

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Al/SiC Kompozitlerin Karıştırılmalı Döküm Yöntemi ile Üretilmesi ve İşlenebilme
Özelliklerinin İncelenmesi

Hadi BİLİR

MAYIS 2014

ÖZET

Al/SiC Kompozitlerin Karıştırılmalı Döküm Yöntemi ile Üretilmesi ve İşlenebilme Özelliklerinin İncelenmesi

BİLİR, Hadi

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç.Dr. Recep ÇALIN

Mayıs 2014, 123 Sayfa

Klasik tip malzemelerin gelişen teknolojilere paralel olarak cevap verememesi ve değişik sektörlerde yeni malzemelere olan ihtiyacın artması ve yeni malzeme türleri arama meyli geçen yüzyılın ortalarından itibaren Kompozit Malzemelerin doğuşuna sebebiyet vermiştir. İlk bulunan kompozitlerin ardından hem tür olarak hem de imalat yöntemleri olarak artan malzeme ve yöntemler devam edegelmektedir. Şu ana kadar bilinen birçok yöntem ve elde edilen kompozit malzemeler vardır. Kompozit malzemeyi meydana getiren ana malzeme (matris) ve içine katılan takviye malzemeleri sürekli araştırma konusudur. Bu çalışmada üretim yöntemlerinden Karıştırılmalı Döküm Yöntemi seçilmiş; Alüminyum esaslı (Al₂O₃) alaşım matris ile Silisyum Karbür (SiC) takviye malzemeli kompozit üretilerek işlenebilme özellikleri ile yüzey pürüzlülükleri incelenmiştir. İlk olarak; %3, %6, %12 hacim oranlarında kompozit numuneler karıştırılmalı döküm yöntemiyle üretilmiştir. Daha sonra üretilen bu numuneler kaplamasız Sementit Karbür ve Kimyasal Buhar Çökeltme (CVD) yöntemiyle Al₂O₃ Kaplamalı Sementit Karbür kesici takımlar kullanılarak, Bilgisayar Sayısal Denetimli (BSD) torna tezgahında belirli hızlarda ve talaş derinliklerinde kesme işlemine tabi tutulmuşlardır. İşleme deneyleri; kuru kesme şartlarında, sabit ilerlemede ve kesme derinliğinde ve 100, 125, 160 ve 180 m/dak kesme hızlarında yapılmıştır. Daha sonra numunelerin ortalama yüzey

pürüzlülük değerleri (Ra) ölçülmüştür. Deney sonucunda, kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğü değerlerinde azalma meydana gelmiştir. En yüksek Ra değerleri, 100 m/dak kesme hızlarında görülmüştür. Kaplamasız sementit karbür kesici uçlar ile Al₂O₃ kaplamalı sementit karbür kesici uçlara göre daha pürüzsüz yüzeyler elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Karıştırmalı döküm, Metal matrisli kompozit, Kesme hızı, Kesici takım, Yüzey kalitesi

ABSTRACT

Production of SiC Reinforced Al Matrix Composite By Melt Stirring Method and
Investigation of Machinability Properties

BİLİR, Hadi

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering, M.Sc Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Recep ÇALIN

May 2014, 123 Pages

Not answering paralelly of the classical type materials to the developing technologies and increasing of need for new materials in different sectors and tendency to searching for new materials types have caused to rising of Composite Materials since the middle of last century. Subsequent to the composites found first, both as type and production methods rising material and methods continues. Up till now, there are many known methods and received composite materials. The basic material which forms the composite (matrix) and reinforcement materials included are subjects for research. In this research, Melt Stirring Method is chosen from these methods, by producing composite with reinforcement material Silicium Carbide (SiC) and alloyed matrix based on Aluminium (Al2014), their machinability and surface roughness behaviours are analysed. Firstly, composite samples at volume rate of %3, %6 and %12 are produced by melt stirring method. Then with these samples and by using of Uncoated Cementite Carbide and Coated Cementite Carbide cutting tools coated Al₂O₃ by CVD Method, they are subjected to cutting processes at certain

speeds on CNC turning lathe and cutting depths. The processing tests are carried out in dry cutting conditions, stable progress and depth of cut and at 100, 125, 160 and 180 m/min cutting speeds. Thereafter, the surface mean roughness values of samples (R_a) are determined. At the end of the test, by rising the cutting speed, decrease in surface roughness value are seen. The maximum R_a levels are seen at 100 m/min cutting speeds. In comparison with uncoated cementite carbide tools coated by Al_2O_3 , more smooth surfaces are acquired with coated cementite carbide tools.

Key Words: Melt stirring, Metal Matrix Composites, Cutting Speed, Cutting Tool, Surface Roughness

TEŞEKKÜR

Uzun süren tez çalıőmalarımnda beni gayrete getiren ve teővik eden danışman hocam Doç.Dr. Recep ÇALIN hocama çok teşekkür ederim.

Yine tez çalıőmalarım esnasında değerli bilgilerine baővurduėum ve deneylerde çok büyük katkısı olan Yrd. Doç. Dr. Muharrem PUL hocama hassaten teşekkür ederim.

Gece yarısına kadar deneylerde bizimle beraber bulunan tezgah kullanımında yardımlarını esirgemeyen değerli Yrd. Doç. Dr. Ali Osman ER hocama da çok teşekkür ederim.

Deney sonuçlarının irdelenmesinde değerli katkılarından dolayı Prof. Dr. Ulvi ŐEKER hocama da çok teşekkür ederim.

Son olarak, sürekli teővikleriyle bana destek olan mesai arkadaşlarıma teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

SAYFA

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	3
3. KOMPOZİT MALZEMELER	15
3.1. Kompozit Malzemelerin Tarihçesi	16
3.2. Kompozit Malzemelerin Avantaj ve Dezavantajları	17
3.3. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları.....	20
3.4. Kompozit Malzeme Türleri	26
3.4.1. Polimer Matrisli Kompozitler	26
3.4.2. Seramik Matrisli Kompozitler	33
3.4.2.1. Sürekli Fiberler	34
3.4.2.2. Süreksiz Fiberler.....	34
3.4.2.3. Parçacıklar	35
3.4.3. Metal Matrisli Kompozitler	35
3.4.3.1. Metal Matrisli Kompozit Malzemelerde Kullanılan Matris Malzemeleri	39
3.4.3.2. Metal Matrisli Kompozitlerde Kullanılan Takviye Malzemeleri	42
3.4.3.3. Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri	45
3.4.3.3.1. Toz Metalürjisi Tekniği.....	46
3.4.3.3.2. Difüzyon Bağı Yöntemi	48
3.4.3.3.3. Sıvı Metal İnfiltrasyon Yöntemi.....	49
3.4.3.3.4. Sıkıştırma Döküm Yöntemi.....	50

3.4.3.3.5. Plazma Püskürtme Yöntemi	51
3.4.3.3.6. Karıştırmalı Döküm Yöntemi.....	52
3.4.3.3.7. Rheocasting ve Compcasting Döküm Yöntemi	54
3.4.3.3.8. Vidalı Ektrüzyon	55
3.4.3.3.9. In-Situ Yöntemi	55
3.4.3.3.10. XD Yöntemi	56
4. TALAŞLI İMALAT	57
4.1. Talaş Kaldırma Mekanığı	60
4.1.1. Kesintili Talaş	62
4.1.2. Sürekli Talaş	63
4.1.3. Yarı Kesintili Talaş.....	63
4.2. Talaş Oluşumuna Etki eden Kuvvetler.....	64
4.2.1. Merchant Denklemi	66
4.3. Yüzey Pürüzlülüğü	66
4.3.1. Yüzey Profili.....	67
4.3.2. Yüzey Kontrolü	68
4.3.3. Yüzey Pürüzlülüğü Parametreleri.....	69
4.3.4. Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçümü ve Kullanılan Yöntemler.....	70
5. DENEYSEL ÇALIŞMA	73
5.1. Malzeme ve Yöntem	74
5.2. Kompozit Malzemelerin Üretilmesi	76
5.3. İşleme Deneyleri.....	80
5.4. Kesici Takımlar ve Kesme Şartları.....	84
5.5. Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçülmesi.....	85
6. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	87
6.1. Mikroyapı İnceleme Sonuçlarının Değerlendirilmesi	87
6.2. İşleme Deneylerinin Kesme Kuvvetleri Açısından Değerlendirilmesi	88
6.3. İşleme Deneylerinin Yüzey Pürüzlülüğü Açısından Değerlendirilmesi	96
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	101
KAYNAKLAR	103

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>SAYFA</u>
3.1 Kompozitlerle klasik malzemelerin mekanik özelliklerinin karşılaştırması.....	20
3.2 Kompozitlerde kullanılan bazı fiber malzemelerinin mekanik özellikleri.....	27
3.3 Bazı cam elyaf tiplerinin fiziksel ve mekanik özellikleri.....	29
3.4 Çeşitli bor elyafların mekanik özellikleri.....	30
3.5 Süreksiz fiberlerle kullanılan matris malzemelerin bazı mekanik özellikleri.....	35
3.6 Bazı metal matrisli kompozitlerin mekanik özellikleri.....	38
3.7 Saf alüminyumun bazı fiziksel özellikleri.....	40
4.1 Ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin değişik standartlarda gösterimi	69
5.1 Deneyde kullanılan Al2014 ve SiC kütleleri ile takviye oranları	74
5.2 Al2014 'ün kimyasal bileşimi	75
5.3 Al2014'ün fiziksel ve mekanik özellikleri.....	75
5.4 SiC'nin kimyasal bileşimi	75
5.5 SiC'nin fiziksel ve mekanik özellikleri.....	76
5.6 Kompozit numunelerin sertlik ve gözenek miktarları.....	79
5.7 Goodway marka GLS-150 model BSD torna tezgahının teknik özellikleri.	81
5.8 Kistler dinamometrenin teknik verileri	83
5.9 İşleme deneylerinde kullanılan kesici takımların özellikleri	84
5.10 Hommel T1000 yüzey pürüzlülük cihazı teknik verileri	86
6.1 Elde edilen ortalama kesme kuvveti değerleri	89
6.2 SK ve KSK takımlarla elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri	96

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>SAYFA</u>
3.1 Takviye malzemesinin şekline göre kompozitler.....	15
3.2 Kompozit malzeme kullanımına havacılık sektöründen bir örnek	25
3.3 Aynı büyütme oranlarına sahip farklı kategorideki metal matris kompozitlerin optik mikroskopisi. a) karıştırmalı döküm yöntemiyle üretilmiş alüminyum alaşımında %10 hacim oranlı düzensiz şekilli alümina partikülleri. b) %50 hacim oranlı alüminyum alaşımında ön-şekilli infiltrasyonlu silisyum karbür, SiC. c) Saf alüminyumun infiltrasyonu ile elde edilmiş %55 hacim oranlı tekyönlü sürekli alümina fiberler.	37
3.4 Toz metalürjisi ile elde edilen kompozit parçanın üretim aşamaları	47
3.5 Difüzyon bağı yönteminin şematik açıklaması	49
3.6 İnfiltrasyon işlemine ait şematik şekil.....	50
3.7 Sıkıştırılmalı Döküm (Squeeze Casting) Yönteminin şematik anlatımı	51
3.8 Plazma Püskürtme Yöntemine ait şematik şekil	52
3.9 Karıştırmalı döküm yöntemiyle kompozit ürünün eldesi şematik şekli.....	53
3.10 Basit Rheocasting tekniğinin uygulanan 2 tipinin şematik açıklaması.....	54
3.11 Vidalı ekstrüzyon işlemine ait şematik şekil	55
3.12 Bir ötektik alaşımın tekyönlü katılaşmasının kontrolüyle yapılan In-situ işleminin şematik gösterimi.	56
4.1 Tornalama işlemi	59
4.2 (a) Talaş kaldırmada kesit görünüm(ve pozitif talaş kaldırma açısı) (b) Negatif talaş açılı takım	60
4.3 Dikey kesme modelinin şekli	61
4.4 Talaş oluşumu esnasındaki kayma gerilmesi, (a) Birbirine bağlı kayan bir dizi paralel tabakayla gösterilen talaş oluşumu (b) Kayma düzlemini göstermek için ayrılmış bir tabaka (c) Genleşme denklemini çıkarmak için kullanılan kayma gerilme üçgeni	62
4.5 Kesintili talaş	62
4.6 Sürekli talaş mekanizması	63
4.7 Yarı kesintili talaş	63

4.8 Talaş oluşumunda etkili kuvvetlerin açıklanması	64
4.9 Kesme ve Dayama kuvvetlerinin gösterimi	65
4.10 Yüzey profili ve parametreleri	67
4.11 Yüzey dokusu parametrelerinin simgesel gösterimi	68
4.12 Yüzey pürüzlülüğü parametreleri	69
4.13 3D profilometrenin optik sisteminin şematik görüntüsü	71
4.14 Gelişmiş bir profilometre modeli	72
5.1 Karıştırılmalı döküm ve ergitme ünitesi.....	77
5.2 Kompoziti karıştırma düzeneği.....	77
5.3 Ergiyen kompozit metalin kum kalıba dökülmesi	78
5.4 Kalıptan çıkarılıp numara verilen numuneler	78
5.5 Dökülen numunelerin dış yüzeylerinin talaş alma yoluyla temizlenmesi.....	80
5.6 Numunelerin işleme deneylerinin yapıldığı BSD torna tezgahı	80
5.7 Numunenin BSD torna tezgahının aynasına bağlanması.....	81
5.8 Numuneden 4 kez talaş kaldırma ve ilerleme mesafelerinin şematik gösterimi..	82
5.9 Kesme kuvvetlerini ölçen dinamometrenin BSD torna tezgahına bağlanması....	82
5.10 SK kesici takımın birinci numuneden elde edilen kesme kuvvetleri	83
5.11 KSK kesici takımın birinci numuneden elde edilen kesme kuvvetleri	84
5.12 Yüzey pürüzlülük değerlerinin ölçüldüğü “Hommel T1000 Tester” marka cihaz	85
6.1 %6 SiC takviyeli kompozit numunelerin, a) 700°C, b) 750°C ve c) 800°C sıcaklıklardaki mikroyapıları	87
6.2 a) 700°C, b) 750°C, c) 800°C sıcaklıklar ile SK takıma ve d) 700°C, e) 750°C, f) 800°C sıcaklıklar ile KSK takıma göre kesme kuvveti-kesme hızı grafikleri.....	90
6.3 a) %3, b)%6 ve c)%12 takviye oranları ile SK takıma ve d) %3, e) %6 ve f) %12 takviye oranları ile KSK takıma göre kesme kuvveti-kesme hızı grafikleri.....	94
6.4 a) 700°C, b) 750°C, c) 800°C sıcaklıklar ile SK takıma ve d) 700°C, e) 750°C, f) 800°C sıcaklıklar ile KSK takıma göre yüzey pürüzlülüğü-kesme hızı grafikleri.....	97

6.5 a) %3, b)%6 ve c)%12 takviye oranları ile SK takıma ve d) %3, e) %6 ve f) %12 takviye oranları ile KSK takıma göre yüzey pürüzlülüğü-kesme hızı grafikleri.....	98
---	----

1. GİRİŞ

Geçen yüzyılın son çeyreğine kadar en önemli mühendislik malzemelerinin; metaller, polimerler (plastikler) ve seramikler olduğu söylemek yanlış değildi. Metaller yüzyıllardır insanoğluna hizmet etmişler ve edegelmektedirler. Fakat kendilerine ait fiziksel, kimyasal, elektriksel ve mekaniksel özellikleri sebebiyle üzerinde oynama yapamadan kullanmak zorunda kalmışlardır. Geçen yüzyılın başlarında polimerlerin ortaya çıkması metallerin sınırlı kullanımını kırmış yeni bir çağ açmıştır. Öyleki: 1928 yılında Du Pont'tan Wallace Carothers poliamidi bulduğu zaman metallerin işi bitti manasına "Nylon" ismini koymuşlardır [1]. Daha sonraları seramiklerin kullanımı ve yeni malzeme arayışları devam etmiştir. Teknolojinin ilerlemesi, uçak, ağır sanayi, deniz altı sistemleri ve otomotiv teknolojileri kompozit malzemelerin ortaya çıkmasına sebebiyet vermiştir. İki veya daha fazla malzemenin birleşiminden oluşan kompozitlerle istenen özellikler katılabilmiş özellikle metallerin dezavantajı olan yoğunluk kompozitlerle çok aza indirilmiştir. Gelişen uzay ve uçak teknolojisi kompozit malzemelerin kullanımını çok artırmıştır. Kompozit malzemenin yapısında bir ana malzeme (matris) ve içine değişik şekillerde yerleştirilen takviye malzemesi (fiber) vardır. Matrisin ve takviye elemanının yapısına göre kompozitler: Polimer matrisli, seramik matrisli ve metal matrisli olmak üzere çeşitlenir.

Geliştirilen yöntem ve malzeme çeşitleriyle kompozitlerin klasik malzemelere göre çok üstün yönleri vardır. Ayrıca bu özelliklerinden dolayı gün geçtikçe kullanımları artmaktadır. Kritik yapısal uygulamalarda ve yüksek performans isteyen yerlerde kullanımları önem kazanmaktadır. Özellikle fiberglas-epoksiler ve grafit-epoksiler bunlara örnektir. İstatistikler, bu malzemelerin yıllık kullanımında %18 civarında bir artış olduğunu göstermektedir. Örneğin, Boing 767 uçağının ağırlığının %3'ü ileri kompozit malzemelerden oluşmaktadır [1].

Kompozit malzemelerin; elektriksel, kimyasal, optik, mekanik, titreşim sönümleme, ısıya dayanım, üstün kullanım performansı, dayanım gibi üstünlüklerinden dolayı

otomotiv, uçak ve uzay sanayi olmak üzere spor malzemelerinde gemicilik ürünlerinde ve diğer alanlarda kullanımı artmıştır.

Bunun yanında kompozit üretim yöntemleri de gelişmiş; katı hal ve sıvı hal üretim yöntemleri şeklinde birçok üretim süreci geliştirilmiştir. Metal matrisli kompozitler için bunlardan biri karıştırmalı döküm yöntemidir. Bu çalışmada da bu yöntemle elde edilen kompozit numuneler üzerinde deneyler yapılmıştır. Yaygın kullanılan Al2014, matris malzemesi; SiC ise takviye malzemesi olarak seçilmiştir. Üretilen kompozit numuneler sayısal denetimli torna tezgahında işlenerek üzerinde kesme kuvvetleri ve numunelerin pürüzlülükleri incelenmiştir. Bunun için kullanılan kesici takımlarda sert sementit karbür takımlardır. Deney parametrelerini değiştirip incelemeyi genişletmek için bir normal bir de kaplamalı kesici takımlar kullanılmış sonuçlar ona göre değerlendirilmiştir. Deneyde, farklı takviye hacim oranlarında SiC kullanılmış ve 4 ayrı sıcaklıkta ve karıştırma hızlarında meydana gelen yapısal değişiklikler incelenmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Geçen yüzyılın ortalarında başlayıp şu an süregelen ve gelecekte de sürmesi öngörülen kompozit malzemelerin üzerine birçok çalışmalar yapılmış olup matris ve takviye malzemeleri seçenekleri artırılmış, değişik parametreler üzerinde oynanarak malzeme özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Metod, takviye oranları, sıcaklık gibi parametreler çok değişik kompozit malzeme eldesine izin vermiştir. Aşağıda bu konularda yapılan çalışmalar detaylı olarak ele alınmıştır.

Çalın R., yaptığı çalışmada: Al matrisli MgO parçacık takviyeli kompozit malzeme vakumlu infiltrasyon yöntemi ile üretilmesinde parçacık tane boyutu, infiltrasyon sıcaklığı ve süresi, takviye hacim oranı, vakum değeri ve matrisin ve takviyenin fiziksel ve kimyasal özellikleri gibi parametrelerin etkileri araştırmıştır. Bu parametrelerin, infiltrasyon mesafesi, kompozitin mikroyapısı, kırılma dayanımı ve sertliği üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Artan infiltrasyon sıcaklığı ve süresi, takviye tane boyutu, vakum değeri ve sıvı matrisin Mg içeriğinin infiltrasyon mesafesini arttırdığı, artan takviye hacim oranının ise aksine bir etki gösterdiği tespit edilmiştir. Uygun şartlarda 3 dakikalık infiltrasyon süresinin belirlenen yükseklik için yeterli olduğu anlaşılmıştır. Kompozitin gözenekliliğinin, infiltrasyonu zorlaştıran şartlarda arttığı gözlenmiştir. Kırılma dayanımının matrisin Mg içeriği dışındaki diğer parametreler ile arttığı gözlenmiştir [2].

Pul M., yaptığı çalışmasında: Vakumlu infiltrasyon yöntemi uygulanarak Al matrisli MgO takviyeli bir metal matrisli kompozit elde edilmesi yoluyla üretilen malzemelerin deneysel olarak işlenebilirliği araştırmıştır. Çalışmada kompozit üretiminde matris malzemesi ortalama 295 µm ebatlarında %99,7 saflıkta alüminyum tozu ve takviye olarak ortalama 149 µm ebatlarında MgO tozları kullanılmıştır. Takviye oranları %5, %10 ve %15 olarak alınmıştır. İnfiltrasyon sıcaklığının ve süresinin artmasıyla infiltrasyon mesafesinin arttığı görülmüş, takviye –hacim oranının ise tersine azaldığı görülmüştür. Kesme kuvvetleri açısından yapılan değerlendirmede, artan kesme hızıyla kesme kuvvetlerinin düştüğü, ilerlemenin artmasıyla yükseldiği görülmüştür. Yüzey kalitesi ise, artan kesme hızıyla iyileşme

eğilimi göstermiş, ilerlemenin artmasıyla da ortalama yüzey pürüzlülük değerleri artma eğilimi göstermiştir [3].

Başcı Ü.G., yaptığı çalışmada: AA2024 alüminyum alaşımına hacimce %5-10 Al₂O₃ takviye edilmiş ve üretilen kompozitler kum ve metal kalıplara dökülmüştür. Yöntem olarak vorteks yöntemi kullanılmış ve elde edilen kompozit malzemelerin mikroyapı, yoğunluk, ısıl işlem ve çekme özellikleri incelenmiştir [4].

Tosun G., yaptığı çalışmada: %17 SiC partikülle takviyelendirilmiş 2124 Al alaşımı metal matrisli kompozitin delme performansı üzerinde matris mukavemetinin etkisini deneysel olarak araştırmıştır. Isıl işlemin etkisini incelemek amacıyla, iş parçası; ısıl işlemsiz, homojenleştirme, 4 saat ve 24 saat yaşlandırma ısıl işlemi şartları altında delinmiştir. Delme sonrası iş parçasının mikroyapısı ve yüzey pürüzlülüğü incelenmiştir. Delme deneyleri 90°, 118° ve 130° uç açısına sahip 5 mm çapında HSS, TiN ve karbür matkaplar kullanılarak yapılmıştır. Deney sonuçlarında, matkap sertliği, uç açısı ve ilerleme hızı arttıkça işlenmiş yüzeydeki deformasyonun ve yüzey pürüzlülüğünün azaldığı tespit edilmiştir. En iyi işlenmiş yüzey kalitesinin karbür matkaplar kullanıldığı zaman elde edildiği gözlenmiştir [5].

Sümer M., yaptığı çalışmada: %1 karbon içeren saf demir tozu yüksek enerjili bir adritör içerisinde 2,5-3,5 ve 5 saat sürelerle mekanik alaşımlama işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra alaşımlanmış tozların parçacık boyutu, şekli ve sıkıştırılabilirliği karakterize edilmiştir. Tozlar 1000 MPa presleme basıncı altında preslenerek standart boyutlarda blok numuneler elde edilmiş ve bu numuneler 2 saat süreyle değişik sıcaklıklarda tüp fırında argon gazı ortamında sinterlenmiştir. Numunelerin optik mikroskop çalışmaları ile Fe₃C dönüşümü sinterleme durumu, yapılan çapraz kırılma testi ile de numunelerin mekanik özellikleri belirlenmiştir. Sonuç olarak, blok parçaların çapraz kırılma mukavemeti ve mikroyapısı üzerinde mekanik alaşımlandırma süresi ve sinterleme sıcaklığının önemli bir etkiye sahip olduğu ortaya çıkmıştır [6].

Bilen M., yaptığı bir çalışmada: Spinel ile alüminyum tozu ve farklı bileşimlere sahip alüminyum alaşımları arasında yüksek sıcaklıklarda meydana gelen reaksiyonlar

incelenmiş, normal atmosferde 1100 °C’de farklı sürelerde gerçekleştirilen pişirme işlemi neticesinde alaşım kompozisyonuna ve pişirme süresine bağlı olarak metal yüzeyinde oksit büyümesi gözlenmiştir. Yapılan deneylerle; azot atmosferinde 900 °C, 1000 °C ve 1100 °C’de 4 saat pişirme sonunda %2,7-3,7 Mg ve düşük oranda Si (%0,3) içeren E-53 alaşımının $MgAl_2O_4$ spinele tamamıyla infiltre olduğu tespit edilmiştir. $MgAl_2O_4/Al$ kompozitinin vickers sertlik değeri 842 olarak bulunurken, yoğunluğu ise $2,947 \text{ g/cm}^3$ olarak bulunmuştur [7].

Çiftçi İ., yaptığı çalışmasında: Sıvı metal karıştırma- basınçlı döküm yöntemiyle ortalama 30, 45 ve 110 μm boyutlu SiC parçacıklardan ağırlıkça %8, 16 ve 32 oranlarında içeren 2014-Al esaslı metal matrisli kompozit malzemeler üretilmiş ve numunelere mikroyapı ve mekanik özellikler incelenmiştir. Kaplamasız sementit karbür, kaplamalı sementit karbür, kübik bor nitrit ve elmas kaplamalı sementit karbür kesici takımlar kullanılarak işlenebilirlik deneylerine tabi tutulmuşlardır. Kesici takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü incelenmiştir. Deneyler farklı kesme hızları, sabit talaş derinliği ve sabit ilerleme hızında yapılmıştır. Artan parçacık oranı ve boyutuna bağlı olarak, kullanılan bütün kesici takımlarda aşınma artmıştır. En yüksek aşınma direncini Kübik Bor Nitrid (CBN) kesici takımlar sergilemiştir. Kaplamasız ve kaplamalı sementit karbürlerde abrasif aşınma mekanizmasının etkili olduğu ve yüksek kesme hızlarında da ilave olarak kesici uçta kırılmalar görülmüştür [8].

Tekmen Ç., yaptığı çalışmasında: $Al\%7Si\%0,7Mg$ matrisli ve akımsız nikel kaplanmış hacimce %20 oranında ve ortalama 15 μm boyutlu SiC partikül takviyeli metal matrisli kompozit, sıkıştırılmalı döküm yöntemi ile üretilmiştir. SiC altlık ve parçacıkları oksidasyon, sol-jel ve akımsız nikel yöntemleri ile SiO_2 , TiO_2 ve nikel kaplanarak ıslanabilirlik özellikleri araştırılmıştır. Sonuçta, SiO_2 ve TiO_2 kaplamaya göre, SiC altlıkların Ni ile kaplanması ıslanabilirliği önemli ölçüde artırmıştır. Yine, TiO_2 kaplamaya Fe ilavesinin bir etkisi görülmezken Cu ve Ni ilavesi ıslanabilirliği azaltmıştır. Mikroyapı incelemesinde kompozitte SiC parçacıklarının homojen dağıldığı ve matris fazının porozitesiz ve dentritik yapıda olduğu gözlenmiştir. Üretilen kompozitin çekme mukavemeti, akma mukavemeti ve uzama değerleri sırasıyla 161 MPa, 133 Mpa ve %2,34 olarak bulunmuştur. Son olarak, kırık yüzeyi

incelemelerinde kompozitte kırılmanın matris fazının sünek ve SiC parçacıklarının gevrek kırılması gözlenmiştir [9].

Özçelik Ö., yaptığı çalışmasında: In-Situ tekniğinden yararlanılarak alümina parçacık takviyeli alüminyum matrisli kompozit elde edilmiş; malzemenin mekanik, fiziksel özelliklerinin tespiti için sertlik, yoğunluk gibi deneylerin yanısıra kimyasal analizi ve mikroyapı gözlemleri de yapılmıştır. Ticari saflıkta alüminyum matris malzeme olarak seçilmiş, içerisine %5, %10 ve %15 oranlarında CuO parçacıkları ilave edilmiştir. Sonuçta, üretilen kompozitin mekanik özelliklerinde takviye edilmemiş matris malzemesine göre önemli ölçüde gelişme sağlandığı gözlenmiştir [10].

Kumdalı F., yaptığı bir çalışmasında: Bor karbür takviyeli alüminyum esaslı kompozitleri toz metalürjisi yöntemiyle üretmiştir. Üretilen numunelerin mekanik ve mikroyapı özelliklerine takviye oranının, takviye tane boyutunun, tozlara uygulanan kurutmanın, presleme basıncının, sinterleme atmosferinin ve sinterleme sıcaklığının etkileri incelenmiş olup mikroyapılar taramalı elektron mikroskopu SEM 'de incelenmiş, mikrosertlik ve yoğunlukları ölçülmüştür [11].

