ankara, 1–40 (2002).

9. Erdoğan, M., "Mühendislik alaşımlarının yapı ve özellikleri – Cilt 2, Demir dışı alaşımlar", Çeviri, ***Nobel Yayın Dağıtım,*** Ankara, 342–345 (2001).

10. 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).

11. Abd El-Azim, A.N., Kassem, M.A., El-Baradie, Z.M., Waly, M., "Structure and properties of short alumina fibre reinforced AlSi18CuNi produced by stir casting", ***Materials Letters***, 56: 963–969 (2002).

12. 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).

13. Lu, L., Thong, K.K., Gupta, M., "Mg-based composite reinforced by Mg_2Si", ***Composites Science and Technology,*** 63: 627–632 (2003).

14. Hashim, J., Looney, L., Hashmi, M.S.J., "Particle distribution in cast metal matrix composites-Part II", ***Journal of Materials Processing Technology,*** 123: 258–263 (2002).

15. 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,*** A251: 48–57 (1998).

16. Daoud, A., Abo-Elkhar, M., "Influence of Al_2O_3 or ZrO_2 particulate addition on the microstructure aspects of AlNi and AlSi alloys", ***Journal of Materials Processing Technology,*** 120: 296–302 (2002).

17. 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).

18. Pagounis, E., Lindroos, V.K., "Processing and properties of particulate reinforced steel matrix composites", ***Materials Science and Engineering***, A246: 221–234 (1998).

19. Peng, H.X., Fan, Z., Mudher, D.S., Evans, J.R.G., "Microstructures and mechanical properties of engineered short fibre reinforced aluminium matrix composites", ***Materials Science and Engineering,*** A335: 207–216 (2002).

20. Jeong, G. J., Kim, Y.U., Sohn, H.J., Kabg, T., "Particulate–reinforced Al–based composite material for anode in lidhium secondary batteries", ***Journal of Power Sources,*** 101: 201–205 (2001).

21. Li, G., Huang, X., Guo, J., "Fabrication and mechanical properties of Al_2O_3- Ni composite from two different powder mixtures", ***Materials Science and Engineering,*** A352: 23–28 (2003).

22. Seo, Y.H., Kang, C.G., "The effect of applied pressure on particle-dispersion characteristics and mechanical properties in melt-stirring squeeze-cast SiCp/Al composites", ***Journal of Materials Processing Technology***, 55: 370–379 (1995).

23. Lee, K.B., Sim, H.S., Heo, S.W., Yoo, H.R., Cho, S.Y., Kwon, H., "Tensile properties and microstructures of Al composite reinforced with BN particles", ***Composites Part A,*** 33: 709–715 (2002).

24. Tham, L.M., Gupta, M, Cheng, L., "Effect of limited matrix – reinforcement interfacial reaction on enhancing the mechanical properties of aluminium – silicon carbide composites", ***Acta Materialia,*** 49: 3243–3253 (2001).

25. Özdemir, İ., Çöcen, Ü., Önel, K., "The effect of forging on the properties of particulate – SiC – reinforced aluminium – alloy composites", ***Composites Science and Technology,*** 60: 411–419 (2000).

26. Blucher, J.T., Narusawa, U., Katsumata, M., Nemeth, A., "Continuous manufacturing of fiber – reinforced metal matrix composite wires – technology and product cahracteristics", ***Composite Part A,*** 32: 1759–1766 (2001).

27. Han, Y., Liu, X., Bian, X., "In situ TiB_2 particulate reinforced near eutectic Al – Si alloy composites", ***Composite Part A,*** 33: 439–444 (2002).

28. Tsunekawa, Y., Suzuki, H., Genma, Y., "Aplication of ultrasonic vibration to in situ MMC process by electromagnetic melt stirring", ***Materials and Desing,*** 22: 467–472 (2001).

29. Yano, T., Budiyan, K., Yoshida, K., Iseki, T., "Fabrication of silicon carbide fiber reinforced silicon carbide composite by hot-pressing", ***Fusion Engineering and Design,*** 41: 157–163 (1998).

30. 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).

31. Lee, J.C., Ahn1, J.P., Shim, J.H., Shi, Z. and Lee, H.I., "Control of the interface in SiC/Al composites", ***Scripta Materialia,*** 41 (8): 895–900 (1999).

32. 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).

33. Tham, L. M., Gupta, M., Cheng, L. **, "**Effect of limited matrix–reinforcement interfacial reaction on enhancing the mechanical properties of aluminium–silicon carbide composites", ***Acta Materilia,*** 49: 3243–3253 (2001).

34. Ted Guo, M.L., Tsao, C.Y.A., "Tribological behavior of aluminum/SiC/nickel-coated graphite hybrid composites", ***Materials Science and Engineering,*** A333: 134–145 (2002).

35. Gupta, M., Surappa, M.K., Qin, S., "Effect of interfacial characteristics on the failure-mechanism mode of a SiC reinforced Al based metal-matrix composites", ***Journal of Materials Processing Technology,*** 67: 94–99 (1997).

36. Tekmen, C., Ozdemir, I., Cocen, U., Onel, K., "The mechanical response of Al-Si- Mg/SiCp composite: influence of porosity", ***Materials Science and Engineering,*** A360: 365–371 (2003).

37. Moustafa, S.F., Abdel-Hamid, Z., Abd-Elhay, A.M., "Copper matrix SiC and Al_2O_3 particulate composites by powder metallurgy technique", ***Materials Letters,*** 53: 244–249 (2002).

38. Moustafa, S.F., El-Badry, S.A., Sanad, A.M., Kieback, B., "Friction and wear of copper – graphite composites made with Cu-coated and uncoated graphite powders", ***Wear,*** 253: 699–710 (2002).

39. El-Gallab, M., Sklad, M., "Machining of Al:SiC particulate metal-matrix composites Part I: Tool performance", ***Journal of Materials Processing Technology***, 83: 151–158 (1998).

40. El-Gallab, M., Sklad, M., "Machining of Al/SiC particulate metal-matrix composites, Part III: Comprehensive tool wear models", ***Journal of Materials Processing Technology***, 101: 10–20 (2000).

41. 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).

42. Chambers, A.R., "The machinability of light alloy MMCs", ***Composites:Part A,*** 27A: 143–147 (1996).

43. Davim, J.P., Baptista, A.M., "Relationship between cutting force and PCD cutting tool wear in machining silicon carbide reinforced aluminium***", Journal of Materials Processing Technology***, 103: 417–423 (2000).

44. Clark, I.E., "A guide to machining metal matrix composites with syndite PCD", ***Machining Guide,*** IDR3: 135–138 (1994).

45. 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).

46. Davim, P. J., "Diamond tool performance in machining metal–matrix composites", ***Journal of Materials Processing Technology***, 128: 100–105 (2002).

47. Çiftçi, İ., Türker, M., Şeker, U., "Evaluation of tool wear when machining SiCp-reinforced Al-2014 alloy matrix composites", ***Materials and Design,*** 25: 251–255 (2004).

48. Çiftçi, İ., Türker, M., Şeker, U., "CBN cutting tool wear during machining of particulate reinforced MMCs", ***Wear,*** 257: 1041–1046 (2004).

49. Özçatalbaş, Y., "Investigation of the machinability behaviour of Al_4C_3 reinforced Al-based composite produced by mechanical alloying technique", ***Composites Science and Technology,*** 63: 53–61 (2003).

50. Liu, C, Mather, P.T., "High thermal conductivity shape memory polymers", ***ANTEC,*** 3080 – 3084 (2004).

51. Arslan, N., Kaman, M.O., "Alüminyum, kağıt ve cam elyaf petek yapılı kompozitlerin üretim teknikleri ve mekanik özelliklerinin araştırılması", ***D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi***, 4 (3): 113–123 (2002).

52. Fu, H.H., Han, K.S., Song, J.I., "Wear properties of Saffil/Al, Saffil/Al_2O_3/Al and Saffil/SiC/Al hybrid metal matrix composites", ***Wear,*** 256: 705–713 (2004).