Akçay C.E., yaptığı çalışmada: Hacimce %15 Al₂O₃ parçacık takviyeli Al₆Zn₂Mg₂Cu alüminyum esaslı kompozit sıvı faz sinterleme yolu ile üretilmiş olup üretimden sonra tavlanmış ve mekanik özellikleri test edilmiştir. Sonra, yüzey frezeleme yöntemi ile işleme sırasında oluşan kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve yığma kenar yüksekliği ölçülmüştür. Deneylerde, üç farklı kesici takım (kaplamasız WC, TiN kaplamalı WC, TiCN kaplamalı Al₂O₃), üç farklı kesme hızı (90, 120, 150 m/dak), üç farklı ilerleme hızı (0,08- 0,12- 0,16 mm/diş) ve sabit kesme derinliği (1 mm) kullanılmıştır. Sonuç olarak; kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve yığma kenar oluşumu açısından ilerleme hızının kesme hızından daha etkili olduğu görülmüştür. Ayrıca, ilerleme hızının artmasıyla kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğünün arttığı, yığma kenar yüksekliğinin azaldığı görülmüştür. İşleme koşullarında en iyi kaplamasız WC takım olduğu anlaşılmıştır [12].

Toprak O., yaptığı bir çalışmada: Koruyucu argon gazı atmosferi altında yarı katı karıştırma tekniği ve sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilen kompozit malzemelere soğuk biçimlendirme uygulanmış ve uygulanmamış olarak iki grup halinde farklı

hacimsel takviye oranlarına sahip AlMg₃/SiCp kompozitlerinin basma yükleri karşısında davranışları incelenmiştir. Deney sonuçlarında, malzemelerin basma dayanımlarının matris içerisindeki takviye hacimsel oranları ile doğrusal olarak arttığı, kompozit malzemelere uygulanan soğuk biçimlendirme işlemleri sonucunda da takviye ilavesi ile kazanılan dayanım artışına ek artışlar meydana geldiği gözlenmiştir [13].

Bağdatlı G., yaptığı bir çalışmada: Hacimce %20 SiC ve/veya %2,5-5-7,5-10 grafit parçacıkları Zn27 alaşımına ilave edilerek akım sinterleme yöntemiyle kompozit elde edilmiş üretilen numunelerin mikroyapı, mikrosertlik, aşınma, sürtünme ve termal genişleme özellikleri incelenmiştir. Numunelerin mukavemet değerlerinde artma olduğu gözlenmiştir [14].

Savaş Ö., yaptığı bir çalışmasında: Bor mineralleri kullanarak Al/AlB₂ kompozitleri değişik yöntemlerle elde etmiştir. AlB₂ yapılarının farklı alüminyum alaşımlarına bor mineralinin doğrudan ilavesi ile In-situ yöntemi ile sentezlenmesi sağlanarak üretilen kompozitlerin takviye içeriğini oluşturan AlB₂ fazının yapısal özelliklerinin, aspekt oranının ve dağılımının incelenmesi hedeflenmiş döküm olarak gravite döküm, savurma döküm ve ezme döküm teknikleri kullanılmıştır. Üretilen kompozitler sertlik, çekme ve basma deneylerine tabi tutulmuşlardır. Sonuçta; üretilen kompozitlerin takviye oranlarının artmasına bağlı olarak sertlik, çekme ve basma dayanımlarında % 300 oranına kadar artış olduğu gözlenmiştir [15].

Ertok Ş., yaptığı çalışmada: Mekanik alaşımlama yöntemiyle farklı oranlarda Al₂O₃ takviyeli alüminyum matrisli kompozit tozlar elde etmiştir. Mekanik alaşımlama işleminin kompozit tozu üzerine etkisini araştırmıştır. Takviye oranları %5, 10 ve 15 olarak seçilmiştir. Al alaşım ve kompozit tozlar preslenmiş ve ham numuneler elde edilmiştir. Numuneler 600 °C sıcaklıkta 3 saat süre ile argon gazı ortamında sinterlenmiştir. Sonuç olarak; planet tipi bilyalı değirmende mekanik alaşımlama süresinin artmasıyla Al₂O₃ parçacıklarının Al matris içerisinde daha homojen olarak dağıldığını göstermiştir. Ayrıca parçacık hacim oranı arttıkça yoğunluk, gözenek ve sertlik artmıştır [16].

Erturun V., yaptığı bir çalışmada: Yeni ve etkili bir aşırı deformasyon yöntemi ile Al esaslı kompozit malzemelerde tane küçülmesi sağlanarak işlem parametrelerinin tane küçülmesine ve mekanik özelliklere etkiler araştırılmıştır. Yöntem olarak karıştırmalı döküm ve toz metalürjisi kullanılmış, matris malzemesi olarak 2xxx ile 6xxx serisi Al alaşımı ve takviye olarak değişik yüzdelerde ve boyutlarda SiCp, B₄C ve Al₂O₃ tozları kullanılmıştır. Üretilen kompozit çubuklar karşıt ekstrüzyon sistemi ile 200 °C işlem sıcaklıkları ve 0-5 geçiş sayılarında tekrarlı olarak ekstrüze edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; ekstrüzyon sıcaklığı ürünün tane boyutu ve mekanik özelliklerini etkileyen en önemli faktör olmuştur. Ekstrüzyon geçiş sayısı ile 200 °C işlem sıcaklığında tane incilmesi sağlanmıştır. Geçiş sayısı yani deformasyon oranı arttıkça yoğunluğu teorik yoğunluğa yaklaşan ürünlerde sertliğin azalması ve tane boyutunun artmasına rağmen dislokasyon yoğunluğu, darbe tokluğu, yorulma mukavemeti ve çekme enerjilerinde artış tespit edilmiştir. Bunun yanında aşınma deneyine tabi tutulan takviyesiz ve MMK'ler üzerinde SEM ile yapılan incelemelerde düşük yükleme şartlarında abrasyonun etkin olduğu ve ağır yükleme şartlarında adhezyon ve oksitlenmenin hakim olduğu gözlenmiştir [17].

Topuz A., yaptığı çalışmada: Karıştırmalı döküm yöntemi ve toz metalürjisi (TM) yöntemi ile 2014 Alüminyum alaşımına farklı takviye oranlarında Al₄C₃ ilave edilerek kompozit malzeme üretiliyor. Her iki yöntemde de sırasıyla %0,5, %1, %2 ve %4 oranlarında Al₄C₃ katılmış ve farklı oranlarda katılan takviyenin mikroyapıya ve sertlik değerlerine etkisi belirlenmiştir. TM ile üretilen takviyesiz ve takviyeli malzemelerin sinterleme ısıl işleminden sonra yoğunluk değişimi araştırılmıştır. 510 °C'de 7 saat çözeltiye alınan ve hızlı su verildikten sonra 200 °C'de yaşlandırma ısıl işlemi uygulanan numunelerde sertlik değerlerinde değişimler olduğu gözlenmiştir. Parçacıkların dağılımına bağlı olarak homojenizasyonun etkin parametre olduğu tespit edilmiştir. Dağılımdaki farklılaşmanın sertliği ve aşınmayı olumsuz yönde etkilediği tespit edilmiştir [18].

Güler C., yaptığı bir çalışmada: Ağırlıkça %10 takviye kullanılarak elde edilen alüminyum matrisli bir kompozitin üretilmiş; elde edilen numunelerin mekanik özellikleri incelenmiş olup, mikroyapıları gözlenmiştir. Kullanılan üretim yöntemi

olarak sıkıştırma döküm yöntemi tercih edilmiştir. Araştırma sonucunda üretilen malzemelerin mekanik özelliklerinde artma gözlenmiştir [19].

Tezcan S., yaptığı bir çalışmada: Alüminyum matrisli bor karbür parçacık takviyeli kompozitler vortex yöntemiyle üretilmiş, üretilen kompozitler üzerinde mekanik özellikler ve TIG kaynak kabiliyetinin parçacık oranı ile değişmesi incelenmiştir. Üretilen kompozitlerde 40 µm boyutlu bor karbür kullanılmış ve matrise Ti ilave edilmiştir. Sertlik ve çekme deneyleri numunelere yapılmıştır. Numunelerin mikroyapısı ile kırılma yüzeyleri optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskopu ile incelenmiştir. Sonuçta, parçacık oranı artışı ile sertliğin arttığı çekme mukavemetinin ise azaldığı görülmüştür. Parçacık miktarının artması ile çekme mukavemetleri 95,6 MPa'dan 84,01 MPa'a düşmüştür. Parçacık miktarı arttıkça gevrek kırılma yüzeyleri de artmıştır [20].

Deniz S., yaptığı bir çalışmada: Otomotiv endüstrisinde özellikle fren diski, hafif jant ve bazı motor aksamı uygulamalarına alternatif olacak ETİAL 120 (443) matris alaşımlı Al₂O₃ parçacık takviyeli MMK üretimi yapılmıştır. Kompozit üretiminde vortex yöntemi kullanılmıştır. Takviye oranları %5, %10 ve %15 alınmıştır. Ergiyik karıştırma sıcaklığı 800 °C, karıştırma hızı 500 rpm ve ön ısıtılmış takviye parçacık sıcaklığı 500 °C olarak alınmıştır. Üretimi yapılan kompozitlere; çekme, eğme, darbe, yoğunluk, aşınma ve sertlik deneyleri uygulanmış, mikroyapı ile tarama elektron mikroskopu ile kırılma yüzeyi incelenmiştir. Deneyler sonucunda, aşınma, çekme, eğme dayanımı, elastiklik modülü değerlerinde, takviye hacim oranı artışı ile yükselme, buna karşılık darbe dayanımında azalma görülmüştür [21].

Koçer T., yaptığı çalışmasında: Basınçlı infiltrasyon yöntemi ile üretilen alüminyum metal matrisli kompozitlerin metal-metal ve metal-abrasif aşınma davranışlarını incelemiştir. Kompozitler sırasıyla %37 ve %24 hacim oranlarında Al₂O₃ ve SiC parçacıkları ile takviye edilmiş olup matriste %8'e kadar farklı oranlarda Mg bulundurmaktadır. Matrisin Mg içeriği ile kompozitlerin sertlik ve mukavemetleri artmış, süneklik ve toklukları azalmıştır. Yine kompozitlerin aşınma direncinin artan Mg miktarı ile arttığı da gözlenmiştir. Diğer yandan kompozitlerin abrasif aşınma dirençleri bilhassa 200 °C'nin üzerinde artan deney sıcaklığı ile azalmıştır [22].

Kılıçkap E., yaptığı çalışmasında: %5 ve 15 SiCp takviyeli AlSi₇Mg₂ metal matris kompozit malzemelerin üretilmesi ve fiziksel ve mekaniksel özelliklerinin incelenmesi üzerinedir. Bu amaçla kompozitler homojenleştirme ve yaşlandırma ısıl işlemine tabi tutulmuş ve numuneler tornalanmıştır. Tornalama işlemi; K10 kalitesinde kaplamasız ve TiN kaplı sert karbür kesiciler kullanılarak, 50, 100, 150 m/dak kesme hızlarında, 0,1, 0,2 ve 0,3 mm/dev'lik ilerlemelerle ve 0,5, 1 ve 1,5 mm talaş derinliklerinde yapılmıştır. Kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği ve soğutucu uygulamalarının takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkileri incelenmiştir. Matematiksel modelin çıkarılmasında faktöryel regresyon analiz yöntemi kullanılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır [23].

Akın G., yaptığı bir çalışmada: Farklı oranlarda B₄C içeren %100 Al ve %50 Al+%50 Al₁₂Si matrisli kompozitlerin toz metalürjisi yöntemiyle optimum üretim parametreleri sertlik ölçümleri ile belirlenmiş ve optimum koşullarda üretilen kompozitlerin özellikleri aşınma ve korozyon deneyleriyle incelenmiştir. Ağırlıkça %4-%23 aralığında B₄C takviye edilmiş kompozitlerde, artan B₄C içeriği ve matrise yapılan Al₁₂Si ilavesiyle sertlik artmaktadır. Aşınma direnci %9 B₄C içeriğine kadar artmakta ve bu miktarın üzerinde düşüş göstermektedir. Korozyon deneylerinde en düşük korozyon kaybı matrisi %100 Al olan B₄C parçacık takviyesi yapılmamış malzemede meydana gelmiştir [24].

Özkan S., yaptığı çalışmasında: Mekanik alaşımlama yöntemi uygulanarak elde edilen Al matrisli ve SiC takviyeli kompozitlerin kuru aşınma özellikleri tespit edilmiştir. Toz karışımları, 450 rpm hızda bilyalı dikey değirmende 1,5 ve 3,5 saat karıştırılarak hazırlanmıştır. Daha sonra 650 MPa basınçta kalıpta preslenerek dairesel numuneler elde edilmiştir. Blok numuneler 600°C'de 2 saat argon atmosferi altında sinterlenmiştir. Numunelere yoğunluk, porozite, sertlik ölçümleri ve mikroyapı incelemeleri yapılmıştır. Yoğunluk ölçümleri, porozitenin çok düşük olduğunu, parçacık oranının artması ve boyutunun düşmesi ile porozite oranının arttığını göstermiştir. Optik mikroskop ile mikroyapı incelemeleri parçacık boyutunun artması ile homojen bir dağılım sağlandığını göstermiş, düşük boyutlu

parçacıkların parçacık topaklanmasına ve porozite oluşumuna neden oldukları ortaya çıkarmıştır [25].

Önal M., yaptığı çalışmada: In-Situ reaksiyonlar ile Al_2O_3 ve TiC parçacıklar içeren Al esaslı kompozitler konvansiyonel sıcak presleme yöntemiyle üretilmiş ve üretilen kompozitlerin mikroyapıları ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Yapılan deneylerde sertlikteki artış tespit edilmiştir. Sinterleme esnasında oluşan reaksiyonları belirlemek için diferansiyel termal analiz, difraksiyon eğrilerini elde etmek için X-Işını difraktometre cihazları kullanılmıştır [26].

Özarlan B.S., yaptığı çalışmada: SiC parçacık takviyeli Al esaslı metal matrisli kompozitler iki aşamada üretilmiştir. İlk olarak, Al/SiCp metal matrisli kompozitler %10 takviye hacim oranında vorteks döküm yöntemiyle bilet şeklinde dökülmüş daha sonra bu biletler yuvarlak kesitli çubuk şeklinde 12, 25, 50 oranlarında sıcak ekstrüze edilmişlerdir. Çekme ve yorulma özellikleri deformasyon davranışları ile ilişkilendirilmiştir. Parçacık kümelenmesi, parçacık çatlak oluşumu ve zayıf matris takviye elemanı arayüzeyi ile ilgili olaylar açıklanmıştır [27].

Çalgülü U., Dikbaş H., Taşkın M., yaptıkları çalışmalarında: Sıcak presleme yöntemiyle imal edilmiş SiCp takviyeli Al esaslı kompozit çiftinin difüzyon kaynağı yöntemiyle birleştirilmesinde kaynak süresinin birleşme üzerindeki etkisi araştırmışlar, kaynak sonrası birleşme ara yüzeyinde meydana gelen mikroyapı değişikliklerini optik mikroskop ve SEM ile incelemişlerdir. Yapılan deney ve incelemeler sonrasında bütün kaynaklı numunelerde artan süreye paralel olarak kaynağın mekanik özelliklerinde iyileşme gözlenmiştir [28].

Zadeh M.H., Mirzaee O., Saidi P., yaptıkları çalışmalarında: Ağırlıkça %1 Al_2O_3 parçacıkları Al matrisine katılmış ve 1000 °C'de ısıtılarak tabi tutularak parçacıklarının kompozit içinde mekanik özellikleri nasıl etkileyeceği araştırılmıştır. Al_2O_3 'ün kristal kafesinin değişimleri X-Işınları Kırınımı ile incelenmiş ve grainlerin şekil ve boyutları SEM ile incelenmiştir. Isıtılma esnasında parçacıkların şeklinde kayda değer değişimler gözlenmiştir. Sonuçta, %1 Al_2O_3 takviyeli alüminyum

kompozitinin sertlik, basma dayanımı ve aşınma gibi mekaniksel özelliklerinde artma gözlenmiştir [29].

El-Gallap M., Sklad M., yaptıkları bir çalışmalarında: Parçacıklı metal matris kompozitlerin mükemmel mekaniksel ve ısıl özelliklerine rağmen, onların zayıf işlenebilirliği, metal parçaların yerine kullanılmasına engel olmaktadır. Sert aşındırıcı takviye fazı işleme esnasında hızlı takım aşınmasına sebep olmakta bu yüzden, yüksek işleme maliyetlerini ortaya çıkarmaktadır. Bunun için yapılan çalışmada kuru çalışma şartlarında bir seri tornalama işlemi yapılmış ve %20 SiC/Al metal matris kompozitlerin tornalanması için optimum takım malzemesi, takım geometrisi ve kesme parametreleri seçiminin önemi anlaşılmıştır. Sonuç olarak; Al₂O₃ ve kaplanmış karbür takımlara kıyasen polikristal elmas takımların (PCD) daha uzun takım ömrü sağladığı görülmüştür. Bununla beraber; PCD takımın, kuru şartlarda, kesme oranları 0,45 mm/dev, kesme hızı 894 m/dak ve kesme derinliği 1,5 mm alınırsa maliyetinin düşeceği gözlenmiştir. Pürüzlülük işlemleri için ayrıca, büyük takım burnu yarıçaplı ve sıfır eğim açılı polikristal takımlar tavsiye edilmiştir [30].

Lin J.T., Bhattacharyya D., Lane C., yaptıkları çalışmalarında: DURALCAN olarak adlandırılan A359/SiC/20p alüminyum metal matris kompozitin işlenebilirliği incelenmiştir. Kompozit çubuklar 25 mm çapında dairesel hazırlanarak tornalanmış ve kesici takım olarak polikristal elmas (PCD) takım kullanılmıştır. Testte; kesme hızları 300, 500 ve 700 m/dak ve ilerleme oranları 0,1- 0,2 ve 0,4 mm/dev ile kesme derinliği sabit 0,5 mm olarak çalışılmıştır. Takımların performansı, optik ve taramalı elektron mikroskopunda 0,25 mm maksimum yanak aşınmasında görülmüştür. Takım ömrünün analizi regresyon tekniği ile yapılmış Taylor denkleminin genel formu kompozit üzerinde takım performansı olarak ele alınmıştır. Takım hızı ve ilerleme artmasıyla takım ömrünün sınır değeri düşmüştür. Bu fenomenler Taylor denkleminin modifiye edilmiş formunda yeniden yazılmak suretiyle uygunlaştırılmıştır. Bu pratik çalışma bitmiş yüzey ve talaş şekillenmesi üzerine kesme parametrelerinin yeniden tartışılmasına zemin hazırlamıştır [31].

Müller F., Monaghan J., yaptıkları çalışmalarında: Konvensiyonel işleme proseslerine nazaran çok zor olan parçacık takviyeli metal matris kompozitlerin işlenebilirliği için yeni işleme tekniklerinin araştırılması yapılmıştır. Çalışmada yeni tekniklerden Elektro şarj işleme (EDM) , laser kesme ve abrasif su jeti (AWJ) teknikleri kullanılarak SiC takviyeli kompozitler üzerinde incelemeler yapılarak kıyaslamalar yapılmıştır [32].

Davim J.P., yaptığı çalışmasında: Metal matrisli kompozitlerde kesme hızı ve ilerleme gibi kesme şartlarının etkisi araştırılmıştır. Bunun için deneysel çalışmada Taguchi tekniği baz olarak alınmış işparçasında kesme şartlarında işleme performansları araştırılmıştır. A356/20/SiCp-T6 metal matris kompozitinin kesme şartlarının araştırılmasında ortogonal dizi ve varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır. Kesici uç olarak PCD takım kullanılmıştır. Kesme hızı, ilerleme, kesme süresi, takım aşınması, gerekli olan güç işleme operasyonu ve işparçasının yüzey pürüzlülüğü parametreleri arasında bir korelasyon aranmıştır. Bu korelasyonlar çoklu lineer regresyon kullanılarak elde edilmiştir. Sonuçta; deneysel sonuçlarla öngörülen korelasyonlar mukayese edilmiştir [33].

Literatür taramasının sonucunda, genellikle metal matrisli kompozitlerle çalışıldığı, matris malzemesinin alüminyum ve alaşımları olduğu, takviye elemanının SiC, MgO, TiO₂, B₄C ve Al₂O₃ seçildiği ve araştırma konularının kompozitin mekaniksel özelliklerindeki gelişmelerin incelenmesi olduğu anlaşılmaktadır. Özellikle sertlik, aşınma, basma ve çekme dayanımları ve pürüzlülük gibi konular ele alınmıştır. Yöntem olarak bilinen döküm yöntemleri, karıştırmalı döküm, vorteks, in-situ vb. tekniklerin tercih edildiği dikkati çekmektedir. Bunların yanında çok özel tekniklerin kullanılarak spesifik sonuçların elde edildiği literatür taramasında ortaya çıkmaktadır.

1950 yıllarından beri birçok matris ve takviye elemanı kombinasyonları denenmiştir. Metal matrisli kompozitler için; magnezyum, demir, titanyum ve süper alaşımlar gibi matris malzemelerine karşılaştırılırsa daha çok alüminyum ve alüminyum alaşımları kullanılmıştır. Yine, takviye elemanı olarak; karbür, nitrür, oksit ve borür gibi refrakter bileşiklerden oluşan endüstriyel tozlar kullanılmaktadır. Ancak daha çok

tercih edilen süreksiz takviye ve kılcal kristal formda SiC ve Al₂O₃'dür. SiC' ün sertliği, kırılmaya karşı direnci, elastisite modülü Al₂O₃'den daha yüksek, yoğunluğu ve ısıl genleşme katsayısı daha düşük olduğundan genelde SiC'ün takviye elemanı olarak kullanımı daha yaygındır [34].

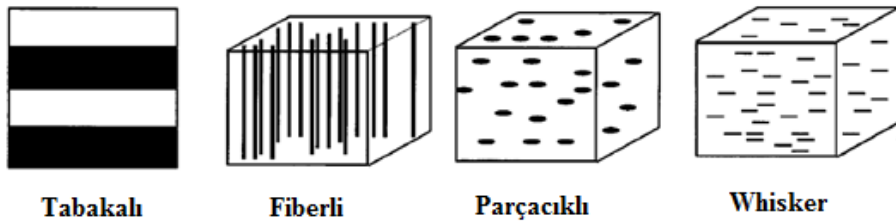
3. KOMPOZİT MALZEMELER

Birbirlerinin zayıf yönünü düzelterek üstün özellikler elde etmek amacıyla bir araya getirilmiş değişik tür malzemelerden veya fazlardan oluşan malzeme sistemine kompozit malzeme denir. Kompozit malzemeler en az iki değişik malzemeden oluşurlar ve yeni yapı kompoziti meydana getiren malzemelerden üstün özelliklere veya istenen özelliklere sahip olması gerekir. İçerisinde çelik donatı bulunan beton yapılar, cam elyafı karbon tabakalar, yine cam elyafı polyester levhalar, metallere seramiklerin karışımından oluşturulmuş Sermet'ler kompozit malzemelere örnektirler [35].

Kompozitlerde ana faza matris, ilave malzemeye takviye denir. Kompozit malzemedeki ana fazı oluşturan matris malzeme, plastik deformasyona geçişte oluşabilecek çatlak ilerlemelerini önler ve kompozitin kopmasını geciktirir. Takviye malzeme ise kompozitin mukavemet ve yük taşıma özelliğini artırır.

Kompozit malzemelerin içine ilave edilen takviye elemanının nasıl katıldığına göre kompozit adlandırılır.

1. Tabakalı kompozitler
2. Fiberli kompozitler
3. Parçacıklı kompozitler
4. Whisker kompozitler



Şekil 3.1. Takviye malzemesinin şekline göre kompozitler [36]

Kompozit malzemeleri detaylı olarak belirtmek için kullanılan matris ve takviye elemanını belirterek ifade edilmesi yaygın bir uygulamadır (Al matris, Ti matris, SiC fiber, Al₂O₃ parçacıklı veya Al/SiC kompozitler gibi).

3.1. Kompozit Malzemelerin Tarihçesi

Kompozit malzemelerin tarihi çok eskilere dayanmaktadır. Çinlilerin yapılarında balmumu kullandıkları bilinmektedir. Bu ise elyaf takviyeli kompozitlere güzel bir örnektir. Arkeologlar, M.Ö. 2800 yıllarında Mısırda lamine edilmiş tahta plakalar bulmuşlardır. Orta doğuda ok yaylarının üst üste konan malzemelerle yapılarak daha fazla eğilme dayanımı sağlandığı bilinmektedir. Anadolu'da Türklerin ise saman ve çamuru karıştırarak kerpiç yapmaları yine kompozitlere örnektir [37].

Ağaç (odun) bilinen en doğal kompozit malzemedir. M.Ö. 2000'lerde kontraplak kullanımını bilinmektedir.

Vitruvius tarafından bulunan beton da inşaatlarda kullanılan iyi bir kompozit malzemeye örnektir.

1907'de ilk yapay fiberle güçlendirilen ve Bakalit adı verilen plastik malzeme halen kullanılan kompozitlerdendir.

1940'larda cam fiber takviyeli polimerler (GFRP), 1960'larda karbon fiber takviyeli polimerler (CFRP), 1971'de Kevların bulunması, 1970'lerde Metal Matris Kompozitler (MMK) ve 1976'da seramiklerin bulunması kompozitlerin tarihi gelişimini göstermektedir [37].

Cam liflerinin sanayide kullanımıyla ilgili ilk kayıt, 1877 tarihlidir. Hidrolik bağlayıcılar ve elyaf malzeme kullanılarak yapay taş plakaların üretilmesi yöntemi hakkında bu yüz yılın başında alınmış patentlere rastlanmaktadır. Günlük uygulamalarda en yaygın kullanım olanağı bulmuş olan liflerle donatılmış kompozit malzemelerden ikisi, asbest lifleriyle donatılı kompozit malzemeler ve cam lifleriyle donatılı polyster kompozitlerdir. İlk kez ince levha yapımında kullanılan çimento ve

asbest kompozitleri yıllar boyu önemini koruyarak bu gün hala kullanılan bir malzeme olma özelliğini sürdürmektedir [37].

Öte yandan, fiberle donatılı sentetik reçineler 1950’li yılların ortalarından itibaren endüstride kullanılmaya başlanmıştır. Bu malzemenin en tanınmış grubunu “cam lifi donatılı polyester reçinesi kompoziti” oluşturmaktadır. Ülkemizde “fiberglas” diye tanınan bu malzeme 1960’lı yılların başından itibaren Türkiye’de sıvı depoları, çatı levhaları, küçük boyda deniz teknelerinin yapımı gibi alanlarda kullanılmıştır. Ülkemizde seri üretimi yapılmış ilk yerli otomobil olan “Anadol”un kaportası bu malzemedен üretilmiştir.

Cam lifleriyle donatılı sentetik reçine matrisli malzemeler için dilimizde “Cam Takviyeli Plastik (CTP)” adı yerleşmiştir. Cam takviyeli plastiklerin üretiminde, en çok kullanılan malzeme olan polyeşterin yanı sıra, günümüzde, diğер termoset ve termoplastik reçinelerde kullanılmaktadır.

3.2.Kompozit Malzemelerin Avantaj ve Dezavantajları

Kompozitlerin kullanım yerlerine bağılı olarak avantajlı olacağı alanlar bulunmaktadır. Bunlar;

Yüksek Mukavemet: Kompozit malzemelerin çekme ve eğilme mukavemetleri birçok metalik malzemeye göre çok daha yüksektir. Ayrıca kalıplama özelliklerinden dolayı kompozitlere istenen yönde ve bölgede gerekli mukavemet verilebilir. Böylece malzemedен tasarruf yapılarak daha hafif ve ucuz ürünler elde edilebilir [38].

Kolay Şekillendirilebilme: Kompozitlerin şekillendirilmesi diğерlerine göre malzeme ve işçilik açısından avantajlıdır. Karmaşık profilli parçalar ve büyük parçalar kolayca kalıplanabilirler [38].

Elektriksel Özellikler: Plastik matrisli kompozitler plastiklerin yalıtkan özelliğinden dolayı iyi yalıtkan malzemelerdir. Büyük enerji hatlarında bu özelliğinden yararlanılabilir [38].

Korozyona ve Kimyasal Etkilere Karşı Dirençleri: Metallerin ve özellikle demir içerikli alaşımların en büyük dezavantajlarından olan hava, su ve kimyasallara karşı korozyona uğramaları yanında kompozitler bu ortamlara iyi mukavemet gösterirler. Bu yüzden kompozitler; havacılık, deniz üstü ve altı çalışmalarında, kimyasal madde taşınım ve depolanmasında güvenlikle kullanılabilirler [38].

Isıya Dayanıklılık: Isı iletim katsayısı düşük malzemelerden oluşabilen kompozitlerin ısıya dayanabilmesi, yüksek ısılarda kullanılabilmelerine olanak sağlamaktadır. Bazı özel katkılarla da bu özelliği artırılabilir.