53. Enşici, A., "Polimer esaslı kompozit malzemeler ve ürün tasarımında kullanımları" ***Designophy Tasarım Dergisi,*** 2: 23–29 (2003).

54. Zhou, C.W., Yang, W., Fang D.N., "Mesofracture of metal matrix composites reinforced by particles of large volume fraction", ***Theoretical and Applied Fracture Mechanics***, 41: 311–326 (2004).

55. Kaya, C., Kaya, F., Boccaccını, A.R., Chawla K.K., "Fabrication and characterisation of Ni-coated carbon fibre-reinforced alumina ceramic matrix composites using electrophoretic deposition", ***Acta Materialia,*** 49: 1189–1197 (2001).

56. Gonon, M.F., Hampshire S., "Comparison of two processes for manufacturing ceramic matrix composites from organometallic precursors", ***Journal of the European Ceramic Society,*** 19: 285–291 (1999).

57. Kazdal, Z.H., "Magnezyum alaşımları: otomotiv endüstrisinde uygulaması ve geleceği", Rapor, ***Tübitak Marmara Araştırma Merkezi,*** 25–28 (1999).

58. Neite, G., Kubato, K., Higashi, K, Hehmann, F.,"Magnesium-based alloys", ***Materials Science and Technology, ASM Metals Park,*** Ohio, 1040–1055 (1988).

59. Leon, C.A., Drew, R.A.L., "The influence of nickel coating on the wettability of aluminum on ceramics", ***Composites: Part A,*** 33: 1429–1432 (2002).

60. Sala, G., "Tochnology-driven design of MMC squeeze cast connection-rods", ***Science and Technology of Advanced Materials,*** 3: 45–46 (2002).

61. Krauß, G., Kübler, J., Trentini, E., "Preparation and properties of pressureless infiltrated SiC and AlN particulate reinforced metal ceramic composites based on bronze and iron alloys", ***Materials Science and Engineering,*** A337: 315–322 (2002).

62. Yu, X.X., Lee, W.B., "The design and fabrication of an alumina reinforced aluminum composite material", ***Composites: Part A,*** 31: 245–258 (2000).

63. 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***, A304–306: 627–631 (2001).

64. Shaw, M.C., "Metal cutting principles", ***Oxford University Press***, Oxford, 1–29 (1989).

65. Coromant, S., "Modern metal cutting – A practical handbook", English Edition, ***Sandvik Coromant***, Sweden, I-III: 35–120 (1994).

66. Davim, J.P. ve Baptista, A.M., "Relationship between cutting force and PCD cutting tool wear in machining silicon carbide reinforced aluminium***", Journal of Materials Processing Technology***, 103: 417–423 (2000).

67. DeGarmo, E.P., Black, J.T., Kohser, R.A., "Materials and processes in manufacturing", ***Prentice-Hall Inc***., New Jersey, 214–652 (1997).

68. Kopaci, J., Bahor, M., "Interaction of the technological history of a workpiece material and the machining parameters on the desired quality of the surface roughness of a product", ***Journal of Materials Processing Technology***, 92-92: 381–387 (1999).

69. Trent, E.M., "Metal cutting", ***Butterworths Press***, London, 1–171 (1989).

70. Zhang, J.H., "Theory and technique of precision cutting", ***Pergamon Press***, Oxford, 1–50 (1991).

71. Şeker, U., Kurt, A., Çiftçi, İ., "Design and construction of a dynamometer for measurement of cutting forces during machining with linear motion", ***Materials and Design***, 23: 355–360 (2002).

72. Amstead, B.H., Ostwald, P.F. and Begeman, M.L., "Manufacturing processes", Eighth Edition, ***John Wiley & Sons***, New York, 420–457 (1987).

73. Özçatalbaş, Y., "Chip and built-up edge formation in the machining of in situ Al_4C_3-Al composites", ***Materials and Design,*** 24: 215–221 (2003).

EKLER

EK-1 Alüminyum oksit parçacıklarının boyut analizi

GAZİ ÜNİVERSİTESİ TEKNİK EĞT. FAK.
YAPI BÖLÜMÜ ZEMİN MEKANİĞİ LABORATUVARI
LASER PARTICLE SIZER DENEY SONUCU

Version 1.2b — 23 Mar 2006 14:03

Al2 O3 Mesh 280 :Run Number 3

Sample File Name: GOKHAN , Record: 3 — Source: Analysed
Measured on: 23 Mar 2006 14:03 Last saved on: 23 Mar 2006 14:03

Presentation: 2QHD
Very Polydisperse model — Volume Result — Focus = 45 mm.

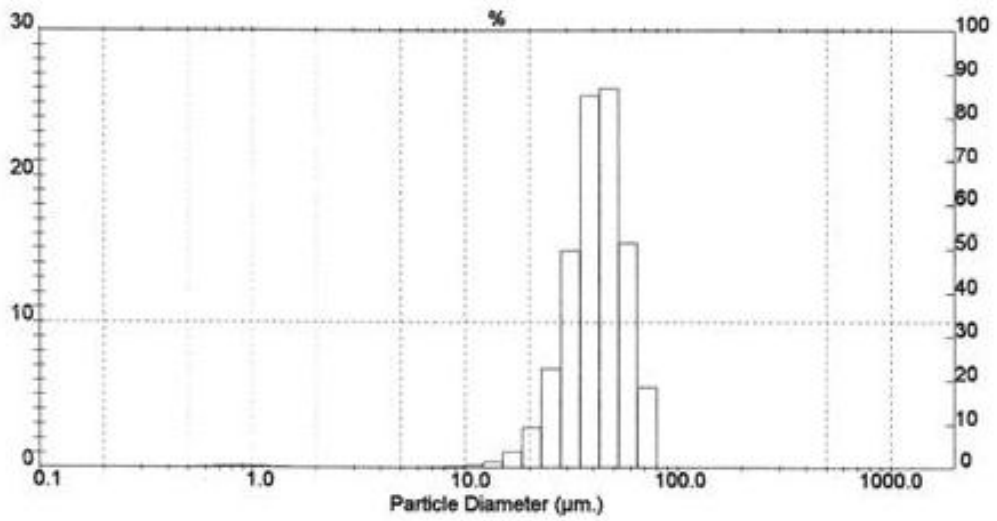
Residual = 1.931 %
d (0.5) = 41.77 µm
D [4, 3] = 42.44 µm
Sauter Mean (D[3,2]) = 26.94 µm
Specific Surface Area = 0.0586 sq. m. / gm

Concentration = 0.076 %
d (0.1) = 26.24 µm
Span = 0.80

Obscuration = 19.07 %
d (0.9) = 59.73 µm
Mode = 43.08 µm
Density = 3.80 gm. / c.c.

Size (Lo) µm	Result In %	Size (Hi) µm	Result Below %
0.05	0.00	0.12	0.00
0.12	0.00	0.15	0.00
0.15	0.00	0.19	0.01
0.19	0.01	0.23	0.01
0.23	0.01	0.28	0.03
0.28	0.02	0.35	0.04
0.35	0.03	0.43	0.07
0.43	0.05	0.53	0.12
0.53	0.08	0.65	0.20
0.65	0.13	0.81	0.33
0.81	0.16	1.00	0.49
1.00	0.13	1.23	0.62
1.23	0.08	1.51	0.70
1.51	0.06	1.86	0.75
1.86	0.04	2.30	0.80
2.30	0.04	2.83	0.83

Size (Lo) µm	Result In %	Size (Hi) µm	Result Below %
2.83	0.03	3.49	0.87
3.49	0.03	4.30	0.90
4.30	0.04	5.29	0.94
5.29	0.05	6.52	0.98
6.52	0.07	8.04	1.05
8.04	0.11	9.91	1.17
9.91	0.22	12.21	1.38
12.21	0.48	15.04	1.87
15.04	1.15	18.54	3.02
18.54	2.83	22.84	5.85
22.84	6.84	28.15	12.69
28.15	14.90	34.69	27.59
34.69	25.48	42.75	53.07
42.75	25.97	52.68	79.04
52.68	15.34	64.92	94.39
64.92	5.61	80.00	100.00



Malvern Instruments Ltd.
Malvern, U.K.