Renklendirme: Saf metallerin ve alaşımların kendilerine ait doğal renkleri vardır. Fakat kompozitlere kalıplama esnasında renk verici pigmentler katılarak istenen renkler kalıcı olarak verilebilir.

Titreşim Sönümlenme: Kompozitlerin yapısı gereği doğal bir titreşim sönümlenme özellikleri vardır. Çatlakların ilerlemesi de bu yolla engellenir [38].

Yukarıda sayılan özellikleri özetlersek kompozit malzemelerin avantajları kısaca şöyledir:

- Yüksek dayanım
- Yüksek rijitlik
- Düşük yoğunluk (ve dolayısıyla ağırlık)
- Yüksek yorulma dayanımı
- Yüksek aşınma direnci
- Yüksek korozyon direnci
- İstenen yönde ısıl özellikler
- Estetik görünüm

Bütün bu istenen özelliklerine rağmen kompozit malzemelerin dezavantajları da olabilir. Bunları şöylece sıralayabiliriz:

-Yüksek maliyet

-Kompozit malzemelerde bulunan hava zerreciklerinin malzemenin yorulma dayanımına olumsuz etkileri

-Kompozit malzemelerin özelliklerinin yöne bağımlılığı

-Aynı kompozit malzemedeki çekme, basma, eğme ve kayma mukavemet değerlerinin farklı çıkabilmesi

-Hassas imalatın elyaf yapılarından dolayı zor olması. Delik açma kesme operasyonları vb.

-Kırılma uzamalarının az olması

-Geri dönüşümün genellikle olmayışı

Kompozitler, klasik malzemelere alternatif malzemeler olduğundan bu şekilde üstün tarafları ve sınırlı tarafları da olacaktır. Çizelge 3.1' de, bazı mekanik özelliklerine bakarak kompozitlerle diğer malzemelerin üstün ve (veya) zayıf tarafları karşılaştırılmıştır.

Çizelge 3.1. Kompozitlerle klasik malzemelerin mekanik özelliklerinin karşılaştırması [39]

Malzeme Cinsi	Özgül Ağırlığı (ρ , g/cm ³)	Çekme Dayanımı (σ , MPa)	Elastisite Modülü (E, GPa)	Özgül Çekme Dayanımı (σ/ρ)	Özgül Modülü (E / ρ)	Uzama (%)
Alüminyum	2.8	84	71	30	25	----
Al-2024	2.8	247	89	88	25	8-20
Al alaşımı	2.8	600	71	210	25	----
Titanyum	4.51	700	117	192	25.1	20
Ni Alaşımı	8.18	450-1200	204	147	24.9	26-45
Ahşap (kayın)	0.7	110	13	157	19	----
Alaşımsız çelik	7.86	460	210	60	27	20
Düşük Alaşımlı Çelik	7.8	600	207	80-250	26.5	20-30
Dökme Demir	----	275	138	----	----	0.6
Pirinç (%30 Zn)	8.5	550	100	60	12	----
Karbon/epoxy, %60	1.62	1400	220	865	135	0.8
Kevlar/epoxy	1.38	1310	83	950	60	----
Cam/epoxy, %60	1.66	1510	165	910	99	----
Cam/polyester, %50	1.9	750	38	390	19.8	1.8

Genel olarak tablodan anlaşıldığı gibi yoğunluklarında düşme görülürken çekme mukavemetlerindeki artış dikkat çekicidir.

3.3. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları

Kompozit malzemelerin bilinen en eski ve en geniş kullanım alanı inşaat sektörüdür. Saman ile güçlendirilmiş çamurdan yapılan duvarlar ilk kompozit malzeme örneklerindedir. Bugün taş, kum, kireç, demir ve çimento ile oluşturulan kompozit malzeme evlerimizi oluşturmaktadır.

Kompozit malzemeye en güncel örneklerden biri de kağıttır. Selüloz ve reçineden oluşan kağıt, günümüzde yaşamımızın her alanında eşsiz bir kullanım aracı olarak insanlığın hizmetine sunulmuştur.

Günümüzde kompozit malzemelerin kullanım alanı çok geniş boyutlara ulaşmıştır. Kompozit malzemelerin başlıca kullanım alanları ve bu alanlarda sağlanan avantajlar şu şekilde sıralanabilir:

Otomotiv Endüstrisi: Otomobilin ağırlığını azaltmak; yakıt tüketiminde hatırı sayılır tasarruflara yol açtığından, otomobil üreticileri ağırlığı azaltacak yeni malzeme arayışlarına girmiştir. Örnek olarak; Ön kısmı cam elyaf takviyeli polimer kompozitten yapılmış bir araba 35 mil/saat çarpma deneyini geçmiştir. Çarpışmalarda çelik kadar güvenlik sağladığı gibi, polimer kompozitler titreşim kontrolü gibi özellikleriyle de daha üstün performans göstermektedirler [40].

Otomotiv endüstrisinde şu ana kadar termosetler, termoplastiklere nazaran daha fazla kullanım alanı bulmuştur. Otomobil gövdelerinde termoset kullanımı yaygın olmakla birlikte, termoplastiklere rağbet görülmeye başlanmıştır. Birçok aracın ön kısımları cam elyaf örgülü termoplastik tabakalardan yapılmıştır. Son zamanlarda giriş manifoldları çoğunlukla alüminyumdan imal edilmektedir. Fakat bu parçaların şekilleri daha karmaşık hale geldikçe ve tek kalıpla üretilen cam elyaf takviyeli termoplastikler ağırlıktan tasarruflar sağladıkça, termoplastikler tasarımcılara daha cazip gelmeye başlamıştır. Ford Mondeo'nun 4 silindirli 16 valflü motorunun giriş manifoldu cam elyaf katkılı polyamidten imal edilmiştir. Chevrolet giriş manifoldlarında cam elyaf katkılı naylon kullanmaktadır. Chrysler gibi otomobil üreticileri de valf kapaklarını termoset kompozitlerinden yaparak maliyetleri %15-20 indirebilmişlerdir. Plastik kompozitlerin önemli bir potansiyel uygulama alanı ön koltukların monte edildiği çatıdır. Kompozitlerin fanlarda da kullanımı görülmeye başlanmıştır. GM elektrikli taşıtının çatısında metal matrisli Boralyn kompozitini kullanmaktadır. Boralyn'in katılığının özgül ağırlığa oranı, çelik ve alüminyumunkinin 1,5 katıdır ve yoğunluğu ise alüminyumun yoğunluğuna yakındır [40].

Havacılık Sanayii: Havacılıkta son yıllarda yapılan temel bir atılım metal malzeme yerine kompozit malzeme kullanımı konusudur. Uçak yapılarında kullanılan ileri kompozitler, elyaf takviyeli kompozitlerdir. Uçak yapılarında alüminyum alaşımları gibi konvansiyonel malzemelerin yerini alan kompozit malzemeler, düşük ağırlığa oranla yüksek mukavemet özelliğine sahiptirler. Uçak yapısı için malzeme seçiminde önemli bir kriter olan mekanik özelliğin yoğunluğa oranı ile ifade edilen, özgül mekanik özellik değerleri karşılaştırıldığında bor/epoksi ve karbon/epoksi kompozitlerin konvansiyonel malzemelerden önemli farklarla üstün oldukları görülmektedir [40].

Uçak tasarımında ilk olarak kullanılan kompozitler cam elyaf kompozitlerdir. 1944'lerde "Vultee BT-15" eğitim uçaklarında gövdenin arka kısmında kaplama malzemesi olarak cam elyaf reçineli kompozit plakalar ağaç çekirdeğin yüzeylerine yapıştırılarak sandviç paneller şeklinde kullanılmıştır (Phillips, 1987).

Kompozit yapıların uçak tasarımındaki yaygın kullanımı 1960'larda başlamıştır (A.B.D'de bor elyaflar, İngiltere'de ise grafit elyaflar). ABD'de 1970'lerde bor/epoksi kompozitler F-111'lerin yatay kuyruklarında ve F-4'lerin istikamet dümeninde kullanılmışlardır (Grimes, 1976). Bor/epoksi kompozitler yüksek performanslı askeri uçakların tasarımında kullanılmışlar ve başarılı olmuşlardır. Bu kullanıma örnek olarak F-14'lerin yatay kuyruk yüzey kaplaması ve F-15'lerin yatay ve dikey kuyrukları verilebilir (Noton, 1974).

İngiltere'de grafit epoksinin gelişimi çok yavaş olmuştur. Strikemaster'ler için istikamet dümeni gibi küçük parçalar üretilmiştir ve Jaguar'ların aerodinamik frenlerinin yapımında kullanılmıştır (Lenoe, et al 1973). 1970'lerin ortalarında ABD bor-epoksiden grafit-epoksiye geçmiştir. F-16'larda grafit-epoksi yatay ve dikey kuyruk yüzeyleri kaplamasında ve kumanda yüzeylerinde kullanılmıştır ve yapısal ağırlığın %3'ünü oluşturmaktadır (Phillips, 1987). Grafit/epoksi kompozitlerin F-18'lerde kullanımı ise yapısal ağırlığın %10'unu, toplam alanın ise %50'sini oluşturmaktadır (Phillips,1987).

AV-8B uçaklarında ise tüm kanat kaplaması ve yapısal elemanlar grafit/epoksidir. Aynı zamanda yatay kuyruk yüzeylerinde gövdenin ön kısımlarında ve çeşitli kumanda yüzeylerinde kullanılarak ağırlıktan % 26'lık bir kazanç sağlanmıştır (Huber, 1982).

Avrupa'da üretilen askeri uçaklar ele alındığında; İtalyan-İngiltere-Almanya yapımı Tornado uçaklarında grafit-epoksi yatay kuyruk kumanda yüzeylerinde kullanılmıştır (Schwartz, 1984). Fransa yapımı Mirage 2000'lerde ise bor-grafit-epoksi karma kompozitler kanat kumanda yüzeylerinde ve düşey kuyrukta kullanılmıştır (Gay, 1989).

Gelişmiş kompozitlerin sivil uçaklardaki uygulaması askeri uçaklardan daha sonra gerçekleştirilmiştir. Ancak bu konuya ilgi hızla artmaktadır. Grafit-epoksi kompozitlerin sivil yolcu uçaklarındaki ilk uygulamaları Boeing 727'lerin gövde kaplamasında gerçekleştirilmiş ve %14 ağırlık kazancı sağlanmıştır (Brooks, et al., 1980). Boeing 737'lerin aerodinamik frenleri grafit- epoksi kompozitten üretilmiştir .Bu uçaklarda kompozit kullanımıyla %15'lik bir ağırlık kazancı sağlanmıştır (Noton, 1974).

NASA'nın Uçak Enerji Verimliliği programları çerçevesinde uçak yapısı için Kompozit malzeme geliştirimine gidilmiştir. 1980'lerde sadece ikinci dereceden yapısal elemanlarda kompozit kullanılırken, 1985'lerde birinci dereceden temel yapısal elemanlar için kullanılmaya başlanmıştır (Dexter, 1980). 1980'lerde Boeing 757 ve 767'lerde kuyruk grubunda, kumanda yüzeylerinde, kanatçıklarda ve flaplarda grafit-epoksi kullanılmıştır (Schvartz, 1984).

Bir başka gelişmiş kompozit tipi ise Kevlar (aramid)-epoksidir. Uçak yapısında oldukça yaygın bir kullanımı söz konusudur. Özellikle karma kevlar-grafit-epoksi yapılar kullanılmaktadır. Boeing 767'lerde bu karma yapı motor kaplaması ve kanat hücum kenarı yapılarında kullanılmıştır (Dexter, 1980). Kevların düşük basma mukavemeti bu karma yapılarda ortadan kaldırılmıştır.

Küçük bir yolcu uçağı olan Lear Fan 2100'de grafit-epoksi ağırlıklı olmak üzere tüm yapı kompozittir. İki kişilik "Rutan Voyager" ise durmaksızın dünyanın çevresini dolaşan bir uçaktır ve karbon-polyester ağırlıklı olmak üzere, tamamen kompozitten imal edilmiştir (Phillips, 1967).

Lockheed-California tarafından üretilen L-1011 yolcu uçaklarında kanatçık yapısı alüminyum alaşımı yerine kompozit malzemedен üretilerek %26.3'luk bir ağırlık kazancı sağlanmıştır.

Aerospatiale yapımı süpersonik yolcu uçağı Concorde'da grafit-epoksi kompozit, iniş takımı kapaklarında kullanılmıştır. Airbus A300 yolcu uçağında grafit-epoksi kompozitler istikamet dümeni, aerodinamik fren ve kanat hücum kenarında kullanılmıştır. Aynı uçağın kanat firar kenarı ve irtifa dümeni kevlar/epoksi kompozitten üretilmiştir. A320'lerde bu kısımlara ek olarak radar konisi, motor kaplaması ve tüm kuyruk grubu grafit/epoksi kompozitten üretilmiştir (Herteman, 1989).

Şehircilik: Bu alanda kompozitler, toplu konut yapımında, çevre güzelleştirme çalışmalarında (heykel, banklar, elektrik direkleri v.s.) kullanılmaktadır. Üreticinin çok sayıda standart ürünü kısa zamanda imal edebilmesi, montajdan tasarruf ve ucuz maliyet imkanları, kullanıcıya da yüksek izolasyon kapasitesi, hafiflik ve yüksek mekanik dayanım imkanları sağlamaktadır.

Ev Aletleri: Masa, sandalye, televizyon kabinleri, dikiş makinesi parçaları, saç kurutma makinesi gibi çok kullanılan ev aletlerinde ve dekoratif ev eşyalarında kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Bu şekilde komple ve karışık parça üretimi, montaj kolaylığı, elektriksel etkilerden korunum ve hafiflik gibi avantajlar sağlamaktadır.

Elektrik ve Elektronik Endüstrisi: Kompozitler, başta elektriksel izolasyon olmak üzere her tür elektrik ve elektronik malzemenin yapımında kullanılmaktadır.

İş Makinaları: İş makinalarının kapakları ve çalışma kabinleri yapımında da kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Bu şekilde üretimde kullanılan parça sayısı azaltılabilmekte, tek parça üretim mümkün olmaktadır. Ayrıca elektrik izolasyon malzemelerinden de tasarruf sağlanmaktadır.

İnşaat Sektörü: Cephe korumaları, tatil evleri, büfeler, otobüs durakları, soğuk hava depoları, inşaat kalıpları birer kompozit malzeme uygulamalarıdır.

Tasarım esnek ve kolay olmakta, nakliye ve montajda büyük avantajlar sağlamaktadır. İzolasyon problemi çözülmekte ve bakım giderleri azalmaktadır.

Tarım Sektörü: Seralar, tahıl toplama siloları, su boruları ve sulama kanalları yapımında kompozitler özel bir öneme sahiptirler. Kompozit malzemelerden yapılan bu örnekler istenirse ışık geçirgenliği, tabiat şartlarına ve korozyona dayanıklılık, düşük yatırım ve kolay montaj gibi avantajlar sağlamaktadır.

Şekil 3.2’de kompozitlerin havacılık sanayiinde kullanımına bir örnek verilmiştir.



Şekil 3.2 Kompozit malzeme kullanımına havacılık sektöründen bir örnek [41]

3.4.Kompozit Malzeme Türleri

Kompozitler, içerisinde bulundurduğu matris ve takviye malzemelerine göre ve imal yöntemlerine göre sınıflandırılırlar. Matris malzemelere göre kompozitler:

- * Polimer Matrisli Kompozitler (PMK)
- * Seramik Matrisli Kompozitler (SMK)
- * Metal Matrisli Kompozitler(MMK)

3.4.1. Polimer Matrisli Kompozitler

Polimer malzemeler son yüzyıla damgasını vuran malzemeler olup kullanımları son yıllarda neredeyse kullanımları metalleri geçmiş durumdadır. Yoğunluklarının düşük olması, elde edilme yöntemlerinin sürekli geliştirilmesi ve mühendislik uygulamalarında şaşırtıcı mekanik özelliklere sahip olmaları tercih nedenleridir. Özellikle otomotiv sektöründe kullanımları yaygınlaşmıştır [42].

Çeşitli mühendislik uygulamalarında polimer kompozitler; esneklik, hafiflik, sertlik dayanım istenen yerlerde kullanılabilirdiği gibi bunların yanında; sertliği ayarlanabilen yapay doku ve organlar gibi uygulamalar, “optik elyaf” ve basınç ile elektrik üretilen piezoelektrik özellikli özel sistemlerin yapımında da polimerik kompozitler kullanılmaktadır [42, 43].

Polimerik kompozitler iki ana grupta incelenebilir:

1. Parçacık takviyeli kompozitler
2. Sürekli elyaf kompozitler

Sürekli elyaf içeren kompozitler yüksek performans istenen uygulamalarda tercih edilmektedirler. Burada ince elyaflar matris yapıda yer alırlar ve yapının mukavemetini etkilerler. Elyafın matristeki yerleşimi mukavemeti az veya çok

etkileyebilir Örneğin ince uzun şekildeki elyaflar matris doğrultusunda olduğunda yüksek mukavemet alınmaktadır. Bunun yanında matriste kısa homojen dağılan elyaflar izotropik bir yapı oluşturmaktadır [42].

Elyaflarla pekiştirilmiş polimer kompozitler endüstride çok yaygın kullanım alanı bulmaktadır. Pekiştirici olarak genellikle cam, karbon kevlar ve boron elyaf kullanılır. Çeşitli elyaf malzemelerinin bazı özellikleri Çizelge 3.2' de verilmiştir.

Çizelge 3.2 Kompozitlerde kullanılan bazı fiber malzemelerinin mekanik özellikleri [41]

Malzeme	Özgül Ağırlık, g/cm ³	Çekme Mukavemeti, N/mm ²	Elastikiyet Modülü , N/mm ²
Cam fiber	2,54	2410	70000
Karbon fiber	1,75	3100	220000
Kevlar fiber	1,46	3600	124000

Kompozit yapılardaki en önemli takviye malzemeleri, günümüzde, sürekli elyaflardır. Cam elyaf, kullanılan en eski elyafdır. Son yıllarda ise geliştirilmiş olan bor, karbon, silisyum karbür ve aramid elyaflar ise kompozit yapılarda kullanılan yeni tip elyaftır.

Yapısal hataları en aza indirmek ve mekanik özelliklerini arttırmak için elyafın çaplarının küçültülmesi gerekir. Elyafda bulunacak aşağıdaki özellikler performansı yüksek mühendislik malzemeleri olmalarını temin eder [42].

-Üstün mikroyapısal özellikler, tane boyutlarının küçük oluşu ve küçük çapta üretilmeleri.

-Boy / Çap oranı arttıkça matris malzeme tarafından elyafa iletilen yük miktarının artması.

-Elastikiyet Modülünün yüksek olması.

Polimer matrisli kompozitlerde kullanılan elyaflar şunlardır:

a. Cam Elyaf

Elyaf takviyeli kompozitler arasında en çok bilineni ve kullanılanı cam elyafdır. Cam elyaf çok değişik tiplerde imal edilebilir. Camın elde edilmesi için, silika 1260 °C civarında içindeki katkı malzemeleri ile birlikte kuru olarak ısıtılır. Soğumaya bırakıldığında çok sert bir yapı elde edilmiş olur. Cam elyafının bazı özellikleri şöyledir:

-Çekme mukavemeti çeliğinkinden daha yüksektir (birim ağırlık başına).

-Isıl dirençleri düşüktür. Yanmazlar fakat yüksek sıcaklıkta yumuşarlar. Bu özellikleri katkı malzemeleri kullanarak artırılabilir.

-Kimyasal malzemelere karşı dirençlidirler.

-Nem absorbe etme özellikleri yoktur. Fakat, cam elyaf kompozitlerde matris ile cam elyaf arasında nemin etkisi ile bir çözülme olabilir. Özel elyaf kaplama işlemleri ile bu etki ortadan kaldırılabilir.

- Elektriği iletmezler. Bu özellik sayesinde elektriksel yalıtımın önemli olduğu yerlerde avantaj sağlarlar.

- Cam elyaf imalinde silikaya çeşitli katkı maddeleri eklendiğinde yapı, bu malzemelerin etkisi ile farklı özellikler kazanır [42].

Cam elyaf dört farklı tipleri ve fark ettirici özellikleri:

1. A Camı (Alkali)
2. C Camı (Korozyon)
3. E Camı (Elektrik)
4. S, R Camı (Mukavemet)

Çizelge 3.3' de cam elyaf tiplerine ait bazı özellikler verilmiştir.

Çizelge 3.3 Bazı cam elyaf tiplerinin fiziksel ve mekanik özellikleri [42]

ÖZELLİKLER	CAM TİPİ			
	A	C	E	S
Özgül ağırlık (g/cm ³)	2.50	2.49	2.54	2.48
Elastikiyet Modülü (GPa)	-	69.0	72.4	85.5
Çekme Mukavemeti (MPa)	3033.0	3033.0	3448.0	4585.0
Isıl Genleşme Katsayısı (1/°Cx10 ⁻⁶)	8.6	7.2	5.0	5.6
Yumuşama Sıcaklığı (°C)	727.0	749.0	841.0	970.0
KATKI MADDELERİ (%)				
SiO ₂	72.0	64.4	52.4	64.4
Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃	0.6	4.1	14.4	25.0
CnO	10.0	13.4	17.2	-
MgO	2.5	3.3	4.6	10.3
Na ₂ O, K ₂ O	14.2	9.6	0.8	0.3

b. Bor Elyaf

Çekirdek olarak adlandırılan ince bir flamanın üzerine bor kaplanarak imal edilirler. Çekirdek malzeme Tungstendir. Bor elyafların çapları 0,05 mm-0,2 mm arasında imal edilirken çekirdek 0,01 mm çapında imal edilirler.

Bor elyaflar yüksek çekme mukavemetine ve elastikiyet modülüne sahiptirler. Çekme mukavemetleri 2758 MPa-3447 MPa arasında olup elastikiyet modülü 400 GPa'dır. Bu özelliğinden dolayı uçak yapılarında kullanılırlar. Bunun yanında dezavantaj olarak maliyetlerinin yüksek olması gösterilebilir. Bor elyafların ergime sıcaklıkları 2040 °C civarındadır. Çeşitli bor elyafların mekanik özellikleri Çizelge 3.4' de verilmektedir.

Çizelge 3.4 Çeşitli bor elyafların mekanik özellikleri [42]

Özellik	Bor	Bor+B ₄ C
Yoğunluk (g/cm ³)	2,6	2,6
Çap (mm)	100-150	100-150
Elastikiyet Modülü (GPa)	430	430
Çekme Dayanımı (MPa)	3800	4000
Spesifik Dayanım (kNm/kg)	1460	1540
Spesifik Modül (MNm/kg)	165	165

c. Silisyum Karbür Elyaf

Bor gibi, silisyum karbürün tungsten çekirdek üzerine kaplanması ile elde edilir. 0,1-0,14 mm çaplarında üretilir. Yüksek sıcaklıklarda özellikleri bor elyaftan daha iyidir. Titanyum matrisle kullanılırlar. Jet motoru parçalarında titanyum, alüminyum ve vanadyum alaşımlı matris ile kullanılırlar.

d. Alümina Elyaf

Alümina (Alüminyum Oksit, Al₂O₃) 0,02 mm çapında flama haline getirilir ve silisyum dioksit kaplanarak elde edilirler. Alüminyum elyafların çekme mukavemetinden ziyade basma mukavemetleri yüksektir. Yüksek sıcaklıklara dayanımlarından dolayı uçak motorlarında kullanılmaktadır.

e. Grafit-Karbon Elyaf lar

Karbon elyaf lar g unumuzde yaygın olarak tercih edilmektedir. Karbon elyaf ların üretiminde suni ipekten yararlanılır. Epoksi matrislerle birleştirildiğinde yüksek dayanıklılık ve sertlik özellikleri gösterirler. Uçak sanayiinde, spor gereçlerinde ve tıbbi malzemelerde kullanılmaktadır. Karbon elyaf lar nemden etkilenmezler, sürtünme mukavemetleri yüksektir, yüksek mukavemet ve tokluk gösterirler. Ayrıca yoğunlukları düşüktür. Yaygın olarak epoksi reçinelerle kullanılmalarının yanısıra alüminyum, magnezyum gibi metal matrislerle de kullanılırlar [42].

Grafit elyaf lar yaklaşık 0,008 mm çapında üretilirler ve imalatında poliakrilonitril tercih edilir. PAN bazlı elyaf ların 2400-3100 MPa arasında çekme mukavemeti vardır ve maliyetleri düşüktür.

d. Aramid Elyaf lar

Aromatik Polyamid'in kısaltılmışıdır. Uzun zincirli polimerlerdir. Du Pont firması tarafından geliştirilen Kevlar 29 ve Kevlar 49 adında iki farklı aramid elyaf mevcuttur [42].

Düşük yoğunlukları, yüksek çekme mukavemeti ve düşük maliyeti aramidin avantajlarındandır. Darbe direnci yüksek ve şekil verilebilirliği kolaydır.

Kevlar fiberli kompozitler cam fiberli kompozitlere göre %35 daha hafiftir. Bunun yanında; ultraviyole ışınlar maruz kaldıklarında bozulma göstermeleri ve fiberlerinin çok iyi birleşmemesinden dolayı mikroskobik çatlaklar oluşabilmesi aramidlerin dezavantajlarındandır.

Kullanım alanları: Askeri kasklar, kurşun geçirmez yelekler, koruyucu giysiler, avcılık giysileri, yelkendirgeği, tekne gövdesi, endüstriyel uygulamalarda kullanılan kemer ve hortumlar, fiber optik ve elektromekanik kablolar, sürtünme balataları, fren kampanaları, yüksek ısıya dayanıklı conta ve salmastralar ve benzerleridir.

Kevlar29 ve Kevlar49 her ikisinde çekme mukavemetleri 2344 MPa'dır ve kopma uzamaları %1,8'dir. Kevlar49'un elastisite modülü Kevlar29'un iki katıdır. Kevlar elyafın yoğunluğu cam ve grafit elyafların yoğunluklarından daha düşüktür.

Polimer matrisli kompozitlerde, termosetler ve termoplastikler matris malzeme olarak kullanılırlar. Cam, karbon ve aramidler ise fiber malzemelerdir.

a. Termoset Matrisler

En çok kullanılan matris malzemesidir. Sıvı halde bulunurlar ve ısıtılarak ve kimyasal tepkimelerle sertleşirler. Geri dönüşümsüzdürler ve yüksek sıcaklıklarda dahi yumuşamazlar. Üretiminde kullanılan malzemeler; epoksi, polyester, vinylester ve fenolik reçinelerdir. Yüksek mukavemet gerektirmeyen durumlarda polyester reçineler kullanılırsada gelişmiş kompozitlerin üretiminde genellikle epoksi reçineler kullanılmaktadır. Epoksilerin avantajları şöyle sıralanabilir: Yüksek kopma mukavemeti, elyaf yapılarla yüksek bağ mukavemeti sağlama, yüksek aşınma direnci, uçucu olmamaları, kimyasal dirençlerinin yüksekliği, düşük ve yüksek sıcaklıklarda sertleşebilme özelliklerinin olmasıdır. Dezavantajları da şöyle sıralanabilir: Polyestere göre daha pahalı olması, polyestere oranla yüksek viskoziteye sahip olmaları.

b. Termoplastik Matrisler

Çok değişik termoplastik polimer olmasına rağmen matris malzeme olarak kullanılanı sınırlıdır. Termoplastikler, düşük sıcaklıklarda sert halde bulunurlar, ısıtıldıklarında tekrar yumuşarlar. Termosetlere göre matris olarak kullanımları daha az olmakla birlikte; yüksek kırılma tokluğu, geri dönüşüm kapasitesi, sertleşme işlemi için organik çözücülere ihtiyaç duyulmaması gibi avantajlarından dolayı daha güvenli çalışma ortamı sağlarlar. Termoplastikler, yüksek sertlik ve çarpma dayanımı özelliğine de sahiptirler. Termoplastiklerin hammaddesi termosetlere göre daha pahalıdır.

Otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan termoplastikler uçak sanayiinde de yüksek performanslı malzeme olarakta kullanılmaktadır.

Çoğunlukla üretimlerinde enjeksiyon ve ekstrüzyon kalıplama yöntemleri kullanılır. Plastik matrisli kompozitlerin üretim yöntemleri iki şekildedir:

1. Açık kalıplama yöntemleri
2. Kapalı kalıplama yöntemleri

El yatırma, püskürtme, elyaf sarma, vakum torbası ve otokla yöntemleri açık kalıplama yöntemleridir. Reçine transfer, pultrüzyon, ekstrüzyon, hazır kalıplama, enjeksiyon ve savurma kalıplama yöntemleri de kapalı kalıplama yöntemleridir.