MasterSizer X Ver. 1.2b
Serial No. 32908-26

23 Mar 06 14:03

EK-2 Ni(K)Gr parçacıklarının boyut analizi

GAZİ ÜNİVERSİTESİ TEKNİK EĞT. FAK.
YAPI BÖLÜMÜ ZEMİN MEKANİĞİ LABORATUVARI
LASER PARTICLE SIZER DENEY SONUCU

Version 1.2b — 11 Jul 2007 14:54

Ni Grafit **:Run Number 11**

Source: Analysed

Measured on: 11 Jul 2007 14:53

Presentation: 2OHD
Very Polydisperse model

Volume Result

Residual = 0.394 %
d (0.5) = 122.74 µm
D [4, 3] = 130.37 µm
Sauter Mean (D[3,2]) = 95.82 µm
Specific Surface Area = 0.0236 sq. m. / gm

Concentration = 0.150 %
d (0.1) = 69.99 µm
Span = 1.05

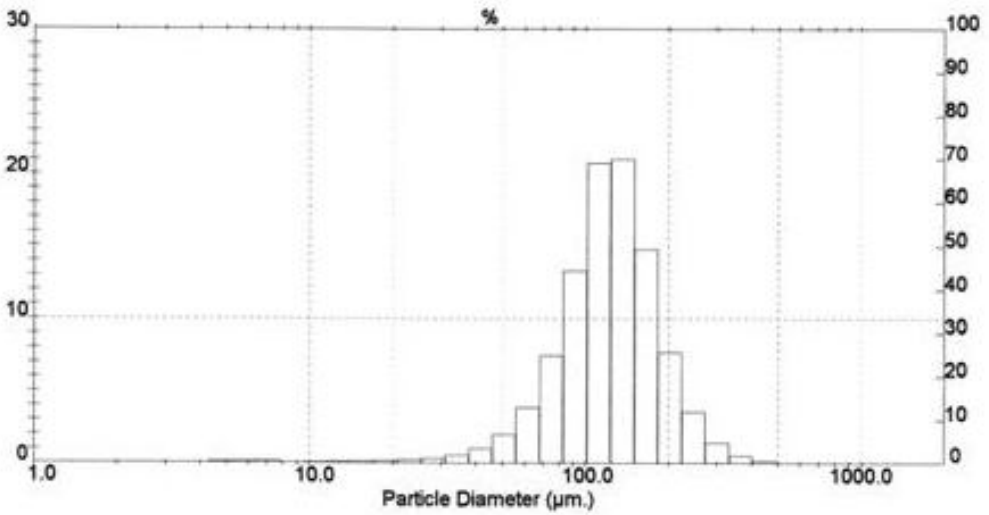
Focus = 300 mm.

Obscuration = 10.79 %
d (0.9) = 196.40 µm

Mode = 122.99 µm
Density = 2.65 gm. / c.c.

Size (Lo) µm	Result In %	Size (Hi) µm	Result Below %
0.50	0.00	1.32	0.00
1.32	0.00	1.60	0.00
1.60	0.00	1.95	0.00
1.95	0.00	2.38	0.00
2.38	0.00	2.90	0.01
2.90	0.02	3.53	0.03
3.53	0.06	4.30	0.09
4.30	0.12	5.24	0.21
5.24	0.15	6.39	0.37
6.39	0.18	7.78	0.55
7.78	0.03	9.48	0.58
9.48	0.09	11.55	0.67
11.55	0.12	14.08	0.79
14.08	0.14	17.15	0.92
17.15	0.18	20.90	1.10
20.90	0.25	25.46	1.35

Size (Lo) µm	Result In %	Size (Hi) µm	Result Below %
25.46	0.37	31.01	1.73
31.01	0.60	37.79	2.33
37.79	1.05	46.03	3.38
46.03	2.02	56.09	5.40
56.09	3.88	68.33	9.28
68.33	7.48	83.26	16.76
83.26	13.30	101.44	30.06
101.44	20.72	123.59	50.77
123.59	20.99	150.57	71.76
150.57	14.77	183.44	86.53
183.44	7.68	223.51	94.21
223.51	3.56	272.31	97.77
272.31	1.45	331.77	99.22
331.77	0.54	404.21	99.76
404.21	0.18	492.47	99.94
492.47	0.06	600.00	100.00



Malvern Instruments Ltd.
Malvern, U.K.