3.4.2. Seramik Matrisli Kompozitler

Seramik malzemeler, yüksek sıcaklığa sahiptirler ve yoğunlukları düşüktür. Yüksek sıcaklıklarda çalışması gereken parçalar seramik matrisli kompozitlerden yapılır. Seramik malzemeler sert ve kırılındırlar, kopma uzamaları çok düşüktür. Toklukları düşüktür ve termal şoklara karşı dirençsizdirler. Bu yüzden elyaf ile takviye edilerek özellikleri istenen şekile getirilir. Bunun yanında elastikiyet modülleri çok yüksektir. Seramik matrisli kompozit malzemelerin 3 tipi vardır:

- a) Sürekli Fiberli Kompozitler
- b) Süreksiz Fiberli Kompozitler
- c) Parçacıklı Kompozitler

Seramik Matrisli Kompozitlerde matris malzemesi olarak; Al_2O_3 , SiC, Si_3N_4 , ve B_4C yaygın olarak kullanılır.

Takviye elemanı olarak genellikle; alüminyum oksit ve silisyum karbür malzemeler kullanılır [44].

3.4.2.1. Sürekli Fiberler

Son derece gelişmiş ileri kompozit malzemelerdir. Korozyon dirençlerinin yüksek olması sebebiyle hem uzay sanayiinde hem de değişik endüstriyel uygulamalarda kullanım alanı bulurlar. Genel olarak, türbin motoru parçaları, sıcak gaz filtreleri, roket motorları için türbin diskleri, ısı değiştirici tüpleri, zırhlar, petrol borularında korozyona maruz kalan parçalarda, seperatörlerde, ısı işlem fırınlarında, dizel motorlarda eksoz valflerinde, motor yalıtımında, fren disklerinde kullanım alanı bulmaktadırlar.

Silisyum Karbür ve Alümina sık olarak kullanılır. Sürekli fiberlerin toklukları diğerlerine göre daha yüksek olduğundan tercih edilirler. Özellikle silisyum karbür (SiC) , üretim tekniklerine uygun ve elde edilmesi daha kolay olduğu için tercih edilir [44].

3.4.2.2. Süreksiz Fiberler

Süreksiz takviye malzemeleri; parçalar, plakalar, whiskers veya dalgalı fiberleri içerir ve genelde polikristalin seramik cam veya cam-seramik matrise ilave edilir. Isı değiştirgeçlerinde, termal koruma sistemlerinde ve korozyona dayanıklı parçalarda kullanılırlar. Kırılma dirençleri yüksektir. Whiskerler, monolitik seramiklerin kırılma direncini artırır. SiC, ZrO₂ ve TiC en çok kullanılan fiberlerdir. Kullanılan matris malzemelerin bazı mekanik özellikleri Çizelge 3.5' de verilmiştir.

Çizelge 3.5 Süreksiz fiberlerle kullanılan matris malzemelerin bazı mekanik özellikleri [44]

Matris	SiC whisker (%)	Eğilme Gerilmesi (MPa)	Kırılma Tokluğu (MPa.m)
Si ₃ N ₄	0	400-650	5-7
	10	400-500	6,5-9,5
	30	350-450	7,5-10
Al ₂ O ₃	0	-----	4,5
	10	400-510	7,1
	20	520-790	7,5-9,0

3.4.2.3. Parçacıklar

Burada takviye malzemeleri parçacık halinde matris malzemesine eklenir. En önemli özelliği; sıcak izostatik presleme gibi basit üretim teknikleri kullanılarak üretilirler. Seramik Matrisli Kompozitlerin üretim teknikleri şöylece sıralanabilir:

- Ergitilmiş matrisin sızdırılması ve sıcak preslenmesi.
- Kimyasal buhar kaplama ve sızdırma.
- Kimyasal reaksiyonla bağlama.
- Toz metalürjisi.

3.4.3. Metal Matrisli Kompozitler

MMK malzemeler, istenen ve gerekli özellikleri sağlamak üzere en az biri metal olan iki veya daha fazla farklı malzemenin sistematik bileşimiyle elde edilen yeni malzemelerdir [45].

Metal matrisli kompozit malzemeler tek bileşenli alaşımlarla elde edilemeyen özellikleri sağlamak üzere, bir metal matris içinde sürekli veya kısa fiber, whisker veya parçacık şeklinde takviye fazı içerir.

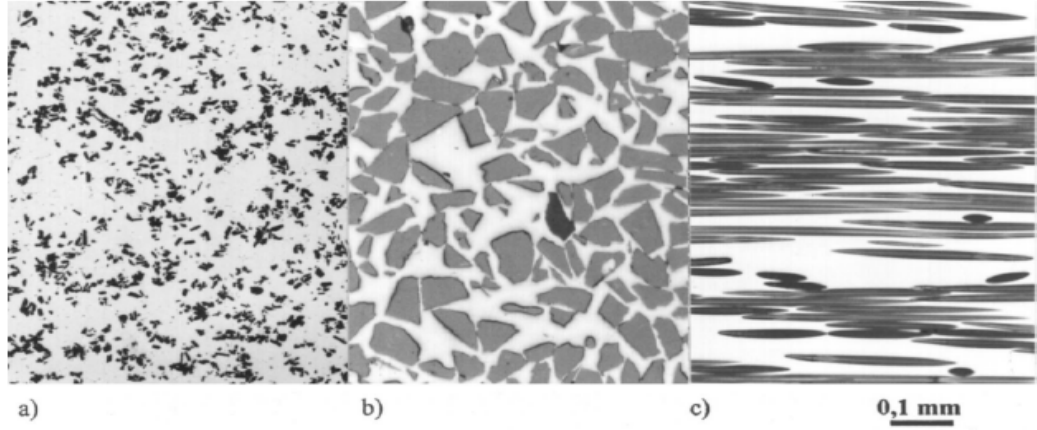
Metal matrisli kompozit malzemeler üç grupta incelenebilir:

- a. Bağlayıcı matris içerisine parçacık şeklinde takviye malzemesinin eklenmesiyle oluşan takviye MMK' ler. Böylece Elastikiyet modülü ve mukavemet artmış olur.
- b. Parçacık takviyeli metal matrisli kompozitlere göre daha büyük yük iletimi yeteneğine sahip, yüksek dayanımlı Whisker veya kısa fiber takviye MMK' ler.
- c. Fiberin yüksek performanslı tüm özelliklerini taşıyan sürekli fiber esaslı MMK' ler.

Belirtilen kompozit sistemlerinin her birinin de ayrı ayrı üstünlükleri ve zayıflıkları söz konusudur. Örneğin, parçacık takviyeli metal matrisli kompozitler düşük maliyetlerinin yanı sıra, rijitlikte dikkate değer gelişme ve hemen hemen izotropik özellikler gösterir. Ancak mukavemetteki gelişme sınırlıdır. Ayrıca kopmadaki şekil değişiminin ve kırılma tokluğunun düşük olması bu kompozitlerin zayıf yönüdür. Whisker veya kısa fiber katkılı metal matrisli kompozitler, parçacık esaslılara oranla daha pahalı, fakat daha mukavemettir. Sürekli fiber katkılı metal matrisli kompozitler elastiklik modülü ve mukavemetin en iyi kombinasyonunu vermelerine karşın bu kompozitlerin özellikleri anizotropiktir ve asıl zayıflıkları, kullanılan fiberlerin ve kompozit üretim maliyetlerinin oldukça yüksek olmasından kaynaklanmaktadır [45].

Takviye elemanının; cinsi, şekli, boyutu, dağılımı, yüzey özellikleri, kimyasal kompozisyonu, dağılım miktarı ve homojenliği gibi özgün ve yapısal özellikleri çok önemlidir. Matris, takviye fazını bir arada tutmaya yarayan bağlayıcı gibi davranır ve asıl işlevi katkı fazına yükü iletmektir [45].

Aşağıda Şekil 3.3' de farklı imal usulleri ile dökülmüş aynı büyütme oranlarına sahip metal matrisli kompozit örneğinin takviye malzemesinin geometrisine göre şekillenmesi görülmektedir.



Şekil 3.3. Aynı büyütme oranlarına sahip farklı kategorideki metal matris kompozitlerin optik mikrografisi. a) karıştırmalı döküm yöntemiyle üretilmiş alüminyum alaşımında %10 hacim oranlı düzensiz şekilli alümina parçacıkları. b) %50 hacim oranlı alüminyum alaşımında ön-şekilli infiltrasyonlu silisyum karbür, SiC. c) Saf alüminyumun infiltrasyonu ile elde edilmiş %55 hacim oranlı tekyönlü sürekli alümina fiberler. [46]

Sürekli fiberler, metal matrisli kompozitlere yüksek elastikiyet modülü ve dayanım kazandırır fakat anizotropik özellik gösterirler. İlk olarak bor fiberle güçlendirilmiş alüminyum alaşımları metal matrisli kompozit olarak kullanılmıştır. Kompozit malzemenin yapısal güçlenmesine örnek olarak, bor katılmış bir alüminyum alaşımında (hacimce %50) çekme dayanımı 310 MPa'dan 1417 MPa'a yükselmiştir. Elastikiyet modülü ise 69 GPa'dan 231 GPa'a artmıştır [45].

Parçacık takviyeli metal matrisli kompozitler izotropik özellik gösterirler. Örneğin, alüminyuma yaklaşık 3 ila 20 μm çapında düzensiz şekilli alümina ve silisyum karbür parçacıkları katılarak elde edilen alüminyum MMK malzeme gösterilebilir. Bazı metal matrisli kompozit malzemelerin mekanik özellikleri Çizelge 3.6' da özetlenmiştir.

Çizelge 3.6 Bazı metal matrisli kompozitlerin mekanik özellikleri [45]

MMK Malzeme	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastikiyet Modülü (GPa)	Kopmadaki uzama miktarı (%)
Sürekli Fiberli (fiber yönünde özellikleri):			
Al 2024-T6 (%45 Bor)	1458	220	0,810
Al 6061-T6 (%51 Bor)	1417	231	0,735
Al 6061-T6 (%47 SiC)	1462	204	0,89
Süreksiz Fiberli:			
Al 2124-T6 (%20 SiC)	650	127	2,4
Al 6061-T6 (%20 SiC)	480	115	5
Parçacık Takviyeli:			
Al 2124-F (%20 SiC)	552	103	7,0
Al 6061-F (%20 SiC)	496	103	5,5
Takviye edilmemiş:			
Al 2124-F	455	71	9
Al 6061-F	310	68,9	12

Genel olarak bakıldığında metal matrisli kompozitlerin, metallere göre üstün olan özellikleri şunlardır:

-Yüksek mukavemet/ yoğunluk oranı (spesifik mukavemet)

-Yüksek elastisite modülü / yoğunluk oranı (spesifik modül)

-Daha iyi yorulma direnci

-Yüksek sıcaklıklarda mukavemetini koruyabilme ve düşük sürünme oranı gibi daha iyi yüksek sıcaklık özellikleri

-Düşük termal genişleme katsayısı

-Daha iyi aşınma direnci

Bununla beraber metallere göre dezavantaj gibi görünen yanları şunlardır:

-Sürekli fiber takviyesinin söz konusu olduğu durumlarda zor ve karmaşık üretim prosesleri

-Metallere göre sünekliğin belli oranda azalması. Üretim maliyetlerinin fazlalığı

-Yeni teknolojiler olması dolayısıyla ortaya çıkan imalat problemleri

3.4.3.1. Metal Matrisli Kompozit Malzemelerde Kullanılan Matris Malzemeleri

Metal matrisli kompozitler için matris malzemesi olarak genellikle hafif metaller tercih edilmektedir.

Matris malzemesi olarak MMK malzemelerde, alüminyum ve alaşımları ilk sırayı almaktadırlar. Bu alaşımların tercih edilmesinin nedeni düşük yoğunluk, düşük ergime sıcaklığına sahip olmaları ve birçok seramik takviye elemanını kolay ıslatabilmeleridir [45].

Yüksek aşınma dayanımı ve düşük sürtünme değerleri için Al-Si alaşımları, düşük yoğunluk ve yüksek termal iletkenlik için Al-Mg ve Al-Cu alaşımları matris alaşımı olarak kullanılabilirler.

Yüksek performanslı kompozit malzeme üretimi için matris malzemesi, takviye fiberleri veya parçacıkları iyi ıslatabilmeli, iyi bir arayüzey bağı oluşturmalı,

mümkün olan en düşük basınç ve sıcaklıkta hızlı şekilde katılaşma yapabilmelidir [45].

Ayrıca üretim esnasında veya bundan sonraki işlemler esnasında, matris ve takviye elemanı arasında diğer kimyasal etkileşimler olmamalı ve matris kararlı kalmalıdır.

Metal matrisli kompozit malzemelerde, matris malzemesi olarak genellikle Al, Ti, Mg, Ni, Cu, Co ve Zn gibi metaller ve alaşımları kullanılır. Fakat bunlardan sadece Al, Ti ve Mg alaşımları yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu matris malzemelerini sırayla inceleyim:

a. Alüminyum ve alaşımları

Metal matrisli kompozitlerde en çok kullanılan malzemelerin başında gerek saf olarak gerekse alaşımlarıyla alüminyum gelmektedir. Saf alüminyumun istenmeyen etkileri olduğundan genellikle alaşımlarıyla tercih edilir. Alüminyum alaşımlarının üstün tarafları: Spesifik dayanımlarının yüksek, spesifik elektriksel iletkenliklerinin yüksek, korozyon dirençlerinin iyi olması, plastik deformasyon kabiliyetlerinin iyi olmasından kaynaklanmaktadır. Saf alüminyumun bazı fiziksel özellikleri Çizelge 3.7’ de verilmiştir.

Çizelge 3.7 Saf alüminyumun bazı fiziksel özellikleri [45]

Özgül ağırlığı (g/cm ³)	2,78
Ergime sıcaklığı (°C)	660
Ergime ısısı (kJ/kg)	-390
Elastikiyet modülü (GPa)	66
Isıl genleşme katsayısı (1/K)	24.10 ⁻⁶
Isı iletim katsayısı (W/mK)	230
Elektrik iletim katsayısı	40

b. Magnezyum ve alaşımları

Magnezyumun yoęunluęu $1,74 \text{ g/cm}^3$ gibi dűřük bir deęer olduęundan endűstriyel uygulamalarda yaygın kullanımına raębet olacaęı gűrűlmektedir. Alařımlandırıldıęında mekanik űzelliklerinde iyileřmeler gűrűlűr. űzgűl dayanımı yűksek, iyi dűkűlebilir űzellięine sahip ve yűksek sűnűleme kapasitesine sahiptirler. Oksijene karřı ilgisi fazladır, elastikiyet modűlű dűřűk ve yorulma direnci dűřűktűr. Magnezyuma katılan alařım elementlerinden tercih edilenleri çinko ve alűminyumdur.

c. Titanyum ve alaşımları

Metal matrisli kompozitlerde çok kullanılan bir malzemedir. Titanyumun korozyona karřı direnci çok yűksektir. Titanyum, alűminyumdan daha rijit ve dayanıklıdır. Mukavemet / űzgűl aęırlık oranı çok iyi olduęundan uçak ve uzay endűstrisinde tercih edilir.

Titanyumun ısıl genleşme katsayısı oldukça dűřűktűr. Yűksek sıcaklık uygulamalarında oldukça iyi performans gűsterir. Matris olarak kullanıldığında takviye elemanı ile iyi bir ısılatma sağlar. Metal matrisli kompozit malzemelerde en yaygın kullanılan titanyum alaşımı matris malzemeleri; Ti-6Al-4V, Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al ve Ti-17Mo alaşımlarıdır. Titanyumun matris olarak kullanıldığı kompozitlerde en yaygın kullanılan takviye elemanları ise TiC ve SiC 'dir.

d. Bakır ve alaşımları

Bakır ve alaşımları elektronik sistemlerde kullanılmaktadır. Bu duruma bakırın elektrik iletkenliğinin iyi olması etkilidir. Bakır matris içerisine grafit parçacıklar ilave edilerek, dűřűk ısıl genleşme katsayısına sahip, iyi iletken malzemeler elde edilir.

Metal matrisli kompozit malzemelerde kullanılan takviye malzemeleri ise; en önemlileri silisyum karbür (SiC), Alüminyum oksit (Alümina= Al_2O_3), Titanyum karbür (TiC), Bor ve Karbon olmasına rağmen en yaygın kullanılanları bu kategoride Alümina ve SiC'dir [46]. Metal matrisli kompozit üretilirken bu takviye elemanlarının özelliklerinin tayini çok önemlidir. Yapısal özellikleri, kimyasal ve fiziksel özellikleri ve takviye elemanının matris malzeme tarafından ıslatılabilmesi gibi özellikler iyi bilinmelidir. Genel olarak bir takviye elemanından beklenen özellikler şunlardır:

- Yüksek modul ve dayanım
- Düşük yoğunluk
- Matris malzeme ile kimyasal uyumluluk
- Üretim kolaylığı
- Yüksek sıcaklıklarda dayanımını koruması
- Üretiminin ekonomik olması

Bunlar parçacık takviyeli olarak kullanılırlar. Sebebi; sürekli veya kısa fiberlilere göre daha ucuzdurlar. Ayrıca toz metalürjisi ve döküm gibi üretim tekniklerine ve haddeleme, dövme, ekstrüzyon gibi işlemlere uygunluk gösterirler. Yine parçacık takviyeli olanlar izotropik özellik gösterirler. Rijitlikleri ve aşınma dayanımları iyidir. Fakat, uygulamada mukavemetin istendiği durumlarda kısa fiberler veya whisker katkılı kompozit malzemeler kullanılır [45].

3.4.3.2. Metal Matrisli Kompozitlerde Kullanılan Takviye Malzemeleri

a. Alümina (Al_2O_3)

Metal matrisli kompozitlerde ana hedef; düşük yoğunluklu ve yüksek dayanımlı malzemeler elde etmektir. Bu yüzden Alüminanın sahip olduğu yüksek sıcaklık dayanımı, yüksek modul ve rijitlik, onun takviye elemanı olarak kullanılmasında etkindir. Alümina en çok alüminyum ve alaşımlarının matris olarak kullanıldığı

malzemelerde kullanılır. Alümina silisyum karbür ile karşılaştırıldığında daha düşük modul ve dayanıma, daha yüksek yoğunluğa ve daha az maliyete sahiptir [45].

b. Silisyum Karbür (SiC)

Metal matrisli kompozit malzemelerde kullanılan diğer bir seramik takviye elemanı SiC'dür. SiC malzemede kovalent bağlar mevcuttur. Bu özellik, SiC fibere yüksek elastiklik modülü değeri vermektedir. SiC fiberler genel olarak CVD (Kimyasal Buhar Çökeltme) yöntemi ile karbon veya tungsten altlık üzerine, kaplama yolu ile üretilirler. Yaklaşık 1400 °C civarında maksimum kullanım sıcaklığına sahiptirler. SiC'ün en önemli avantajı, maruz kaldığı yüksek sıcaklık şartları altında özelliklerini muhafaza edebilmesidir.

Bu takviye malzemesinin oksidasyon direnci, yüksek sıcaklıkta rijitlik ve mukavemet özelliklerini koruması ve ergimiş alüminyum içindeki etkisi bakımından bor fiberlerden daha iyidir. Diğer bir üstünlüğü de bor fiberden daha ekonomik olmasıdır.

Ayrıca SiC fiberlerin ısıl genleşme katsayısı da alümina ile kıyaslandığında daha düşüktür. SiC'ün parçacık ve whisker türleri de üretilmektedir. Parçacık ve whisker tipinde SiC takviyeleri ile üretilen metal matrisli kompozit malzemelere, ekstrüzyon, haddeleme gibi plastik şekil verme işlemleri yapılabilmesi de önemli bir avantaj teşkil eder [45].

c. Bor (B)

Bor fiber, borun genelde kimyasal buhar çökeltme (CVD) yöntemi ile karbon veya tungsten altlık (çekirdek) üzerine kaplanması ile üretilir. Bor fiberler çok yüksek elastiklik modülü değerine sahiptir, fakat oldukça pahalıdırlar. Avantajlarına rağmen metal matrisli kompozit üretimi sırasında bor fiberin, Al ve Ti gibi metallerle hızla reaksiyona girmesi, tungsten tel ile bor kaplama sırasında reaksiyon oluşması,

difüzyonla tungsten boridik'e dönüşmesi ve dolayısıyla bor'un dış yüzeyine yakın yerde eksenine dik şekilde basma gerilmesi oluşturur ve bu da bor fiberi kırılğan yapar. Bunu önlemek için borun üzerine CVD metoduyla SiC veya B₄C kaplanır ve kaplama kalınlığı 25-45 µm kadardır [45].

d. Karbon (C)

Karbon fiberlerin yoğunluğu düşük, çekme dayanımı ve elastikiyet modülü yüksektir. Bu da spesifik dayanım ve spesifik modul değerlerinin çok yüksek olması anlamına gelir. Yüksek sıcaklıklara dayanabilen karbon fiberlerin özellikleri, üretimindeki son işlemin sıcaklığına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Karbon fiberlerde ham madde olarak poliakrilonitril (PAN), Selüloz (Rayon) ve Zift (Pitch) kullanılır. Isıl genişleme katsayısı oldukça düşük olan karbon fiberler, yaklaşık 1500 °C 'ye kadar mekanik özelliklerini korurlar. Karbon fiberler azot atmosferinde kararlı olmasına rağmen 450 °C üzerinde havada artan oranda oksitlenirler. SiC ve B₄C kaplamalar karbon fiberlerin oksidasyona karşı direncini artırır [45].

e. Titanyum Karbür (TiC)

Yüksek sıcaklık uygulamalarında, yüksek modül, yüksek mukavemet ve iyi sürünme dayanımı gibi özelliklerini koruyan TiC'ün, diğer takviye malzemelerine göre en büyük dezavantajı yoğunluğunun fazla olmasıdır ($\rho = 4.93 \text{ g/cm}^3$). Bu özelliği, TiC takviye malzemesinin yaygın kullanımını engellemiştir. Titanyum ve nikel bazlı alaşımlarda, TiC parçacık takviyesi yapılması ile kullanım sıcaklığı 1100 °C'nin üzerine kadar çıkarılmıştır [45].

f. Magnezyum Oksit (MgO)

Metal alaşımları içinde hafif olmasından dolayı kompozitlerde tercih edilir. Magnezyumun yoğunluğu $\rho = 1,74 \text{ g/cm}^3$ olmasından dolayı diğer metallere göre çok

hafiftir. Mekanik özellikleri iyidir. Yüksek özgül dayanım, iyi dökülebilirlik ve yüksek sönümlenme kapasitesine sahiptir. Ergime sıcaklığı düşüktür (650 °C). Bunun yanında elastikiyet modülü ve yorulma direnci düşüktür. Magnezyum alaşımlarının sertleşebilen ve sertleşmeyen türleri vardır [45].

3.4.3.3.Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

Metal matrisli kompozit malzemelerin geleneksel malzemelere göre üstün mekanik özellikler göstermesi üretim tekniklerinin gelişmesine yol açmıştır. Yine de üretim maliyetleri oldukça yüksektir. Üretim tekniğinde; üretilecek parçanın şekli, istenen mekanik ve fiziksel özellikler, takviye elemanının şekli ve türü önem arz etmektedir. Bilinen ve uygulanan tekniklerin herbirisinin kendine göre üstün ve farklı tarafları olması doğaldır.

Üretim yönteminin seçiminde, üretilecek mamul veya yarı mamulün önceden belirlenen fiziksel ve mekanik özellikleri değerlendirilip, aşağıdaki parametrelere göre yöntem belirlenir:

- Çalışma sıcaklığı aralığı
- Takviye malzemesinin şekli
- Matris malzemesi ile takviye malzemesinin uyumu
- Matris malzemesi ile takviye malzemesi arasında oluşabilecek reaksiyonlar
- Elde edilecek üründen istenen boyut tamlığı
- Takviye malzemesinin matris malzeme içinde homojenliği
- Matris-takviye arayüzey bağının tam olarak sağlanabilmesi

Bu kriterlere göre üretim yöntemleri şöylece sınıflandırılabilir:

- a. Toz Metalürjisi
- b. Difüzyon Bağı Yöntemi

- c. Sıvı Metal İfiltrasyon
- d. Sıkıştırma Döküm
- e. Karıştırmalı Döküm
- f. Plazma Püskürtme
- g. Rheocasting ve Compocasting Döküm Teknikleri
- h. Vidalı Ekstrüzyon
- i. In-Situ Tekniği
- j. XD Tekniği

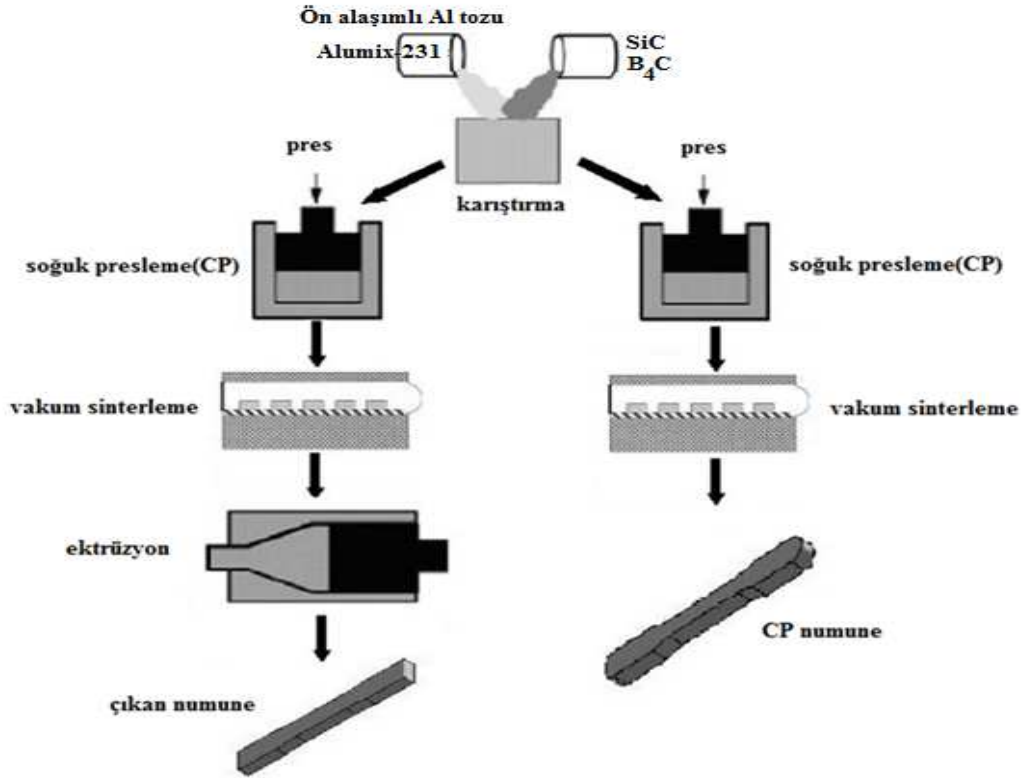
Bu tekniklerden a ve b katı faz üretim yöntemlerine girmektedir. Diğer c, d, e ve f yöntemleri ise sıvı faz üretim yöntemleridir. Bu tekniklerin detayları sırasıyla aşağıda açıklanmıştır.

3.4.3.3.1. Toz Metalürjisi Tekniği

Metal matrisli kompozitlerin üretiminde kullanılan yaygın yöntemlerdendir. Seramik parçacıkların sıvı metal tarafından ıslatılmasındaki zorluklar sebebiyle toz metalürjisi ile kompozit eldesi ilk geliştirilen yöntemlerdendir. Bu teknikte genel olarak parçacık veya whisker formunda takviye elemanları ile toz haldeki metal kullanılarak, metal matrisli kompozit elde edilir.

İşlemden önce matris ve takviye elemanlarının tozları öncelikle karıştırılır ve istenen şekli verebilecek bir kalıbın içine boşaltılır. Daha sonra bu toz karışımını sıkıştırmak için basınç uygulanır. Ardından toz parçacıkları arasındaki birleşmeyi kolaylaştırmak amacıyla sıkıştırılmış toz karışımı yeterli miktarda katı hal difüzyonu

oluşturacak şekilde ergime noktasının altında bir sıcaklıkta sinterlenir. Bu işlemde tozlar karıştırıldıktan sonra, toz sıkıştırma ve sinterleme işlemi aynı anda yapılır. Daha sonra üretilen parça ekstrüzyon, haddeleme ve dövme gibi ikincil işlemlerle kullanılır hale getirilir. İşlemin aşamalarını gösteren şema Şekil 3.4' de verilmiştir.



Şekil 3.4 Toz metalürjisi ile elde edilen kompozit parçanın üretim aşamaları [48]

Bu yöntemin tercih edilmesinin sebepleri şu şekilde sıralanabilir:

-Toz metalürjisi ile üretilen metal matrisli kompozit malzemeler üretimi daha düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilmektedir. Böylece mekanik özelliklerin azalmasına sebep olan istenmeyen arayüzey reaksiyonları en aza indirgenmiş olmaktadır.

-Takviye elemanının matris içinde homojen dağılımının sağlanabilmesi ancak bu yöntemle olabilmektedir.

-Parçacık veya whisker takviyeli kompozit üretimi bu yöntemle daha kolay olmaktadır. Böylece homojen yoğunluklu parça elde edilebilmektedir.

-Yüksek takviye/hacim oranının elde edilmesi mümkündür. Bundan dolayı, yüksek modüllü, düşük ısı genleşme katsayılı kompozitler üretilmektedir.

Toz metalürjisinin bu üstünlükleri yanında aşağıdaki sınırlılıklar da vardır:

-Büyük parçaların imalatında çok büyük basınçlar gerektiğinden maliyet artar. Sıcak preslemenin ardından ikinci işlemlere gereksinim vardır.

-Toz karıştırma esnasında kısa fiberler kullanılıyorsa bunların kırılma olasılıkları vardır.

-Toz kullanım esnasında yabancı parçacıkların malzeme içine nüfuz etmesi kompozit parçanın mekanik özelliklerini değiştirir.

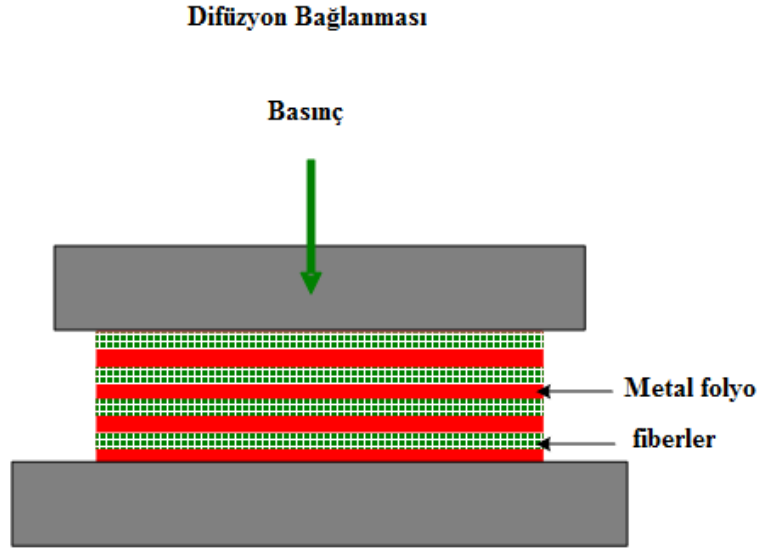
3.4.3.3.2. Difüzyon Bağı Yöntemi

Bu yöntem vakumda presleme yöntemi olarak da isimlendirilmektedir. Difüzyon bağı yönteminde, takviye elemanları metal folyolar üzerine istenilen açıda ve miktarda yerleştirilebilmekte ve bu işlemler tamamlandıktan sonra ergime sıcaklığına yakın bir sıcaklık altında basılarak veya haddelenerek matris ile takviye arasında bir bağ oluşturulmak suretiyle kompozit malzeme üretilmektedir. Bu işlemde difüzyon bağı oluşumu için matris malzemesi ve takviye yüzeylerinin çok temiz ve oksitsiz olması gerektiğinden kimyasal olarak temizleme işlemleri yapılmaktadır.

Vakum altında yapılan haddelenerek difüzyon bağı oluşturma işlemi, gaz altında veya atmosfer basıncında yapılan işlemlerden daha verimli ve başarılıdır. Ancak yöntem oldukça pahalı bir yöntem olup sınırlı malzeme formu ve çeşidi ile gerçekleştirilmektedir. Difüzyon bağı yönteminde matris malzemesi olarak Al ve Ti

alaşımları, takviye malzemesi olarak da SiC, Al₂O₃, B ile C gibi tek fiber veya fiber demetleri kullanılmaktadır.

Difüzyon bağı işleminin şeması Şekil 3.5' de verilmiştir.



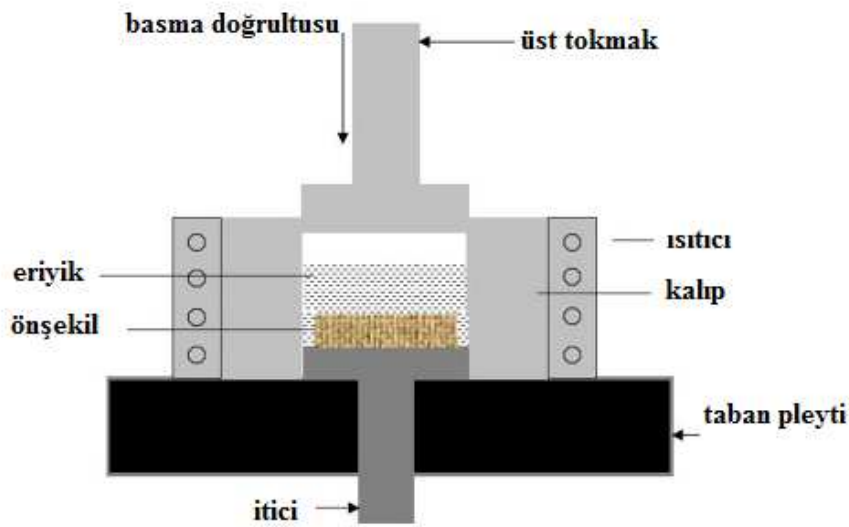
Şekil 3.5 Difüzyon bağı yönteminin şematik açıklaması [49]

3.4.3.3.3. Sıvı Metal İnfiltrasyon Yöntemi

Metal matrisli kompozitlerin üretim metotları arasında yaygın olarak kullanılan bir metottur. Bu işlemden ana prensip; bir kap veya tüp içerisine yerleştirilmiş fiberler arasına sıvı halindeki metal matrisin emdirilmesidir. İlk işlem olarak istenilen profilde ön şekillendirme yapılmakta, fiberlerin yönlendirilmesi ve hacimsel oranı bu aşamada ayarlanmaktadır. Ön şekiller kalıba bir bağlayıcı ile tutturulduktan sonra kalıp içerisine ergimiş metal emdirilmekte ve katılaşmaya bırakılmaktadır. Ergimiş metalin emdirilmesi fiber hacim oranının yüksek olduğu durumlarda biraz daha zordur. Fiberler arası mesafenin az olduğu bu gibi durumlarda ergimiş metal ya basınç altında veya vakumla emdirilmektedir. Böylece matrisin, fiberler arasına girmesiyle açığa çıkacak atıl gazlarda yapı içerisinde sıkışmayarak dışarı atılmaktadır.

Hızlı ve yüksek üretim kapasitesine sahip olması ve son ürün şekline yakın üretim imkanı sağlaması gibi avantajları sebebiyle bu teknik, metal matrisli kompozit malzeme üretiminde önemli bir yer edinmiştir.

Sıvı metal infiltrasyon işlemi; atmosfer basıncında, yüksek basınç altında, koruyucu gaz atmosferi altında ya da vakum şartlarında yapılabilir. İşlemlerin vakum altında yapılması fiberlerin yüzey aktivitesini arttırdığından dolayı ergimiş metalin ıslatma kabiliyeti artmakta ve kompozitin kalitesini olumlu yönde artırmaktadır. İnfiltrasyon yönteminin şeması Şekil 3.6' da verilmiştir.

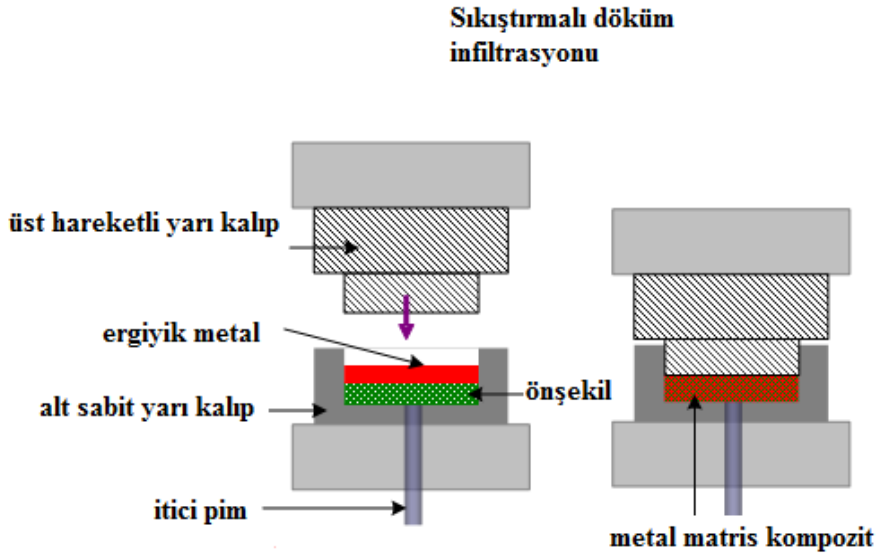


Şekil 3.6 İnfiltrasyon işlemine ait şematik şekil [50]

3.4.3.3.4. Sıkıştırma Döküm Yöntemi

Sıkıştırma döküm yöntemi; metal bir kalıp içerisine yerleştirilen, ön ısıtma yapılmış, seramik fiber veya başka bir takviye malzemesinden oluşmuş ön şekle, kuvvet yardımıyla ergiyik metalin emdirilmesi ve böylece sıkıştırılan ergiyik metale yüksek basınç uygulanarak katılaştırılması işlemidir. Bu yöntemle takviyeli ve takviyesiz, yüksek hassasiyetli mühendislik parçaları üretilebilmektedir. Bu teknikte; ergiyik metal, fiber demetlerinden oluşan ön şekil içerisine kuvvet yardımıyla emdirilir, bu arada absorbe olmuş ve sıkışmış gazlar da atılır. Ayrıca whisker veya parçacıklar ergiyik metalle, sıkıştırma döküm öncesinde karıştırılabilir. SiC, Alümina ve Si₃N₄

whiskerleri içeren Al alaşımı matrisli kompozit malzemeler bu şekilde üretilirler. Kalıp ön ısıtma sıcaklığı ve uygulanan basınç, üretilen kompozitin kalitesini etkiler. Bunun yanında sıkıştırma hızı ve takviyeler arası boşlukda işlemi etkileyen diğer faktörlerdendir. Otomotiv, havacılık ve spor alanlarındaki karmaşık şekilli parçaların üretimi bu yolla mümkündür. Bu yöntemle ait şematik şekil Şekil 3.7' dir.

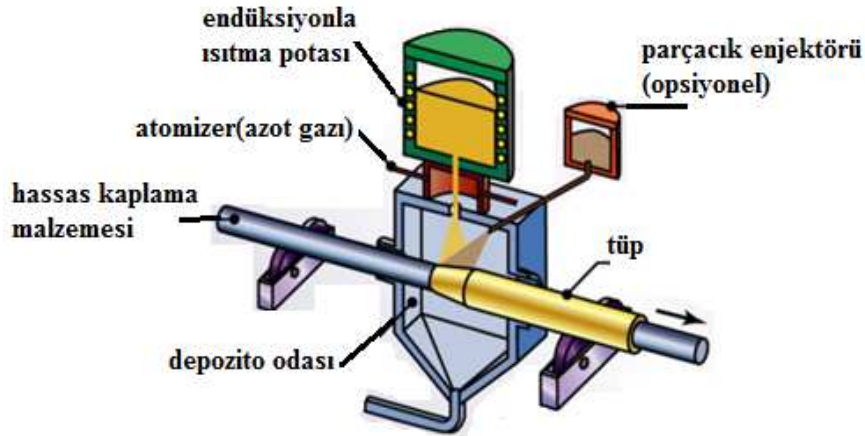


Şekil 3.7 Sıkıştırmalı Döküm (Squeeze Casting) Yönteminin şematik anlatımı [49]

3.4.3.3.5. Plazma Püskürtme Yöntemi

Özellikle parçacık takviyeli MMK malzemelerin üretiminde kabul görmüş bir yöntemdir. Plazma püskürtme, atomize edilmiş ergimiş metal parçacıklarının takviye elemanları üzerine istenilen kalınlıkta püskürtülmesi işlemidir. Püskürtülen ergiyik metal parçacıkları, takviye elemanlarına yapışmakta ve hızla katılaşmaya başlamaktadır. Bu tip üretim yöntemi alüminyum gibi ergime sıcaklığı düşük olan metallerde uygulanır. Bu üretim metoduyla matris malzemesi takviye elemanı üzerine istenilen kalınlığı verecek şekilde püskürtülerek karmaşık şekilli parçalar üretilir. Bu yöntem takviyeler arası mesafenin kontrolü ve takviyelerin daha rahat yönlendirilebilmesi gibi avantajlara sahiptir. Üretim esnasında ergimiş metal zerrecikleri takviye elemanına temas eder etmez katılaştiğundan sıvı halde üretim tekniğinin dezavantajlarından olan takviye-matris arasında oluşan ara yüzey reaksiyon problemleri en aza indirgenir. Bu yöntemle en çok alüminyum-bor

kompozitleri üretilmektedir. Bunun yanında Al-SiC parçacık takviyeli kompozitlerde üretilmektedir. Koruyucu gaz jeti ile birlikte ergimiş veya toz halindeki matris malzemesine yine toz haldeki takviye malzemesinin katılıp beraberce bir katman üzerine püskürtülmesi yöntemi "Osprey Yöntemi" olarak adlandırılmıştır. Katman kalınlığı ve işlem süresi kontrol edilebilen yöntemle düşük porozite değerleri elde edilebilmekte ve bu yöntem özellikle SiC parçacık takviyeli kompozit üretiminde sıklıkla tercih edilmektedir. Yönteme ait şematik şekil Şekil 3.8' de verilmiştir.



Şekil 3.8 Plazma Püskürtme Yöntemine ait şematik şekil [51]

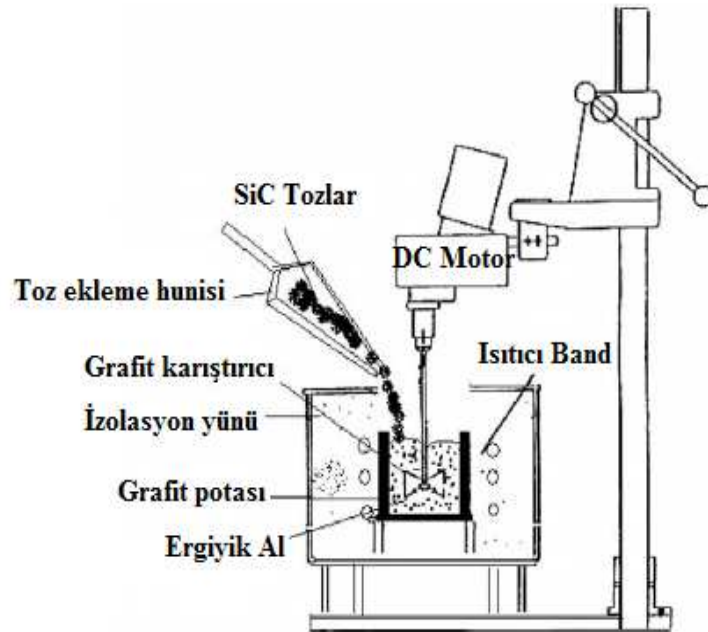
3.4.3.3.6. Karıştırmalı Döküm Yöntemi

Sıvı metal karıştırma tekniklerinde, ön ısıtma yapılmış veya ön işlemlerden seçerek hazırlanmış takviye malzemeleri, sürekli karıştırılan ergimiş metal içerisine değişik yöntemlerle katılmakta ve daha sonra döküm işlemi yapılmaktadır. Takviye malzemesini sıvı metal içine karıştırmak için geliştirilen yöntemlerden bazıları aşağıdaki gibidir:

- Bir enjeksiyon tabancası kullanarak takviyenin ergimiş metal içerisine enjeksiyonu
- Ergimiş metal kalıba dökülürken takviye ilavesi

- Mekanik bir karıştırıcı ile ergimiş metal içerisinde vorteks oluşturma ve takviyenin vorteks içine verilerek karışımın sağlanması
- Karşılıklı hareket eden çubuklar kullanılarak parçacıkların sıvı metal içine atılması
- Merkezkaç etki ile ince parçaların sıvı metal içersine dağıtılması
- Ultrasonik etki ile sıvı titreştirilirken takviyenin ilavesi
- Çok yüksek vakum altında uzun süre de sıfır yerçekimi etkisi ile karışım sağlanması

Karıştırma işleminin atmosfere açık olarak yapılması ergimiş metalin atmosferden gaz alması problemini oluşturduğundan dolayı işlemin koruyucu gaz veya vakum altında yapılması önerilmektedir. Yöntem kolay ve ucuz bir yöntem olmasına rağmen literatürde, çökeltme, topaklanma, segregasyon oluşumu, istenmeyen ara yüzey reaksiyonlarının oluşumu, takviye malzemesinin karıştırma esnasında hasar görmesi gibi sorunların oluştuğu da belirtilmektedir. Yönteme ait açıklayıcı şema Şekil 3.9' verilmiştir.

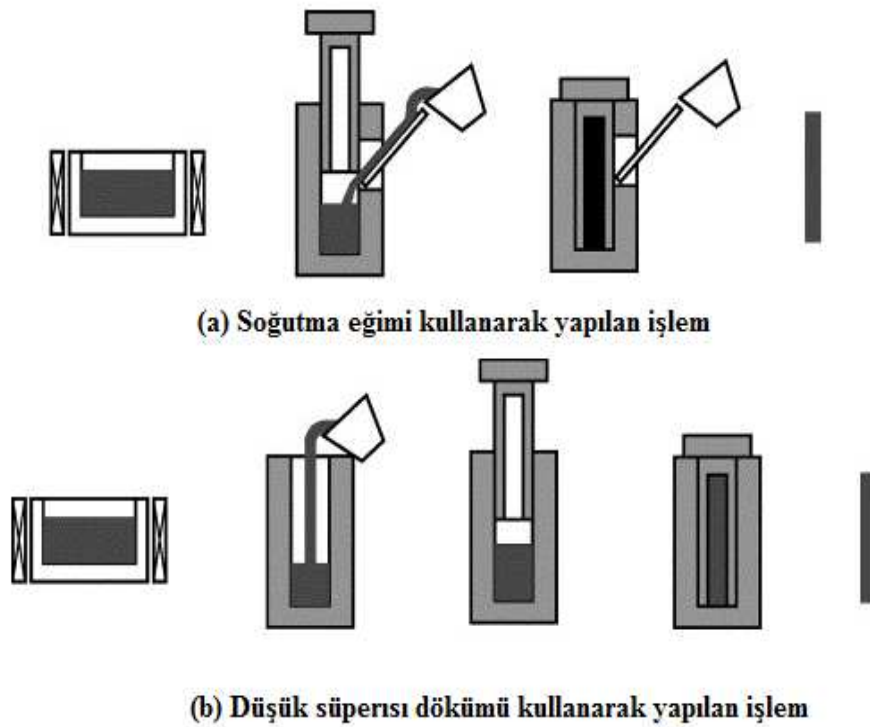


Şekil 3.9 Karıştırmalı döküm yöntemiyle kompozit ürünün eldesi şematik şekli [52]

3.4.3.3.7. Rheocasting ve Compocasting Döküm Yöntemi

Kısa fiber veya parçacık takviyeli kompozit elde etmek için uygulanan yöntemlerdendir. Matris malzemesi karıştırma ünitesi bir ergitme fırınının içine yerleştirilip ergime sıcaklığının 40-50°C üzerinde ısıtılmakta, sıcaklık homojenize edilmekte ve sıvı metal sıcaklığı kontrollü olarak düşürülmektedir. Alaşım %40-50 katı hale geldiğinde matris malzemesinin içine takviye malzemesi eklenmeye başlanır. Takviye ilave edilirken sıcaklık artırılır böylece takviye matrisi ıslatıncaya kadar sıcaklık artırılır.

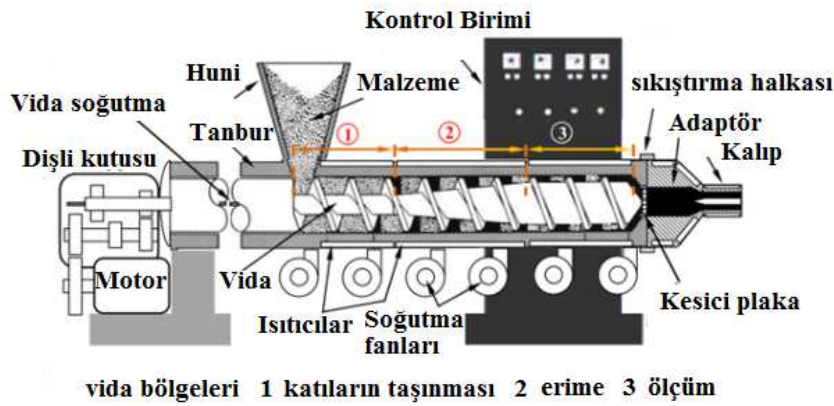
Düşük viskositeye sahip karışım doğrudan basit kütük şeklinde dökülebilir ki buna "Rheocasting" adı verilir. Eğer karışım ergime sıcaklığı üzerinde karıştırılarak döküm gerçekleştiriliyorsa buna "Compocasting" adı verilir. İşleme ait şematik şekil Şekil 3.10'da verilmiştir.



Şekil 3.10 Basit Rheocasting tekniğinin uygulanan 2 tipinin şematik açıklaması [53].

3.4.3.3.8. Vidalı Ekstrüzyon

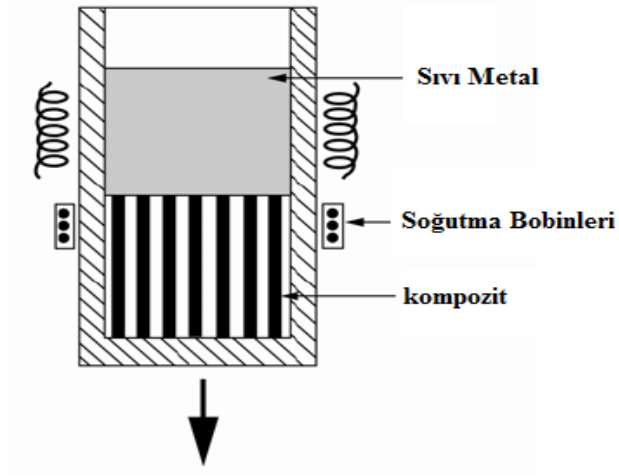
Polimer ürünlerin işlemleri için geliştirilen ve kullanılan vidalı ekstrüzyon yöntemi Dow laboratuvarları tarafından Mg alaşımı esaslı kompozit malzeme üretimi için kullanılmıştır. Yöntemde matris malzemesini oluşturacak olan Mg, küçük parçacıklar halinde takviye parçacıklar ile birlikte bir haznenin içine doldurulur. Haznenin ağzı, hazırlanan karışımın, vidalı ekstrüzyon sisteminin içerisine kolayca doldurulabilmesi için uygun bir geometride yapılmıştır. Hazneden beraberce ilerleyen matris ve takviye malzemesi aynı anda hem ısıtılıp hem de karıştırılmaktadır. İlerleme esnasında matris malzemesi ergime sıcaklığı civarına geldiğinde yarı katı yarı sıvı haldeki karışım sistemin sonundaki kalıp içine beslenir. Bu yöntemle sürekli formda kompozit malzeme üretimi yapılabilmektedir. İşlemin şeması Şekil 3.11’de verilmiştir.



Şekil 3.11 Vidalı ekstrüzyon işlemine ait şematik şekil [54]

3.4.3.3.9. In-Situ Yöntemi

Bu teknikte, bir ötekiğin yönlendirilmiş olarak katılaştırılması ile iki fazlı bir yapı ortaya çıkmaktadır. Fazlardan biri matris diğeri ise matris içine dağıtılmış lamel, plaka veya fiber şeklinde fazdır. Uygulamaların çoğu alüminyum, nikel ve kobalt esaslı alaşımlar kullanılarak yapılmaktadır. Tek işlemle elde edilirler ve iç yapıları oldukça kararlıdır. Şekil 3.12 bu işlemi açıklamaktadır.



Şekil 3.12 Bir ötektik alaşımın tekyönlü katılaşmasının kontroluyla yapılan In-situ işleminin şematik gösterimi [55].

3.4.3.3.10. XD Yöntemi

Üçüncü bir elemanı üretmek için iki eleman arasındaki ekzotermik reaksiyonu kullanan bir in-situ işlemdir. Özellikle seramik parçacık takviyeli metal alaşımlarının elde edilmesinde kullanılır.

Martin Marietta tarafından geliştirilen yöntem, takviye fazın sıvı metal içerisinde bir bileşik ilavesi ile oluşturulması prensibine dayanmaktadır. Bu yöntem ile sıvı metal fazı içerisinde pek çok seramik bileşik oluşturulabilmektedir. Parçacıklar sıvı metalin içinde oluşturulduğundan tek kristalli ve oksitlenmemiş ara yüzeylere sahiptir. Oluşan parçacık boyutları, işlem parametrelerinin etkisiyle 0,2-10 μm arasında değişmektedir.

Alüminyum, nikel veya metallerarası matrislerde kullanılan takviye elemanları silisyum karbür (SiC) veya TiB_2 'dir.

3. TALAŞLI İMALAT

Talaş kaldırma, bir iş parçasından, istenmeyen malzemeyi genellikle talaş şeklinde kaldırmak için yapılan üretim işlemlerini tanımlar. Bu işlem; döküm, dövme ve ön şekillendirilmiş metal bloklarını, tasarım isteklerinin ölçü ve yüzey kalite isteklerini karşılayacak yönde istenilen biçime getirmek için kullanılır.

Bu çalışmada elde edilen kompozit numuneler talaş kaldırma deneyleri için tornalanarak ön hazırlık yapılmıştır. Daha sonradan kesme kuvvetleri incelenmek üzere her bir parçadan belli miktarlarda ve kesme hızlarında talaş kaldırılmıştır. Daha sonra işlenen yüzeylerin pürüzlülük ölçümleri yapılmıştır. Dolayısıyla çalışmanın ikinci aşaması bir işleme prosesidir ve imalat tekniğini oluşturmaktadır.

Bir parçanın imalatında genel olarak iki yöntem vardır: Biri talaşlı diğeri talaşsızdır. Her iki şeklin kendine göre uygulama sahası ve sebepleri vardır. Ama klasik olarak talaşlı imalat yöntemleri daha önceliklidir. Teknolojinin ilerlemesi ve tezgahların elektronik aksam ile donatılmasından sonra talaşlı imalat güçlenmiş ve bilgisayar kontrollü hale getirilmiştir. Bunun yanında talaşsız imalat yöntemleri de teknolojiye bağlı olarak artmıştır. Talaşlı imalatın birden fazla tanımı yapılabilmekle beraber hepsinin ortak bir yönü vardır. Birkaç tanım aşağıda verilmiştir:

Şekillendirilecek iş parçası üzerinden takımlar yardımıyla küçük parçacıklar halinde malzeme koparılarak (talaş) yapılan imalata talaşlı imalat denir[56].

Talaşlı imalat önceden tasarımı ve konstrüksiyonu yapılan, imalat süreci belirlenen makine elemanının, imalat sürecine uygun talaşlı imalat tezgahlarında, belirlenmiş kesici takımlar yardımıyla kesme operasyonuna tabi tutularak şekillendirilmesini kapsayan imalat yöntemidir [57].

Talaş kaldırma işlemlerinin endüstriyel uygulamalarının pek çoğu metal malzemeler içindir. Talaş kaldırma işlemleri çok çeşitli takım tezgahlarında yapılır. Torna, freze,

matkap, taşlama, planya, broş ve testere tezgahları bunların başlıcalarıdır. Tabi ki bu tezgahları kendi içlerinde de tipleri farklı farklıdır.

Temel talaş kaldırma işlemleri aşağıda sıralanmıştır:

-Tornalama (Delik işleme, alın tornalama, kesme, konik tornalama, form tornalama, pah kırma ve vida açma)

-Yüzey İşleme (Planyalama, vargelleme)

-Frezeleme (Dairesel kanal açma, azdırma dişli frezeleme)

-Delme (Raybalama, kılavuz çekme, puntalama)

-Testere ile kesme

-Aşındırma ile işleme (taşlama, honlama, lepleme)

-Broşlama (iç ve yüzey) [58]

Bu talaş kaldırma işlemlerinden de anlaşıldığı üzere talaşlı imalat değişik geometrilerde ve özelliklerde farklı parçaların üretilmesi için çok yönlü ve hassas imalat yöntemlerindedir. Ayrıca talaşlı imalat şu nedenlerden dolayı da önemlidir:

-Birçok malzeme talaşlı imalat ile elde edilebilir.

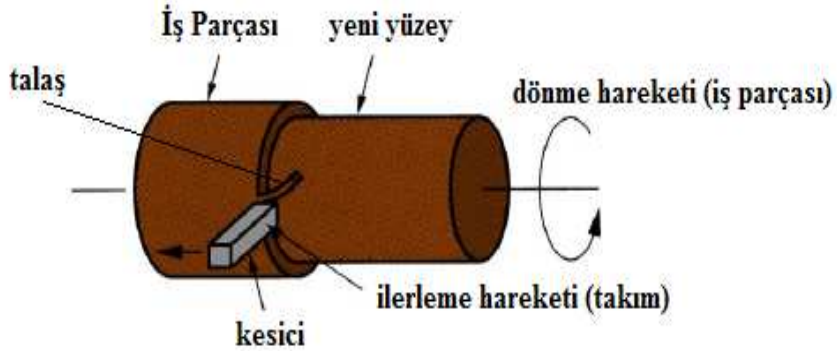
-Çeşitli parça şekilleri ve özel geometriler vermek mümkündür. Vida dişleri, hassas yuvarlak delikler, düzgün kenar ve yüzeyler gibi...