MasterSizer X Ver. 1.2b
Serial No. 32908-26

11 Jul 07 14:54

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı	: SUR, Gökhan
Uyruğu	: T.C.
Doğum tarihi ve yeri	: 1977 Denizli
Medeni hali	: Evli
Telefon	: 0 (312) 202 86 85
Faks	: 0 (312) 212 00 59
e-mail	: gokhans@gazi.edu.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Fen Bil. Ens. Mak. Eğt. Böl.	2002
Lisans	Gazi Üniversitesi / Teknik Eğt. Fak. Mak. B.	1998
Lise	Denizli End. Mes. Lisesi / Tesviye Bölümü	1993

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2000-2008	Gazi Üniversitesi - Ankara	Araştırma Görevlisi
1999-2000	Atatürk EML - Bursa	Tesviye Bölüm Öğrt.

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Projeleri:

1. Sur, G., Şahin, Y., "Parçacık takviyeli kompozitlerin üretimi ve işlenebilirliğinin incelenmesi", ***Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi,*** Tef-07/20, (2002), Ankara.

2. Gülesin, M., Güllü, A., Kayır, Y., Sur, G., "Bütünleşik bir üretim sistemi ile Alüminyum esaslı karma (Hybrid) parçacık takviyeli kompozitlerin üretimi, mikroyapı, mekanik özellikler ve işlenebilirliklerinin araştırılması", ***Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi,*** Tef-07/10, (2007), Ankara.

3. Kayır, Y., Başak, H., Sur, G., **"**Delik Delme İşlemlerinde Kullanılan Matkapların Kesme Performanslarının İncelenmesi"***, TUBITAK MAG Projesi,*** 104M407, (2008) Ankara.

Uluslararası hakemli dergilerde yayınlanan makaleler:

1. Şahin, Y., Sur, G., "The effect of Al_2O_3, TiN and Ti(C,N) based CVD coating on tool wear in machining metal matrix composites", ***Surface and Coatings Technology,*** 179, 349-355 (2004).

2. Gunay, M., Seker, U., Sur, G., "Design and construction of a dynamometer to evaluate the influence of cutting tool rake angle on cutting forces", ***Materials and Design,*** 27 (10): 1097–1101 (2006).

3. Nalbant, M., Gökkaya, H., Sur, G., "Application of Taguchi method in the optimization of cutting parameters for surface roughness in turning" ***Materials & Design,*** 28 (4): 1379–1385 (2006).

Engineering Index tarafından taranan dergilerde yayınlanan makaleler:

1. Sur, G., Şahin, Y., Gökkaya, H., "Ergimiş metal karıştırma ve basınçlı döküm yöntemi ile alüminyum esaslı tanecik takviyeli kompozitlerin üretimi", ***Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Dergisi,*** 20 (2): 233-238 (2005).

Ulusal hakemli dergilerde yayınlanan makaleler:

1. Gökkaya, H., Sur, G., Dilipak, H., "PVD ve CVD kaplamalı sementit karbür kesici takımların işleme parametrelerine bağlı olarak yüzey pürüzlülüğüne etkisinin deneysel olarak incelenmesi", ***Z.K.Ü. Teknoloji***, 7 (3): 473-478 (2004).

2. Gökkaya, H., Sur, G., Dilipak, H., "Kaplamasız Sementit Karbür Kesici Takım ve Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Deneysel Olarak incelenmesi", **P.Ü. Mühendislik Bilimleri Dergisi,** 12 (1): 59-64 (2004).

Hobiler

Voleybol, Seyahat etmek, Yüzme, Bilgisayar teknolojileri