-İyi boyutsal hassasiyet ve yüzey kalitesi sağlanır.

Bunların yanında talaşlı imalat ile kaldırılan talaş miktarına göre harcanan malzeme bu işlemin dezavantajı olabilir. Yine zaman alması başka bir kısıtlama olarak karşımıza çıkar.

Talaşlı imalat genellikle, döküm, dövme ve çubuk çekme gibi diğer imalat işlemlerinden sonra oluşturulur. Diğer işlemler talaşlı imalatın başlangıç işlemini meydana getirir. Böylece talaşlı imalat diğer işlemlerin yapamadığı son şekli, ölçüleri, bitişi ve özel geometrik ayrıntıları sağlar. Her talaşlı imalat operasyonu, iş parçası ve takım arasında bağıl hareketi ve kesme takımının şekline bağlı olarak değişik karakteristiklerde parça geometrisi üretir. Talaşlı imalatta üretilen parçaları dönel, silindirik veya disk şeklinde, dönel olmayan (prizmatik) blok şeklinde veya plaka-levha şeklinde sınıflandırabiliriz.

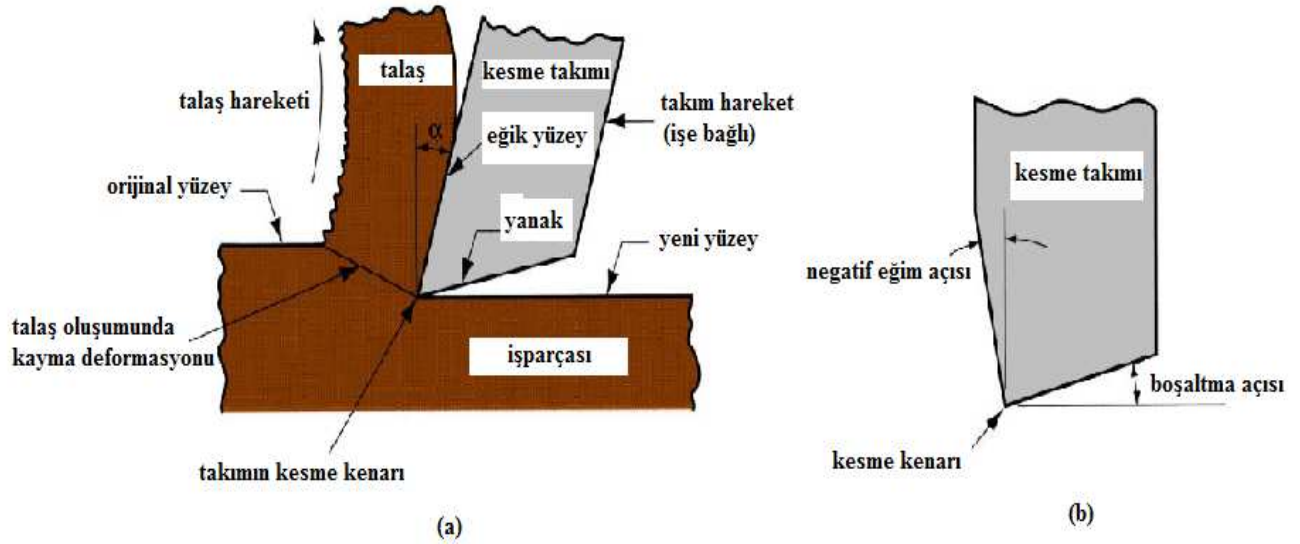
Tornalama işleminde; silindirik bir şekil oluşturmak üzere, kesici takım, dönen bir iş parçasından talaş kaldırır. Tornalamada kullanılan tezgaha torna denir. Torna tezgahlarında: Yüzey tornalama, alın tornalama, pah kırma, kesme işlemleri ve vida (diş) açma işlemleri yapılır. Şekil 4.1’de tornalama işlemine ait şekil gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Tornalama işlemi [59]

4.1. Talaş Kaldırma Mekanığı

Bir talaş oluşturmak için iş malzemesinde kayma deformasyonu oluşturan kesme işlemidir. Talaş kaldırıldıkça yeni bir yüzey oluşur. Talaş kaldırma mekanizmasının yapısı Şekil 4.2' de açıklanmıştır.

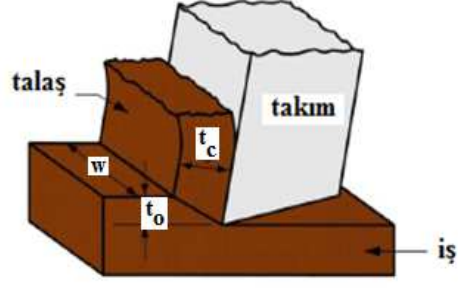


Şekil 4.2 (a) Talaş kaldırmada kesit görünümü(ve pozitif talaş kaldırma açısı) (b) Negatif talaş açılı takım [59]

Talaş; kaba ve ince olarak iki türlü düşünülebilir. Kaba talaşta, istenen geometriye yakın kalın talaşlar kaldırılır. İlerleme ve derinlik büyüktür. İnce talaşta parça şekli tamamlanır, son boyutlar, toleranslar sağlanır. Derinlik ve ilerleme hız düşük, kesme hızı fazladır.

Dikey Kesme Modeli:

Talaş kaldırma mekanığını oldukça doğru olarak tanımlayan basitleştirilmiş model Şekil 4.3' de verilmiştir.



Şekil 4.3 Dikey kesme modelinin şekli [59]

Burada:

t_o = Talaş oluşmadan önceki talaş kalınlığı

t_c = İşlemden sonraki talaş kalınlığı

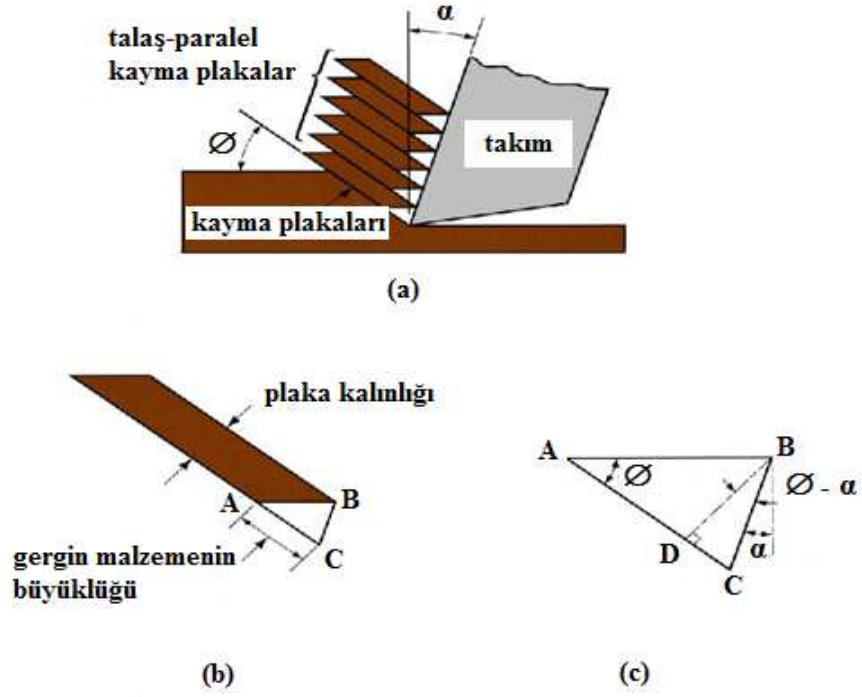
buradan r , talaş kalınlığı oranı :

$$r = \frac{t_o}{t_c} \quad (4.1)$$

olarak bulunur. Kesmeden sonraki talaş kalınlığı her zaman öncekinden büyüktür. Böylece oran her zaman 1'den küçük çıkar. Dikey modelin geometrik parametrelerine bağlı olarak, kayma düzlem açısı ϕ şöyle belirlenir:

$$\tan\phi = \frac{r \cdot \cos\alpha}{1 - r \cdot \sin\alpha} \quad (4.2)$$

Burada: r = talaş oranı ve α ise talaş açısıdır.



Şekil 4.4 Talaş oluşumu esnasındaki kayma gerilmesi, (a) Birbirine bağlı kayan bir dizi paralel tabakayla gösterilen talaş oluşumu (b) Kayma düzlemini göstermek için ayrılmış bir tabaka (c) Genleşme denklemini çıkarmak için kullanılan kayma gerilme üçgeni [59].

Talaşlı imalatta 3 çeşit talaş vardır:

4.1.1. Kesintili Talaş

Dökme demir gibi kırılğan malzemelerin bıraktığı talaştır. Kesme hızı düşük ve ilerleme ile kesme derinliği büyüktür. Şekil 4.5 kesintili talaşı göstermektedir.



Şekil 4.5 Kesintili talaş [59]

4.1.2. Sürekli Talaş

Düşük karbonlu çelik gibi yumuşak malzemelerin talaş şeklidir. Kesme hızı yüksek, ilerleme ve derinlik düşük, takım-talaş sürtünmesi azdır. Şekil 4.6 sürekli talaşı göstermektedir.



Şekil 4.6 Sürekli talaş mekanizması [59]

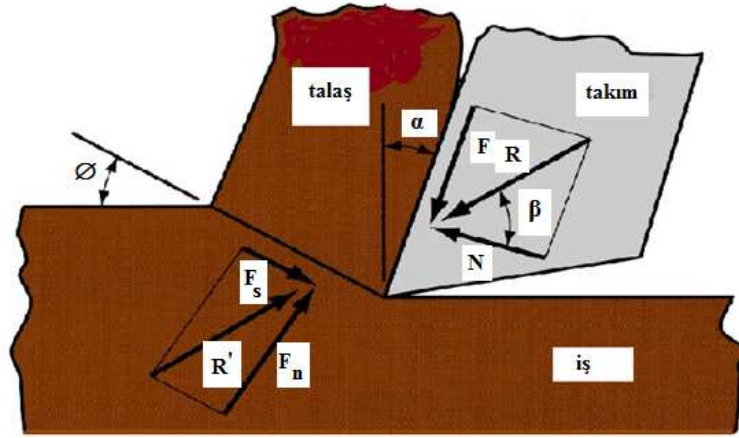
4.1.3. Yarı Kesintili Talaş

Yarı sürekli testere dişli görünüme sahiptir. Düşük-yüksek arası bir kayma gerilmesi sonucu oluşur. Talaşlı imalatı zor parçalarda oluşur ve yüksek kesme hızlarında olur. Şekil 4.7 yarı kesintili talaşı göstermektedir.



Şekil 4.7 Yarı kesintili talaş [59]

4.2. Talaş Oluşumuna Etki eden Kuvvetler



Şekil 4.8 Talaş oluşumunda etkili kuvvetlerin açıklanması [59]

- Burada:
- F: Sürtünme kuvveti
 - N: Sürtünmeyi oluşturan Normal kuvvet
 - F_s : Kayma kuvveti
 - F_n : Kaymaya karşı Normal kuvvet
 - R: F ve N'nin vektör toplamı (bileşke kuvvet)
 - R' : F_s ve F_n 'nin vektör toplamı (bileşkesi)

Talaş üzerine etki eden kuvvetler dengede olmalı. Yani:

R' , R'ye eşit büyüklükte, ters yönde ve aynı doğrultuda olmalıdır. Takım ve talaş arasındaki sürtünme katsayısı (μ):

$$\mu = \frac{F}{N} \quad (4.3)$$

şeklinde bulunur.

Sürtünme katsayısına bağlı olarak sürtünme açısı:

$$\mu = \tan\beta \quad (4.4)$$

Kayma düzlemi boyunca etki eden kayma gerilmesi:

$$S = \frac{F_s}{A_s} \quad (4.5)$$

Burada: A_s , kayma düzleminin alanı olup şöyle bulunur:

$$A_s = \frac{t_o \cdot w}{\sin \phi} \quad (4.6)$$

Burada: t_o , kayma düzlemi boyunca talaş kalınlığı ve w , talaş genişliğidir.

Kesme ve Dayama Kuvveti:

F , N , F_s ve F_n kuvvetleri doğrudan ölçülemez. Kesme kuvvet F_c ve dayama kuvveti F_t olarak gösterilirse doğrudan ölçülemeyen bu kuvvetler denklemler türetilebilir.

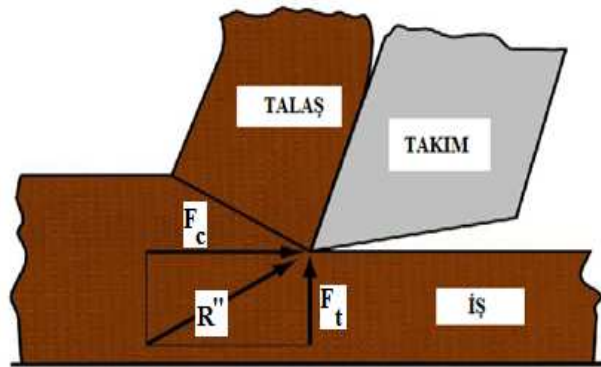
$$F = F_c \sin \alpha + F_t \cos \alpha \quad (4.7)$$

$$N = F_c \cos \alpha - F_t \sin \alpha \quad (4.8)$$

$$F_s = F_c \cos \phi - F_t \sin \phi \quad (4.9)$$

$$F_n = F_c \sin \phi + F_t \cos \phi \quad (4.10)$$

Hesaplanan bu kuvvete dayanarak kayma gerilmesi ve sürtünme katsayısı belirlenebilir. Şekil 4.9 kesme ve dayama kuvvetlerini göstermektedir.



Şekil 4.9 Kesme ve Dayama kuvvetlerinin gösterimi [59]

4.2.1.Merchant Denklemi

İş parçası, kayma deformasyonunun meydana gelebileceği tüm olası açılar arasından, enerjiyi en aza indirecek bir kayma düzlem açısı ϕ seçecektir.

$$\phi = 45 + \frac{\alpha}{2} - \frac{\beta}{2} \quad (4.11)$$

Bu denklem Eugene Merchant tarafından bulunmuştur. Ortogonal talaş kaldırma için hesaplanmıştır. Ancak 3 boyutlu durum için de kullanılmaktadır. Denkleme göre kayma düzleminin açısını artırmak için; talaş açısı artırılmalıdır. Sürtünme açısı (veya sürtünme katsayısı) azaltılmalıdır.

4.3. Yüzey Pürüzlülüğü

İmalat usullerinden hangisi olursa olsun mükemmel işlenmiş parça yoktur. İşlenen parçanın yüzeyi büyütülerek incelendiğinde mikro girinti ve çıkıntılar olacaktır. Kesici takımdan veya üretim sürecindeki diğer problemlerden kaynaklanan yüzey düzensizlikleri pürüzlülük olarak tanımlanır [60]

Metallerin talaş kaldırma yöntemiyle şekillendirilmesi, imalat sektörünün temelini teşkil eder. Makine endüstrisinde; işlenmiş parçaların yüzey kalitesinin iyi olması, maliyetinin azaltılması ve imalatta kalitenin yükseltilmesine olanak sağlaması sebebiyle tercih edilmektedir [60].

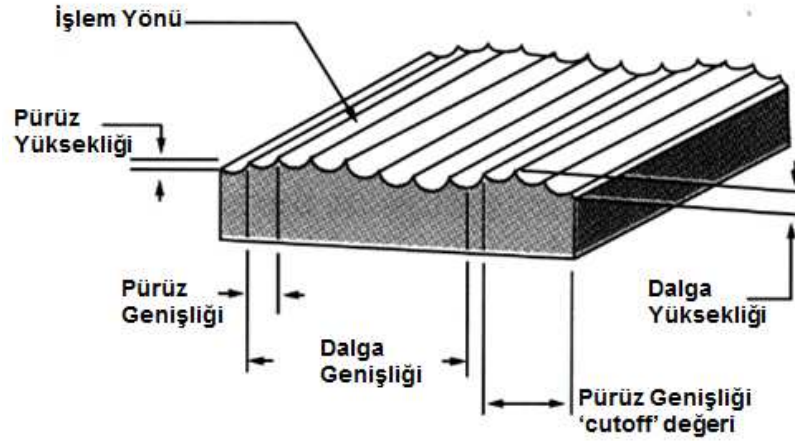
Geleneksel ve geleneksel olmayan imalat yöntemlerinde; malzemenin cinsi, kesici takım, kesme hızı ve ilerleme, kesme derinliği, soğutma sıvısı ve tezgahın konstrüksiyonu gibi pek çok faktör, yüzey pürüzlülüğünü etkiler [60].

Yüzey pürüzlülüğü; yüzey dalgalılığı ve yüzey formu gibi yüzey geometrisini oluşturan 3 faktörden birisidir. Bunun nedeni yüzeylerin değişik işleme yöntemleriyle elde edilmeleri ve ortaya çıkan yüzey geometrilerinin değişik

fonksiyonel etkilerinin olmasıdır. Özellikle mekanik üretim yöntemleri göz önüne alındığında, yüzey pürüzlülüğü yüzey geometrileri içerisinde en önemli yeri tutar.

Ölçü aletleri ile yapılan yüzey pürüzlülüğü kontrollerinde, kontrol edilecek yüzeyden bir aralık seçilip değerlendirilir. Kontrol cihazı seçilen bu aralığı örnek boylarına ayırmakta ve her örnek boyundan elde ettiği sonuçların istatistiki değerlendirmesini yapmaktadır. Söz konusu örnek boyları tüm profili temsil edebilecek kadar uzun, ancak yüzey pürüzlülüğünü yüzey dalgalılığından ayırdedecek kadar da kısa olmalıdır.

4.3.1. Yüzey Profili



Şekil 4.10 Yüzey profili ve parametreleri [61]

Yüzey dokusunda geçen parametreler şöyledir:

Pürüz: Yüzey dokusu bozukluğunun ölçüsü.

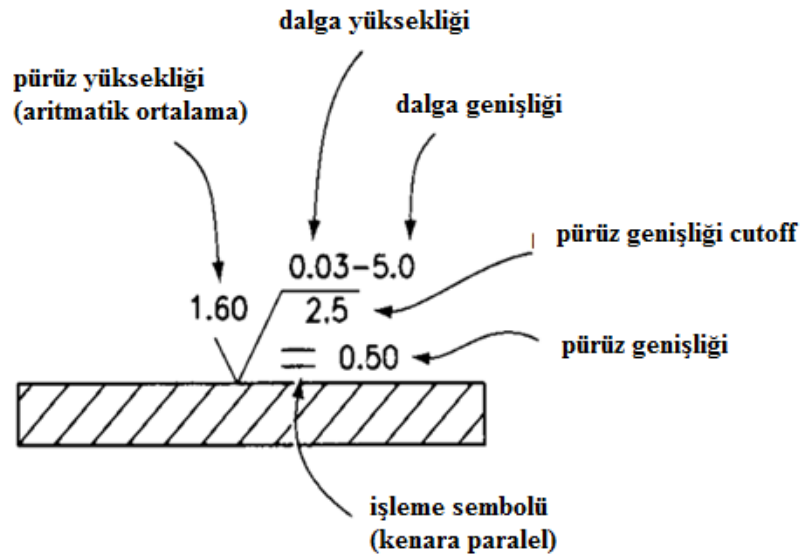
Dalga: Yüzey dokusu bozukluğunun, çarpıklık, makine titreşimleri, ısıl işlem ve diğer benzer etkilere bağlı olarak daha geniş alana yayılmış durumu.

İşlem Yönü: Yüzeye ait temel motifin yönü.

Pürüz Genişliği Cut-Off Değeri: Pürüz yüksekliği ölçümünde dikkate alınacak yüzey pürüzünün maksimum genişlik değeri.

Pürüz Genişliği: Yüzey motifinin tekrarlayan özellikleri arasındaki izin verilen maksimum mesafe.

4.3.2. Yüzey Kontrolü



Şekil 4.11 Yüzey dokusu parametrelerinin simgesel gösterimi [61]

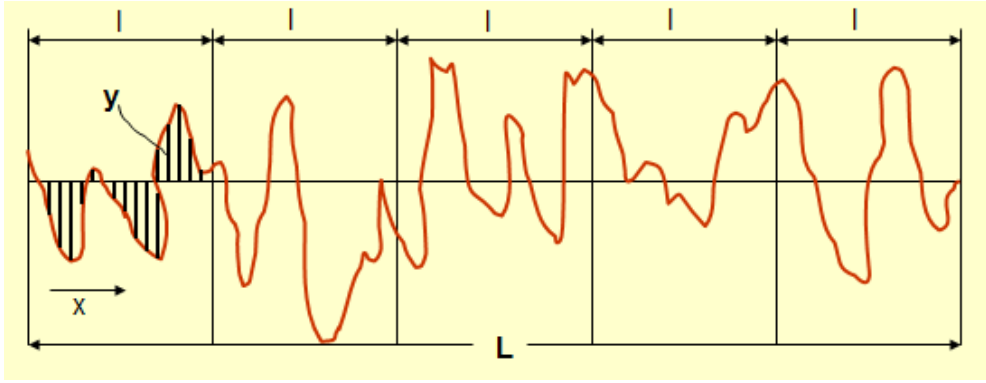
Yüzey Pürüzlülüğü Sembolleri:

Yüzey pürüzlülüğü değerleri teknik resimlerde değişik sembollerle gösterilir. Fakat, R_a , ortalama yüzey pürüzlülüğü (Roughness Average) standardının kullanımı daha yaygındır. Örnek olarak R_a değerlerine karşılık gelen diğer standartlar Çizelge 4.1’ de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Ortalama yüzey pürüzlülüğü değerlerinin değişik standartlarda gösterimi [61]

STANDART	DEĞERLER												BİRİM
Ra	0.025	0.05	0.1	0.2	0.4	0.8	1.6	3.2	6.3	12.5	25.0	50.0	µm.
CLA	1	2	4	8	16	32	64	125	250	500	1000	2000	µin.
KLASSE	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12	
GROUPE	▽▽▽▽			▽▽▽			▽▽			▽			

4.3.3. Yüzey Pürüzlülüğü Parametreleri



Şekil 4.12 Yüzey pürüzlülüğü parametreleri [61]

Ra: Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü. Yüzey pürüzlülüğünün en çok bilinen ve en fazla kullanılan parametresidir. Profil ortalamasından sapmaların aritmetik ortalamasıdır.

Rq: Geometrik Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü. Profil ortalamasından sapmaların geometrik ortalamasıdır.

$$Ra = \frac{1}{L} \int_0^L |y(x)| dx \quad \text{ve} \quad Rq = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L y^2(x) dx} \quad (4.12)$$

4.3.4. Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçümü ve Kullanılan Yöntemler

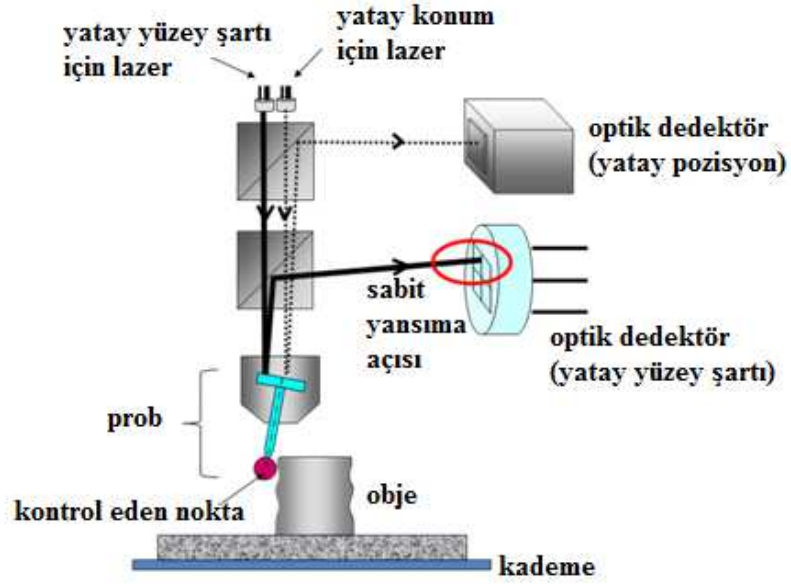
Yüzey pürüzlülüğünü standard değerler içerisinde ölçen ve kontrol eden pek çok ölçü aletleri ve gereçleri tasarlanıp kullanılmıştır. Bunları 2 grupta toplamak mümkündür:

1. Mukayese Etme Yöntemleri
 - a) Standard örnek yüzeyler,
 - b) Mukayese mikroskopu,
 - c) Işık bantlı mikroskop,
 - d) İnterferans mikroskop

2. Doğrudan Ölçme Yöntemleri
 - Profilometreler (elektrikli sivri uçlu cihazlar)

Elektronik cihazların gelişimi ve bilgi işleme tekniklerinin kolaylaşması ile beraber bunlar arasında en çok kullanılan yöntem profilometrenin kullanımınıdır. Bu açıdan onun yapısı incelenmiştir.

Profilometreler: DIN, ISO, JIS ve ANSI gibi uluslararası standartlara göre çeşitli parametrelere bağlı olarak yüzey pürüzlülük yapısını değerlendiren cihazlardır. Ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri dijital ekranda görüntülenebilir, kaydedilebilir veya çıktısı alınabilir. Şekil 4.13'de çok yüksek hassasiyete sahip bir 3D profilometrenin optik sistemi şematik olarak verilmiştir.



Şekil 4.13 3D profilometrenin optik sisteminin şematik görüntüsü [62]

Düz ve silindirik gibi farklı yüzeylere sahip pürüzlülüğü ölçülecek parçaların ölçümü yapılırken elmas uçlu iğnenin bulunduğu dedektör kısmı, sürücü ünitesine vidalar ile monte edilebilen burun parçaları ile ölçülen yüzeye teğet konuma getirilir. Sürücü ünitesinin ölçülen yüzeye paralel olmasını sağlamak için destek ayakları kullanılabilir. Cihazın kalibrasyonu yapılırken yüzey pürüzlülüğü belli hassas kalibrasyon numunesi (master) bulunmaktadır.

Dedektör, sürücü ünitesine bağlıdır. Bir motor vasıtasıyla yatay olarak iş parçası üzerinde ileri geri hareket eder. Dedektörün parça üzerindeki yatay hareketi esnasında yüzey üzerindeki pürüzlülüklere değen detektöre bağlı elmas uçlu iğnenin dikey hareketinin oluşturduğu mekanik sapmaların sürücü ünitesi tarafından elektrik sinyallerine çevrilip yükseltilmesi ve verilere göre filtrelenmesine, yüzey pürüzlülük parametrelerinin hesaplanmasına ekranda gösterilmesine ve çıktısının alınabilmesine dayanan bir yapıları vardır. Şekil 4.14’de yeni bir modelin görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.14 Gelişmiş bir profilometre modeli [63]

Cihaz açılır, ekrandan standartlardan arzu edileni seçilir. Yüzey pürüzlülük değeri ölçülecek parça düz bir yere konularak, yüzeyin üzerine iğne ucun değmesi sağlanır. Ölçülecek parça yüzeyi ile elmas uçlu sürücü ünitesi arasında tam paralellik sağlandığı anda cihaz üzerinde bulunan çalıştırma tuşuna basılarak ölçme başlar, ölçüm sonlandığında dedektör başlangıç pozisyonuna geri döner. Ra, Rz gibi ölçüm değerlerinin gelmesi beklenir, değerlerin çıktısı alınarak deney tamamlanmış olunur.

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Çalışmada; SiC (silisyum karbür) takviyeli Al₂₀₁₄ matris kompozit numuneler karıştırılmalı döküm yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Matris olarak alüminyumun ve takviye elemanı olarak silisyum karbürün seçilmesi en çok kullanılan ve tercih edilen malzemeler olmasındandır. Belli kütledeki alüminyuma farklı hacimlerde silisyum katılarak takviye hacim oranları belirlenmiş ve elektrikli ergitme fırınında belli sıcaklıklar baz alınarak karıştırılmak suretiyle numune ön hazırlıkları için ergitme sağlanmıştır. Daha sonra 4 dakika süreyle ve 500 dev/dak karıştırılan ergiyik kum döküm kalıbına dökülerek soğumaya bırakılmıştır.

Kompozitlerin üretiminde, üretim parametreleri olarak takviye hacim oranı (THO) ve sıvı matris sıcaklığı kullanılmıştır. Sıvı matris sıcaklığı 700 °C, 750 °C ve 800 °C olarak belirlenmiştir. %3, %6 ve %12 THO'ru kompozitlerin üretiminde kullanılmıştır. Sıcaklıkların ve THO'nun seçiminde literatür çalışmalarına bakılarak genellikle uygulanan sıcaklık ve oranlarından uzaklaşmayacak değerler kullanılmıştır.

Örneğin; El-Kady et al (2013) yaptıkları çalışmada, Al matris kompozitlerin fiziksel ve mekaniksel özelliklerinin geliştirilmesinde SiC parçacık boyutunun etkilerini araştırmışlar ve bu çalışmada %5 ve %10 oranlarını kullanmışlardır [64]. Yine, Bhushan, K., R. (2012)'nin yaptığı çalışmada; 7075 Al alaşımına SiC parçacıkları ekleyerek oluşturduğu kompozit üzerinde BSD tezgah kullanarak kesme hızı, ilerleme oranı, kesme derinliği ve burun yarıçapının etkilerini incelemiştir. Burada kullandığı SiC oranı %15'dir [65]. Mandal, D. ve Viswanathan, S. (2013) beraber yaptıkları diğer bir çalışmada; 2124Al alaşımına SiC parçacıkları ekleyerek vortex yöntemiyle kompozit elde etmişler ve numuneleri sıcak haddeleme ile 575 °C'de dövmüşler ve sonra su ile sertleştirilme işleminden geçirmişlerdir. Bu çalışmada %10 SiC parçacık oranını kullanmışlardır [66].

Al alaşımlarının ergime sıcaklıkları 505 °C ile 650 °C değerleri arasında olduğundan, deneyde yine literatüre uygun olan sıcaklıklar alınmıştır. Örneğin; Mandal, D. ve

Viswanathan, S. (2013); 2124Al matrisli SiC katkılı elde ettikleri kompozitler üzerinde parçacıkların dağılımının yeniden ergitme ile nasıl değiştiğini ve yüzey şekillenmesini nasıl etkilediğini araştırdıkları çalışmalarında sıcaklık değerleri olarak 800 °C ve 900 °C'yi kullanmışlardır [67]. Diğer bir çalışmada, Kumar, A., et al (2013) In-situ yöntemiyle elde ettikleri kompozit numuneler üzerinde, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri gibi işlenebilirlik parametrelerinin etkilerini araştırmışlardır. Matris malzeme olarak Al-4.5%Cu kullanmışlar ve TiC takviye malzemesini %5, %7 ile %10 olarak almışlardır. Son olarak sıcaklığı 950 °C olarak belirlemişlerdir [68]. Çizelge 5.1' de THO'na göre kullanılan malzemelerin kütleleri verilmiştir.

Çizelge 5.1 Deneyde kullanılan Al2014 ve SiC kütleleri ile takviye oranları

	Al2014 kütlesi(g)	SiC kütlesi(g)	Takviye Oranı(%)	Uygulanan Sıcaklık (°C)	Karıştırma Süresi (dak)
1.Deney	2034	61	3	700	4
2.Deney	2034	61	3	750	4
3.Deney	2034	61	3	800	4
4.Deney	1968	118	6	700	4
5.Deney	1968	118	6	750	4
6.Deney	1968	118	6	800	4
7.Deney	1941	233	12	700	4
8.Deney	1941	233	12	750	4
9.Deney	1941	233	12	800	4

5.1. Malzeme ve Yöntem

Deneylerde metal matris olarak Al2014 ve takviye elemanı olarak silisyum karbür, yöntem olarak ise karıştırılmalı döküm yöntemi kullanılmıştır. Matris malzemesinin ve takviye malzemesinin kimyasal, fiziksel, mekanik özelliklerini gösterir çizelgeler sırasıyla; Çizelge 5.2, Çizelge 5.3, Çizelge 5.4 ve Çizelge 5.5'de verilmiştir.

Çizelge 5.2 Al2014 ‘ün kimyasal bileşimi [69]

Metal	Al	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Si	Ti	Zn
% ağırlık olarak	90,4-95	Max. 0,1	3,9-5	Max. 0,7	0,2-0,8	0,4-1,2	0,5-1,2	Max. 0,15	Max. 0,25

Çizelge 5.3 Al2014’ün fiziksel ve mekanik özellikleri [69]

Yoğunluk (g/cm ³)	2,8
Brinell sertliği	105
Knoop sertliği	132
Rockwell A sertliği	42,8
Rockwell B sertliği	67
Vickers sertliği	118
Maksimum çekme dayanımı (MPa)	427
Çekmede Akma dayanımı (MPa)	290
Kopmada uzama (%)	20
Elastikiyet modülü (GPa)	72,4
Poisson oranı	0,33
Yorulma dayanımı (MPa)	262
Kayma Modülü (GPa)	28
Kayma dayanımı (MPa)	262
Ergime noktası (°C)	507-638

Çizelge 5.4 SiC’ nin kimyasal bileşimi [70]

Metal	SiC	C	Fe ₂ O ₃	Cl
% ağırlık olarak	98	0,15	0,20	<50 ppm

Çizelge 5.5 SiC'nin fiziksel ve mekanik özellikleri [70]

Yoğunluk (g/cm ³)	3,1
Porozite (%)	0
Bükülme Dayanımı (MPa)	550
Elastikiyet modülü (GPa)	410
Kayma modülü (GPa)	--
Bulk modülü (GPa)	--
Poisson oranı	0,14
Basma dayanımı (MPa)	3900
Sertlik (kg/mm ²)	2800
Kırılma tokluğu K _{IC} (MPa.m ^{1/2})	4,6
Isıl iletkenliği (W/m.K)	120
Özgül ısısı (J/kg.K)	750
Ergime noktası (°C)	2730

5.2. Kompozit Malzemelerin Üretilmesi

Deneylerin yapılabilmesi açısından, THO'na göre hazırlanan matris ve takviye elemanları aşağıdaki basamaklardan geçirilmiştir.

i. Matrisin Ergitilmesi

Al2014-SiC metal matrisli kompozit malzemeler Şekil 5.1' de görülen ergitme ocağı ve karıştırılmalı döküm ünitesinde üretilmiştir. Yapılan deneylerde sıvı matris sıcaklığı olarak 700°C, 750°C ve 800°C sıcaklıklar kullanılmıştır.



Şekil 5.1 Karıştırmalı döküm ve ergitme ünitesi

ii. Kompozitin Karıştırılması

Al2014-SiC kompoziti hazırlanırken kullanılan ergitme fırını için imal edilmiş karıştırma düzeneği Şekil 5.2’de gösterilmiştir. Bir masa üzerine hazırlanan bir dikey desteğe geçirilen motor sabitlenmiştir. Motor miline bağlanan karıştırıcı ile ergiyik istenilen hızlarda karıştırılabilmektedir. Motor düzeneğine bağlı bir hız kontrol ünitesi vardır.



Şekil 5.2 Kompoziti karıştırma düzeneği

Karıştırma düzeneği ile ergitme fırını yaklaştırılarak karıştırıcının pota içine girmesi ve döndürülmesi sağlanır. Karıştırma işleminde; parametre olarak sıcaklık ve takviye hacim oranları alınmıştır. Karıştırma süresi 4 dakika olarak sabitlenmiştir. Yine karıştırma devri 500 rpm olarak tutulmuştur.

iii. Kompozitlerin Dökülmesi

Karıştırma işleminden sonra kum kalıba ergiyiğin dökülmesi sağlanmıştır. Deneylein yapılabilmesi için yaklaşık Ø22x100 mm çaplarında 9 adet silindirik kompozit numune elde edilmiştir. Kompozitler kum kalıpta bekletilerek oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur. Şekil 5.3 , ergiyen kompozit metalin kum kalıba dökülmesini göstermektedir. Şekil 5.4’de ise, kalıptan çıkarılan ve numara verilen numuneler görülmektedir.



Şekil 5.3 Ergiyen kompozit metalin kum kalıba dökülmesi



Şekil 5.4 Kalıptan çıkarılıp numara verilen numuneler

Üretilen kompozit numunelerin sertlik ve gözenek miktarlarının tespiti için ayrıca deneyler yapılmıştır. Sertlik ölçümleri Vickers Sertlik Ölçme Yöntemi ile yapıp 5 ölçümün ortalaması alınmıştır. Gözenek miktarları ise aşağıdaki formüle göre tespit edilmiştir.

$$\%Gözenek = \frac{d_{teorik} - d_{deney}}{d_{teorik}} \times 100 \quad (5.1)$$

Burada; (d_{teorik}), teorik yoğunluk ve (d_{deney}) ise deneysel yoğunluk olup yoğunlukların ölçülmesi Arşimet Prensibine göre yapılmıştır. Buna göre üretilen kompozit numunelerin sertlik ve gözenek miktarları Çizelge 5.6' da verilmiştir.

Çizelge 5.6 Kompozit numunelerin sertlik ve gözenek miktarları

DENEY NO	SICAKLIK °C	T.H.O. %	GÖZ. %	SERTLİK (HV)
1.deney	700	3%	23,25	126,6
2.deney	750	3%	21,87	113,4
3.deney	800	3%	7,14	143,8
4.deney	700	6%	20,325	145,4
5.deney	750	6%	16,218	155,8
6.deney	800	6%	7,825	137,4
7.deney	700	12%	23,44	174,8
8.deney	750	12%	16,76	210
9.deney	800	12%	14,641	227,2

Numuneler dökümden çıktıkları şekliyle birbirlerine göre biraz farklı çaplarda ve yüzeyleri çok pürüzlü olması sebebiyle hepsini ortalama bir çapa indirgemek için klasik torna tezgahında ön talaş kaldırmayla hassas işlemeye ve kesme kuvvetlerini elde etmek üzere hazırlanmıştır (Şekil 5.5).



Şekil 5.5 Dökülen numunelerin dış yüzeylerinin talaş alma yoluyla temizlenmesi

5.3. İşleme Deneyleri

Ön talaş kaldırmayla belli bir çapa indirilen numuneler kesme kuvvetlerinin incelenmesi için BSD (Bilgisayarlı Sayısal Denetim) torna tezgahında gerekli ayarlar yapıldıktan sonra işleme deneylerine başlanmıştır (Şekil 5.6). Ayrıca, numunelerin BSD torna aynasına bağlanma şekilleri ise Şekil 5.7’de gösterilmiştir.

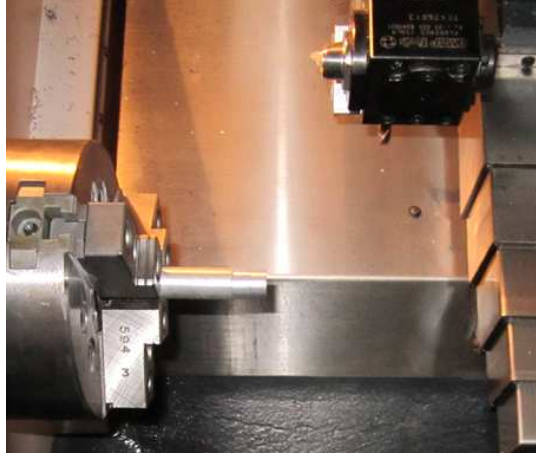


Şekil 5.6 Numunelerin işleme deneylerinin yapıldığı BSD torna tezgahı

Kullanılan BSD torna tezgahına ait teknik özellikler Çizelge 5.7 ‘de verilmiştir.

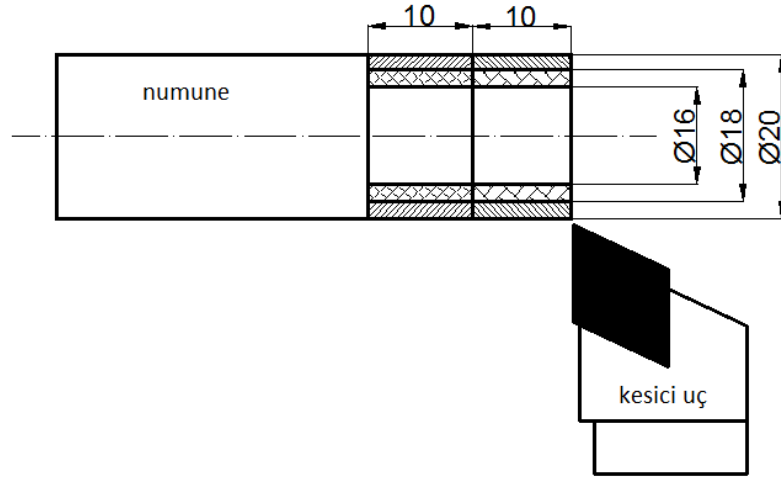
Çizelge 5.7 Goodway marka GLS-150 model BSD torna tezgahının teknik özellikleri.

Üretici firma	GOODWAY
Model	GLS 150
Tornalama Çapı	400 mm
Tornalama Boyu	500 mm
Çubuk Kapasitesi	52 mm
Ayna Ebadı	8"
İş mili normu	A2-6
Ana iş mili motor gücü	11 kW
Kontrol Sistemi	Fanuc Oi -TC
Magazin Tipi	BMT Taret
Magazin kapasitesi	12 İstasyon
Makina ağırlığı	3200 kg
İş mili devri	4200 RPM
Kontrol Sistemi	Fanuc Oi -TC



Şekil 5.7 Numunenin BSD torna tezgahının aynasına bağlanması

Kesme kuvvetleri ölçülürken sabit ilerlemede (0.20 mm/dev), 1 mm talaş kaldırılarak ve 4 farklı kesme hızında (100 m/dak, 125 m/dak, 160 m/dak, 180 m/dak) deneyler yapılmıştır. Kompozit numuneler üzerinden 10 mm boyunda talaş kaldırılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Numuneler üzerinden, kademeli olarak talaş kaldırma işlemi Şekil 5.8' de gösterilmiştir.



Şekil 5.8 Numuneden 4 kez talaş kaldırma ve ilerleme mesafelerinin şematik gösterimi

İşleme deneyleri sırasında oluşan kesme kuvvetlerini ölçmek üzere Kistler marka dinamometre kullanılmıştır. Elde edilen kesme kuvveti değerleri dinamometreden alınarak bilgisayara kaydedilmiştir. Şekil 5.9'da dinamometrenin BSD torna tezgahına bağlanmış vaziyetteki görüntüsü, deneyde kullanılan Kistler marka dinamometrenin teknik özellikleri ise Çizelge 5.8' de verilmiştir.

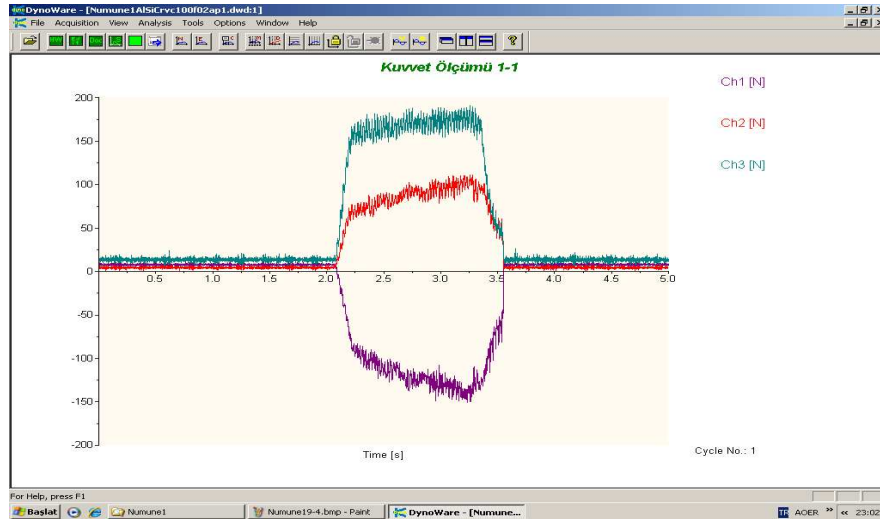


Şekil 5.9 Kesme kuvvetlerini ölçen dinamometrenin BSD torna tezgahına bağlanması

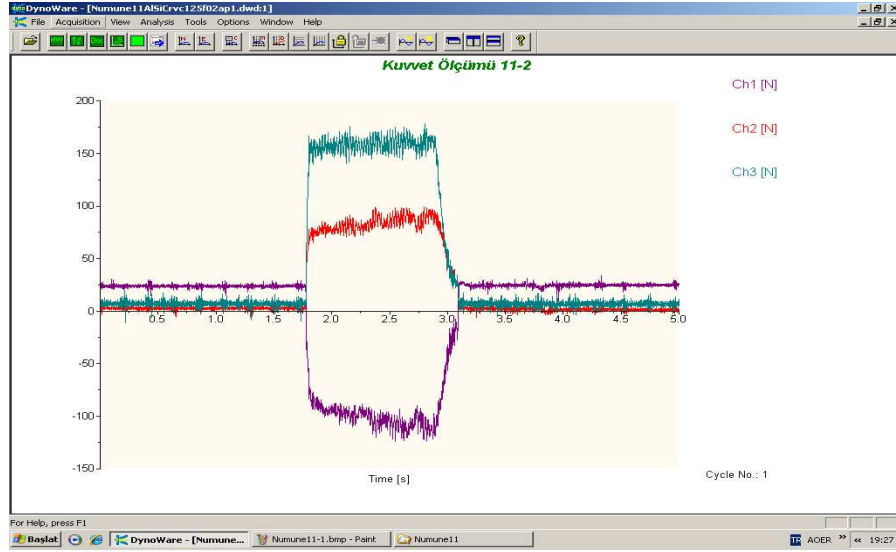
Çizelge 5.8 Kistler dinamometrenin teknik verileri

Özellikleri	Ölçüm birimi	Model 5070A10000
Ekipman tipi	-	Şarj yükseltici
Tasarım	-	Laboratuvar için bağımsız
Kanal sayısı	-	4
Uç girişte bağlantı	-	BNC
Ölçme aralığı	pC	200....200000
Sensör tanımlaması	-	Hayır
Çıkış sinyali/voltajı	V	-10.....10
Frekans cevabı	kHz	0,0...45,0
Çalışma sıcaklık aralığı	°C	0...50
Boy	mm	253
Derinlik	mm	247,5
Yükseklik	mm	142
Akım kompenzasyonu	-	Hayır
Kendi nokta taraması	-	Hayır
Ağırlık	kg	3,8

Kistler dinamometresinden kesme kuvvet değerleri SK ve KSK takımlar için alınmış olup ekran görüntülerine ait 2 örnek Şekil 5.10 ve Şekil 5.11’de görülmektedir.



Şekil 5.10 SK kesici takımın birinci numuneden elde edilen kesme kuvvetleri

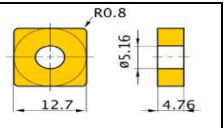


Şekil 5.11 KSK kesici takımın birinci numuneden elde edilen kesme kuvvetleri

5.4. Kesici Takımlar ve Kesme Şartları

Talaş kaldırma deneyleri; GOODWAY marka GLS150 model üç eksenli BSD torna tezgahında, kuru kesme şartlarında, dört farklı kesme hızı (100 m/dak, 125 m/dak, 160m/dak, 180 m/dak), sabit ilerleme (0,20 mm/dev) ve sabit kesme derinliğinde (1 mm) yapılmıştır. Dokuz adet kompozit numune üzerinden önce kaplamasız sementit karbür (SK) takımlarla sonra kaplamalı sementiti karbür (KSK) takımlarla olmak üzere 72 adet işleme deneyi gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan kesici takımların geometrik özellikleri ile teknik bilgileri Çizelge 5.9’ da verilmiştir.

Çizelge 5.9 İşleme deneylerinde kullanılan kesici takımların özellikleri [71]

Kesici Takım Kodu	Kalite Üretici Kodu	Ana Karbür Yapısı	ISO Geometri Tanımlama Kodu	
SK (C)	Sandvik 432-HIP	WC-TiC TaC Bağ.:Co	SNMA 120408	
KSK (CC)	Sandvik 432-KR	WC-TiC TaC Bağ.:Co	SNMA 120408-KR	

5.5. Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçülmesi

Kesme deneyleri devam ederken diğer taraftan işleme tamamlanan numunelerin yüzeylerine ait pürüzlülük değerleri, Hommel Tester T1000 tipi cihaz ile ölçülmüştür. Ölçüm işlemleri ISO 4288'e uygun olarak yapılmıştır [72]. Deneyler sonunda elde edilen pürüzlülük değerleri grafiğe aktarılmış ve yorumlanmıştır. Deneyde kullanılan Hommel marka T1000 model cihaz Şekil 5.12'de görülmektedir. Ayrıca, deneyde kullanılan Hommel T1000 cihazının teknik özellikleri Çizelge 5.10'da verilmiştir.



Şekil 5.12 Yüzey pürüzlülük değerlerinin ölçüldüğü “Hommel T1000 Tester” marka cihaz

Çizelge 5.10 Hommel T1000 yüzey pürüzlülük cihazı teknik verileri

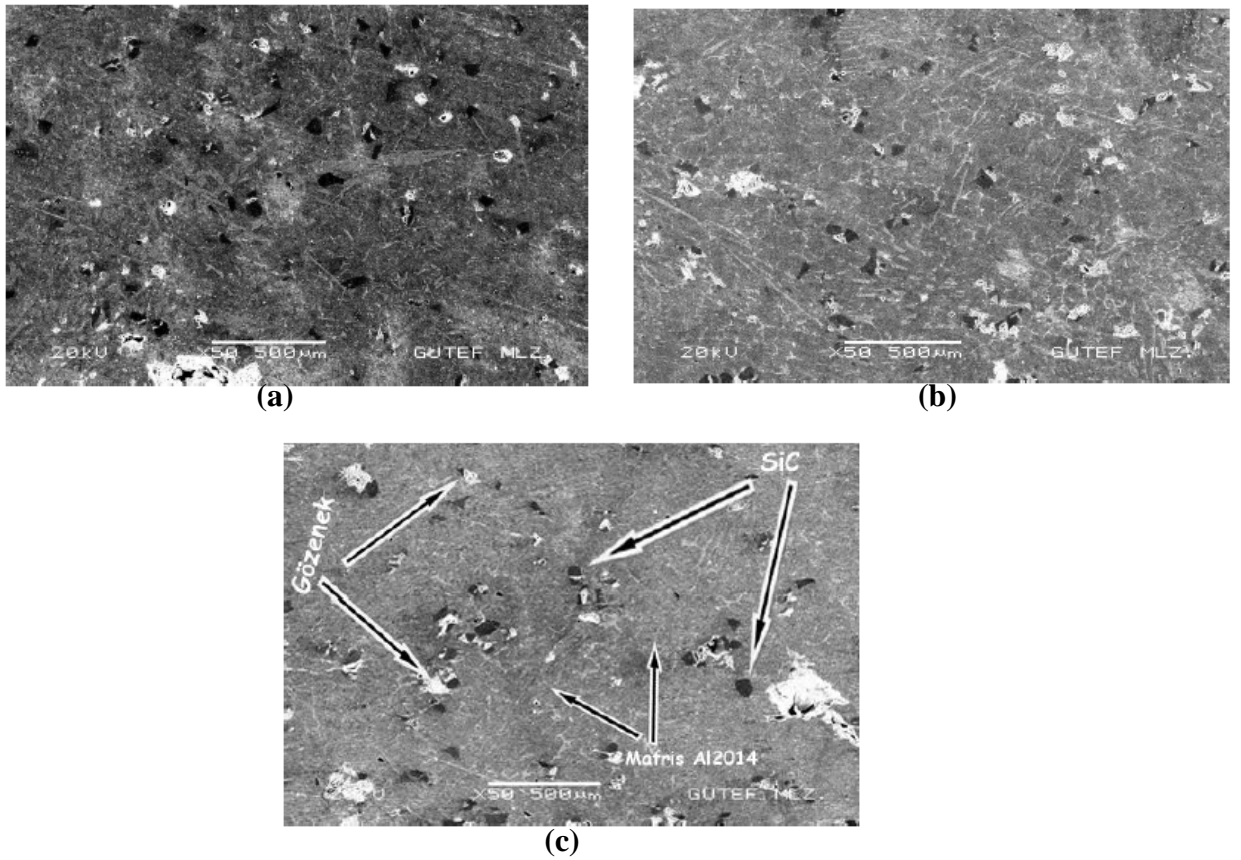
Ölçüm	Kaymalı tip ölçüm
DIN 4772' ye göre toplam sapma	Sınıf 1
Ölçme aralığı/ çözünürlük	$\pm 80 \mu\text{m}/0,01 \mu\text{m}$ $\pm 320 \mu\text{m}/0,04 \mu\text{m}$
Filtre: cut-off boyu λ_c (mm)	0,08; 0,25; 0,8; 2,5; 8,0
Tolerans sınırı	Tüm karakteristik değerler için ayarlanabilir
EN ISO 4287 uygun parametreler	Ra, Rz, Rt, Rmax, Rp, Rpm, Rv, Rq
Birim	μm , $\mu\text{inç}$ (değiştirilebilir)
Ekran	Aydınlatmalı grafik ekran 240x160 nokta
Veri hafıza kapasitesi	999 profil/999 ölçüm (toplamda)
Ölçme programları	5
Arayüzey	Standard-V 24(RS-232), seri
Güç kaynağı	Ni-metal hibrit batarya
Batarya ile ölçme kapasitesi	Yaklaşık 500 ölçüm
Çalışma sıcaklığı	0-50 °C, maksimum %85 nem
Boyutlar (enxboyxyükseklik)	253x193x80 mm
Ağırlık	1600 g
Yazıcı içeriği	Ölçme şartları, tarih, zaman, sonuç parametreler, R profil, Rk profil, istatistikler, cut-off çizgiler.
Dikey büyültme	Maksimum 50000 keze kadar
Yazıcı hızı	30 mm/s
Çözünürlük	8 nokta/mm

5. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Deneyle; kuru kesme şartlarında, 100 m/dak, 125 m/dak, 160 m/dak ve 180 m/dak olmak üzere 4 farklı kesme hızında; 700°C, 750°C ve 800°C sıcaklıklarda karıştırmalı döküm yöntemiyle elde edilen SiC takviyeli kompozit numuneler üzerinde yapılmış ve gözlenen sonuçların yorumlanması; mikroyapı açısından değerlendirme, kesme kuvvetleri açısından değerlendirme ve yüzey pürüzlülüğü açısından değerlendirme olmak üzere 3 başlık altında incelenmiştir.

6.1. Mikroyapı İnceleme Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Kompozit numunelerin mikroyapı incelemesi için çekilen SEM görüntüleri Şekil 6.1'de verilmiştir.



Şekil 6.1 %6 SiC takviyeli kompozit numunelerin, a) 700 °C, b) 750 °C ve

c) 800 °C sıcaklıklardaki mikroyapıları

Örnek olarak alınan %6 takviyeli kompozitin SEM görüntülerinde; artan sıvı matris sıcaklıklarında gözenekliliğin azaldığı görülmektedir. Sıcaklığın artmasıyla sıvı metalin yüzey geriliminin azalarak ıslatma özelliğinin artması bu durumu ortaya çıkarmaktadır. Bu sonucu Çalın, R. ve diğerleri yaptıkları çalışmalarda söylemektedir [2,3].

THO'nun artması kompozit numune içerisindeki sert olan SiC parçacıklarının fazla olmasından dolayı gözenekliliği azaltmaktadır. Dolayısıyla SiC parçacıklarının sertlik değerleri daha büyük olduğundan numunenin sertliği Çizelge 5.6'da görüldüğü gibi artmaktadır. Şekil 6.1'de görüldüğü gibi; gözeneklilik SiC parçacıklarının etrafında oluşmaktadır.

6.2. İşleme Deneylerinin Kesme Kuvvetleri Açısından Değerlendirilmesi

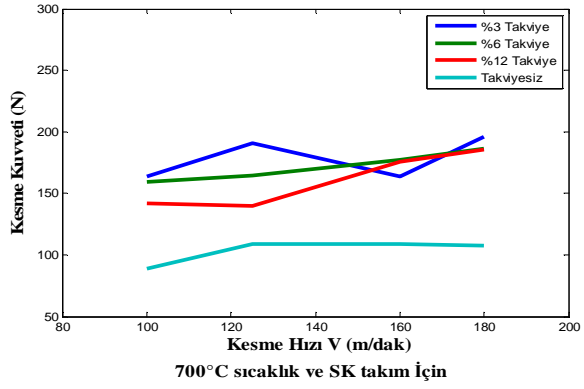
Karıştırmalı döküm yöntemiyle; 3 farklı sıcaklıkta ve 3 farklı takviye hacim oranında elde edilen 9 adet numune BSD tezgahda kesme kuvvetleri alınmak üzere işleme deneylerine tabi tutulmuşlardır. Bunun yanında; sonuçların takviyesiz Al 2014 ile karşılaştırılmasının yapılması için, 700°C ile 750°C sıcaklıklarda aynı yöntem ve aynı şartlarda 2 adet şahit numune elde edilmiş ve bu numunelerde BSD tezgahda yine aynı şartlarda ve kesme hızlarında işleme deneylerine tabi tutulmuşlardır.

Kistler marka dinamometreden alınan kesme kuvvet değerleri excel programına atılarak ortalama kesme kuvvetleri bulunmuştur. Buna göre SK (Sementit Karbür) ve KSK (Kaplama Sementit Karbür) takımlarla ve takviyesiz Al 2014 için alınan sonuçlar Çizelge 6.1' de görüldüğü gibi tablolastırılmıştır. Çizelgede, Takviyesiz 1 olarak belirtilen şahit numune 700°C'deki Al 2014'ü ve Takviyesiz 2 olarak belirtilen şahit numune ise 750°C'de elde edilen malzemeyi temsil etmektedir.

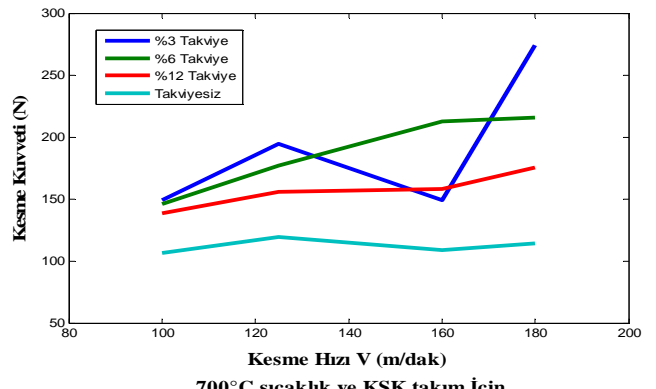
Çizelge 6.1 Elde edilen ortalama kesme kuvveti değerleri

Kesme Kuvvetleri (N)	100 m/dak		125 m/dak		160 m/dak		180 m/dak	
	SK	KSK	SK	KSK	SK	KSK	SK	KSK
Numune 1	155,0411	155,9934	145,3757	157,1649	146,933	153,5074	153,2783	169,8776
Numune 2	156,9065	187,276	155,9909	175,1532	149,6034	178,477	153,1734	185,1717
Numune 3	163,9997	148,5668	190,6965	194,0014	163,606	148,6783	196,0789	274,1102
Numune 4	163,6556	166,996	99,8963	193,2061	192,7906	176,533	198,5581	191,8596
Numune 5	147,6723	170,056	151,1499	160,7554	163,0976	173,7675	166,0923	178,1446
Numune 6	158,9554	145,7381	164,1891	177,1582	177,086	212,5692	186,4618	215,7158
Numune 7	141,9425	138,5373	139,9904	155,5027	175,845	157,9329	185,2261	175,7203
Numune 8	169,4826	156,2679	182,9222	199,0636	199,2734	174,9552	207,8864	200,8067
Numune 9	155,0784	143,9408	156,5911	156,7318	206,158	171,8526	221,7658	229,8697
Takviyesiz 1	88,68359	106,1149	108,5679	119,5254	108,8679	108,934	107,5177	114,0984
Takviyesiz 2	100,2104	116,8798	104,6276	122,135	99,53162	110,6562	95,13701	107,1182

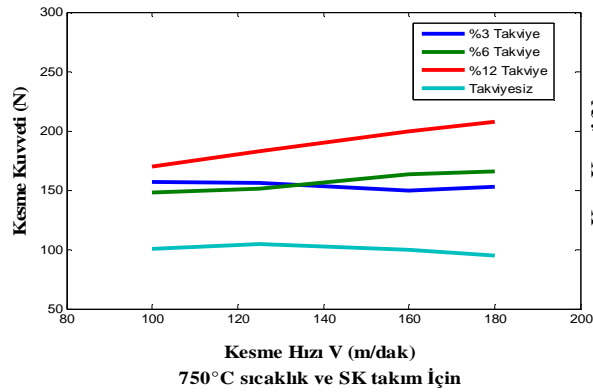
Bu çizelgedeki veriler ışığında, alınan sonuçlar MATLAB programında grafiklere aktarılmıştır. Grafikler oluşturulurken karşılaştırmanın kolay olması açısından sementit karbür (SK) ve kaplamalı sementit karbür (KSK) kesici takımlar için grafikler yanyana yerleştirilmiştir. Ayrıca; yorumların yapılabilmesi için takviye hacim oranlarına ve sıcaklıklara göre grafikler ayrı ayrı oluşturulmuştur. Sıcaklıklara göre kesme kuvveti-kesme hızı ilişkisi Şekil 6.2’de, THO’na göre kesme kuvveti-kesme hızı ilişkisi ise Şekil 6.3’de verilmektedir.



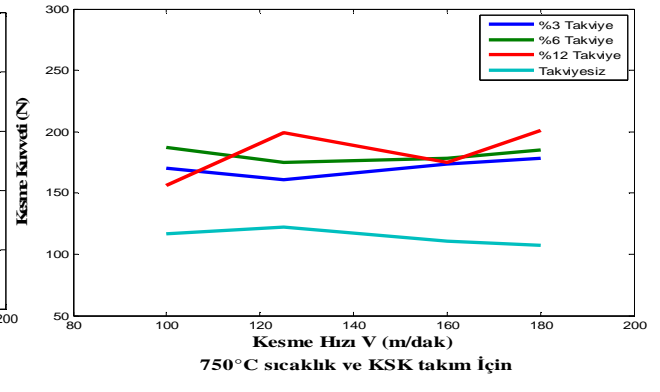
(a)



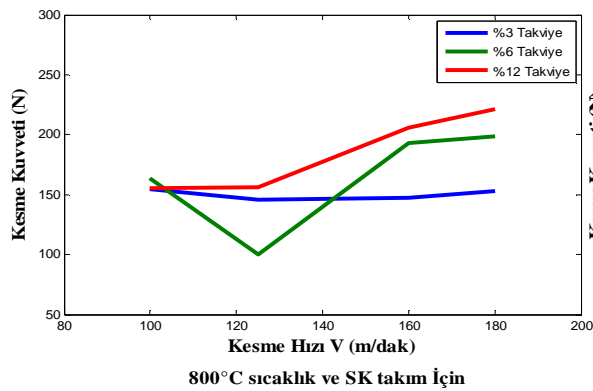
(d)



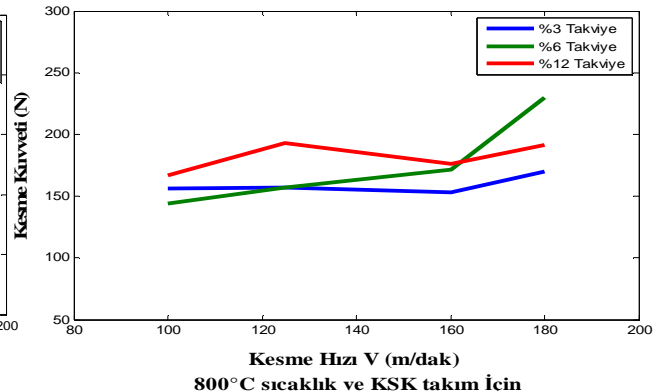
(b)



(e)



(c)



(f)

Şekil 6.2 a)700°C, b)750°C, c) 800°C sıcaklıklar ile SK takıma ve d)700°C, e)750°C, f) 800°C sıcaklıklar ile KSK takıma göre kesme kuvveti-kesme hızı grafikleri

Şekil 6.2 (a), (b) ve (c)'de sementit karbür takıma göre 700°C, 750°C ve 800°C'deki takviye oranlarına göre kesme hızlarına karşılık kesme kuvvetlerinin değişimi görülmektedir. Aynı şekilde karşılarında ise (d), (e) ve (f)'de kaplamalı sementit karbür takıma göre yine aynı 3 sıcaklık için kesme hızlarına karşılık gelen kesme kuvvetleri değişimi görülmektedir. Şekil 6.2 (a)'da %3 takviyeli numunenin değişimi diğer ikisine göre daha yüksek değerlerde çıkmış, ikinci olarak %6 ve üçüncü olarak %12 THO'na sahip numuneler bunu izlemiştir. Bu olay beklenen bir sonuç olarak görülmemektedir. Takviye oranının artması ile kesme kuvvetlerinin artması beklenir. Ancak sert parçacık takviyeli kompozitlerde malzemenin yapısına bağlı olarak farklı sonuçlar gözlenebilir. Dolayısıyla oldukça sert yapıdaki SiC parçacıkları kesme hızındaki artışla beraber kesici takımın daha fazla aşınmasına ve kesme kuvvetlerinin artmasına sebep olabilir. Bunun yanında takviyesiz Al alaşımı için düşük kesme kuvvetlerinin ortaya çıkması beklenen bir sonuçtur ve kesme hızlarına göre çok fazla değişiklik göstermediği görülmektedir. Çünkü Al 2014'ün mukavemeti daha düşüktür ve sert takımlarla düşük kesme kuvvetlerinin çıkması normaldir. Bu durum 700°C ve 750°C'de elde edilen takviyesiz Al 2014'ün hem kaplamasız sementit karbür hem de kaplamalı sementit karbür kesici takımla işlenmesinde görülmektedir (Şekil 6.2 (a),(c), (d) ve (e)).

Şekil 6.2. (b) ve (c)'de; en yüksek THO'na sahip numunede en büyük kesme kuvvetleri, en küçük THO'na sahip numunede ise en düşük kesme kuvvetleri değerleri elde edilmiştir. Bu ise beklenen bir sonuçtur. Takviye malzemesi SiC parçacıkların sertlikleri fazla olduğundan, bu taneciklerin aşındırıcı özelliklerinden dolayı, kesici takımın bu sert parçacıklara rastlamasıyla kesme kuvvetlerinin büyük çıkması normaldir. Literatürde yapılan çalışmalar da bu yöndedir. Örneğin; Günay, M., ve Pul, M., çalışmalarında buna benzer sonuçlar bulmuşlardır [3,76].

Yine Şekil 6.2 (b) ve (c)'de grafiklere bakıldığında, kesme hızının artmasıyla kesme kuvvetlerinin düşmesi beklenirken burada farklı olarak artmalar gözlenmektedir. Talaşlı imalatta çok normal olmayan hızlara çıktığında böyle durumlara rastlanmaktadır. Kesme hızı arttıkça kesme bölgesindeki ısı enerjisi yükselir ve ısının tamamına yakın kısmı kesmeye harcanır. Bu da deformasyonun kolaylaşmasına sebebiyet verir. Dolayısıyla, talaş kaldırma işlemi de bir plastik deformasyon işlemi

olduğundan, kesme bölgesindeki sıcaklığın yükselmesi deformasyonu kolaylaştırarak kesme kuvvetlerinin düşmesine sebep olur. Şekil 6.2 (c)'deki 125 m/dak hızdaki düşme hariç genelde yükselme görülmektedir. Aslında bu da normal bir sonuç sayılabilir. Çünkü; çok sünek bir matrise sahip malzeme içerisine aşırı sert parçacıkların katılması ve kesici takımın sert parçacıklarla karşılaşma sıklığı ve onları kesmeye zorlama sıklığı bu gibi sonuçları doğurmaktadır.

Şekil 6.2 (a)'daki grafiklere geri dönüldüğünde, bu sonuç homojen olmayan dağılımlı mikroyapıya atfedilebilir. Kesici takım büyük bir olasılıkla sert parçacıklara rast gelmemiş olabilir. Buradan, bu sapmaların deney esnasında kesici takımın sert parçacıklarla karşılaşma sıklığının diğerleri kadar olmadığını göstermektedir. Genel olarak bu gibi sert parçacıklarla karşılaşma sıklığının homojen dağılımlı mikroyapıya sahip kompozitlere benzer olduğu durumlarda, kesme kuvvetleri kesme hızının artmasıyla düşme eğilimi gösterirler. Manna ve Bhattacharayya (2003) yaptıkları bir çalışmada bu sonucu gözlemlemişlerdir. Manna ve Bhattacharayya, Al/SiC MMK'ler üzerinde işlenebilirliği araştırdıkları çalışmalarında işleme parametreleri olarak kesme hızı, ilerleme, kesme derinliğini ele almışlar ve bu parametrelerin kesme kuvvetleri üzerine etkilerini araştırmışlardır. Kesme hızlarını 20 m/dak ile 225 m/dak aralığında seçmişler ve kesme hızının artmasıyla kesme kuvvetlerinde düşme olduğunu gözlemlemişlerdir [73].

Yine, Kumar et al (2013); In-situ yöntemiyle Al-4.5%Cu/TiC metal matris kompozitleri elde etmişler ve işleme parametrelerinin kesme kuvvetine ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerini araştırmışlardır. Kesme hızlarını 40 m/dak ile 120 m/dak aralığında almışlar ve en büyük düşmelerin 120 m/dak hızda olduğunu gözlemlemişlerdir [68].

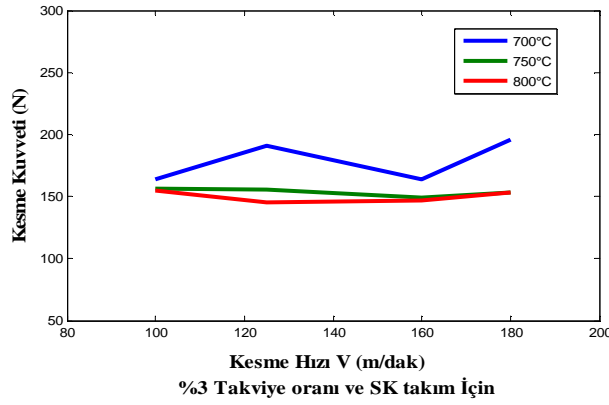
Buradaki grafiklerde, yine artan sıcaklıkla beraber takviyenin yapı içerisine daha kolay yayıldığı bilindiğinden, 700°C'nin yetersiz kaldığı ve topaklanmaların gözlemlendiği söylenebilir. Dolayısıyla kesici takım bu topaklanma bölgelerindeki sert parçacıklara çarparak kesme kuvvetlerinin artmasına sebep olabilir.

Düşük sıcaklıklar, malzemelerde sıvı matrisin yüzey gerilimini düşürmek suretiyle parçacıklar arasında oluşan bağı kolaylaştırdığından %12 THO'nda daha kolay kesme görülmektedir. 700°C'de homojen bir yapı elde etmek için yeterli sıcaklık olmadığından düzensizlikler artmıştır. Yine bu sıcaklıkta parçacıklarla sıvı matris arasındaki bağ zayıfladığından talaş kaldırma işlemi kolaylaşmıştır. Dolayısıyla %12 THO'nda beklenenin aksine kesme kuvvetinin düşük çıkmasının sebebinin bu olduğu düşünülmektedir. Bunların yanında yapının homojen olmaması, parçacıkların belli bir bölgede toplanması (bu toplanmanın sebebi sıvı metalin viskozitesinin daha yüksek olması yani karışmaya karşı gösterdiği direnç) böyle düzensiz sonuçların ortaya çıkmasına sebebiyet verip kompozit numunelerin beklenen sonuçları vermemesine de neden olabilmektedir. Artan sıcaklıklar bu direnci düşürmekte, daha uygun, düzenli ve beklenen sonuçların alınmasına katkı sağlamaktadır.

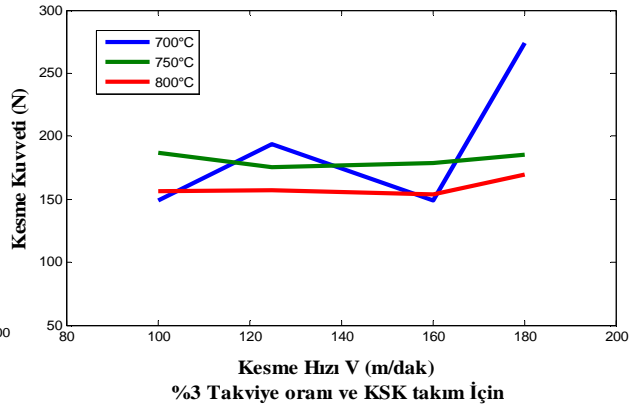
Grafiklere KSK kesici takım tarafından bakıldığında (Şekil 6.2 d, e, f); hızlara bağlı olarak yer yer kesme kuvvetlerinde düşme gözlenmekle beraber bu düşmenin kayda değer olmadığı görülmektedir. Uygun sıcaklık ve kesme hızında, kaplama malzemesinin sert yapısı kompozitin işlenmesinde olumlu etki yaparak kesme kuvvetlerinin düşmesine sebep olmaktadır. Nitekim; Camuşcu (2006), düğümlü dökme demirin tornalanmasında Al_2O_3 esaslı seramik takımların performansının kesme hızına etkilerini araştırmış ve 1 kaplamalı ile 2 kaplamasız takım kullanmış, kaplamalı takımın kesme kuvvetlerini düşüren sonuçlarını ortaya koymuştur [74]. Fakat yine de uygun olmayan sıcaklıklar ve kesme hızları, kompozitin yapısına da bağlı olarak, bu sonucu her zaman desteklememektedir.

Şekil 6.2 (d), (e) ve (f)'ye bakıldığında; kaplama malzemesinin kesme kuvvetleri üzerinde çok etkili olmadığı görülmektedir. Buradan kaplamalı kesici takım yerine kaplamasız kesici takımın kullanılmasının çok yanlış olmayacağı sonucu çıkarılabilir. Çünkü sert parçacıklar büyük bir olasılıkla kolaylıkla kaplamanın sıyrılmasına sebep olmuştur. Literatürde buna benzer çalışmalara rastlanmıştır. Örneğin; Pul, M., çalışmasında kesici takım olarak sementit karbür ve kübik bor nitrid takımlarla çalışmış ve en iyi sonuçları kaplamasız sementit karbür kesici takımlardan almıştır [2].

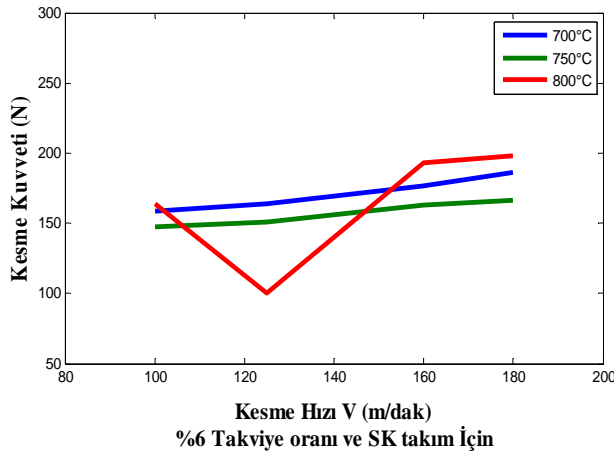
Genel olarak kesici takım açısından bir değerlendirme yapıldığında aralarında büyük farklılıklar görülmemektedir. Bu tip kompozit malzemelerde kaplamanın önemli avantajlar sağladığını söylemek güçtür. Bunun sebebi büyük olasılıkla, sert parçacıkların aşındırıcı özellikleri sebebiyle takımın kaplama malzemesini kolayca sıyırmasına atfedilebilir.



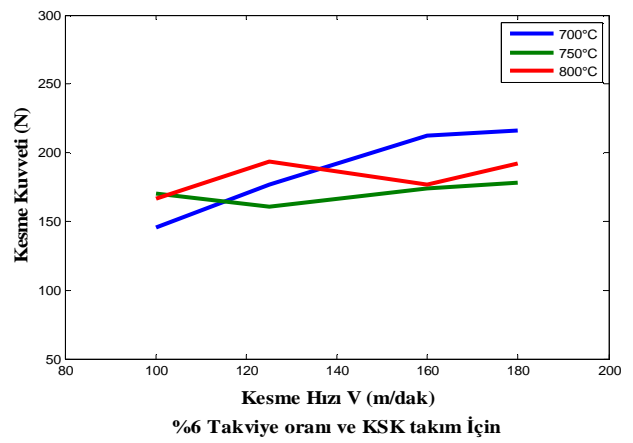
(a)



(d)

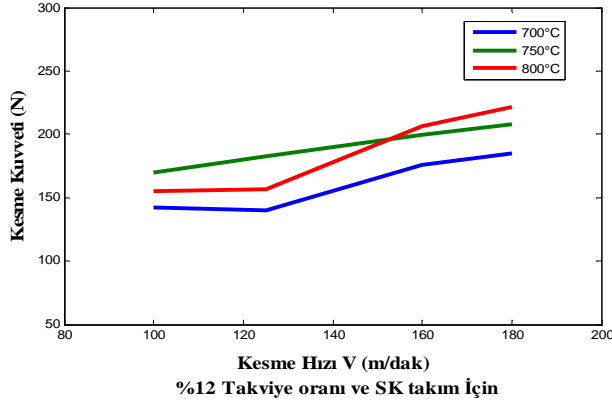


(b)

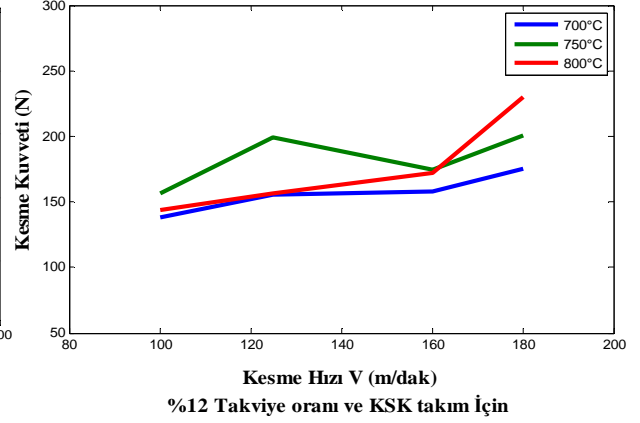


(e)

Şekil 6.3 a) %3, b)%6 ve c)%12 takviye oranları ile SK takıma ve d) %3, e)%6 ve f)%12 takviye oranları ile KSK takıma göre kesme kuvveti-kesme hızı grafikleri



(c)



(f)

Şekil 6.3 (Devam)

Şekil 6.3 (a), (b), (c)'deki grafikler SK kesici takımla, farklı THO'nda sıcaklıklara göre kesme kuvveti-kesme hızı değişimini; Şekil 6.3 (d), (e) ve (f) ise KSK kesici takımla, farklı THO'nda sıcaklıklara göre kesme kuvveti-kesme hızı değişimini vermektedir. Hem kaplamalı hem de kaplamasız takımlar için tüm THO'nda en düzgün dağılımın 750°C'de elde edildiği görülmektedir. Sıcaklığın malzemenin iç yapısındaki sertliği düşürüp kesmeyi kolaylaştırdığı anlaşılmaktadır. Fakat yine de kesme hızlarına göre farklı sonuçlar görülebilmektedir. Daha evvel belirtilen sebepler burada da tekrar edilebilir. Kompozit malzemelerin yapısal düzensizlikleri ve gözenekliliğinin normal dağılıma sahip olmaması kompozit malzemelerde bu tarz sonuçlar ortaya çıkarmaktadır [Çizelge 5.6]. Kompozit elde edilirken iç yapının homojen olması için karıştırma sürelerinin ve sıcaklıkların optimize edilmesi ve önemi de buradan kaynaklanmaktadır. Karıştırmalı döküm yönteminin sınırlamalarından bir tanesi de, takviye hacim oranıdır. Bu imalat yönteminde yüksek THO'ları homojen olmayan kompozitlerin oluşmasına sebep olmaktadır. Yüksek takviye oranlarında karıştırmalı döküm yöntemi uygun sonuçlar vermediği Çalın, R., çalışmasında bahsetmektedir [2].

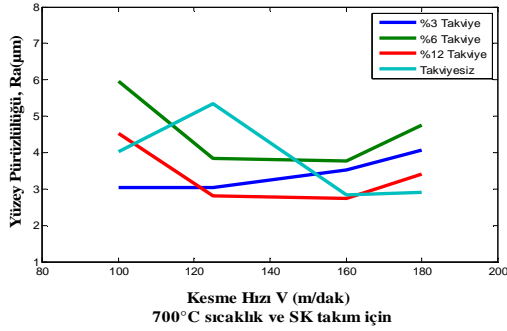
6.3.İşleme Deneylerinin Yüzey Pürüzlülüğü Açısından Değerlendirilmesi

Kompozit numuneler için pürüzlülük değerlerinin ölçüldüğü Hommel T1000 Tester marka yüzey pürüzlülüğü cihazında; Rz, Ra ve Rt pürüzlülük değerleri ölçülebilmemesine rağmen endüstriyel uygulamalardaki yaygın kullanımını sebebiyle sadece Ra ortalama yüzey pürüzlülük değeri kullanılmıştır. Yine 2 adet takviyesiz şahit Al 2014 numune için ortalama yüzey pürüzlülük değerleri bulunup Çizelge 6.2’de verilmiştir.

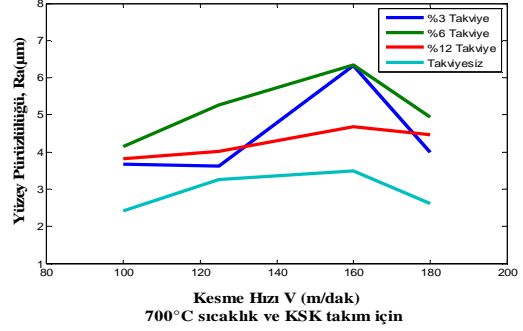
Çizelge 6.2 SK ve KSK takımlarla elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri

Ortalama pürüzlülük değeri, Ra (µm)	100 m/dak		125 m/dak		160 m/dak		180 m/dak	
	SK	KSK	SK	KSK	SK	KSK	SK	KSK
Numune 1	2,894	2,683	3,289	3,091	3,434	2,789	2,900	2,760
Numune 2	1,924	2,123	1,952	1,905	2,251	2,162	1,918	2,475
Numune 3	3,035	3,674	3,048	3,623	3,515	6,324	4,076	4,003
Numune 4	2,670	4,484	2,738	3,579	2,126	4,839	3,018	3,765
Numune 5	2,749	3,316	2,916	2,959	2,947	3,115	3,081	2,995
Numune 6	5,953	4,153	3,843	5,265	3,776	6,345	4,742	4,934
Numune 7	4,513	3,825	2,811	4,021	2,741	4,683	3,414	4,465
Numune 8	3,454	5,042	1,557	4,462	3,507	4,060	3,590	3,943
Numune 9	4,482	4,552	3,617	3,261	2,747	4,804	4,157	3,391
Takviyesiz 1	4,022	2,425	5,354	3,266	2,842	3,485	2,906	2,611
Takviyesiz 2	6,371	4,269	6,157	2,768	3,537	2,569	6,366	2,446

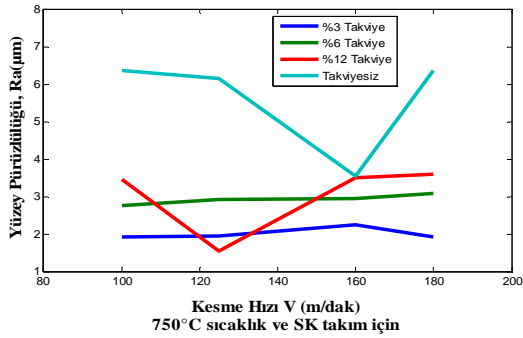
Bu veriler, Matlab programı kullanılarak grafiklere aktarılmış olup; sıcaklıklara ve THO'na göre ayrı ayrı düzenlenmiştir. Kesme kuvvetlerinin yorumlanmasında olduğu gibi SK ve KSK kesici takımların sonuçları yanyana verilerek karşılaştırmanın yapılabilmesi sağlanmıştır. Buna göre; Şekil 6.4'de yüzey pürüzlülüğü-kesme hızı grafikleri sıcaklıklara ve kesici takım çeşidine göre, Şekil 6.5'de ise yüzey pürüzlülüğü-kesme hızı grafikleri THO'na ve kesici takım çeşidine göre verilmiştir.



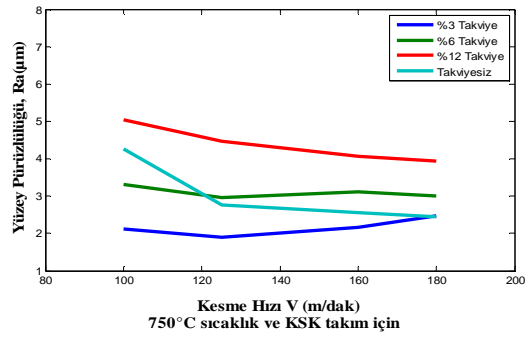
(a)



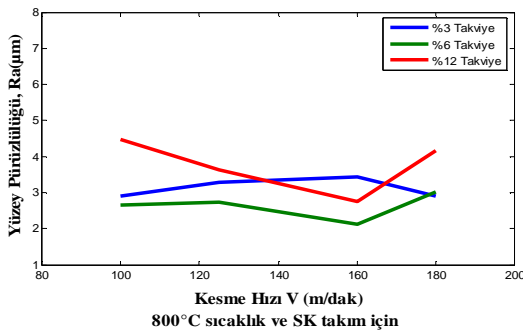
(d)



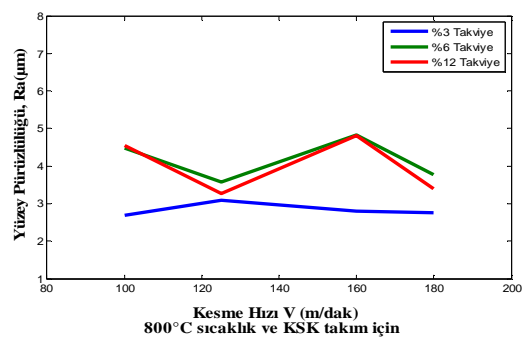
(b)



(e)

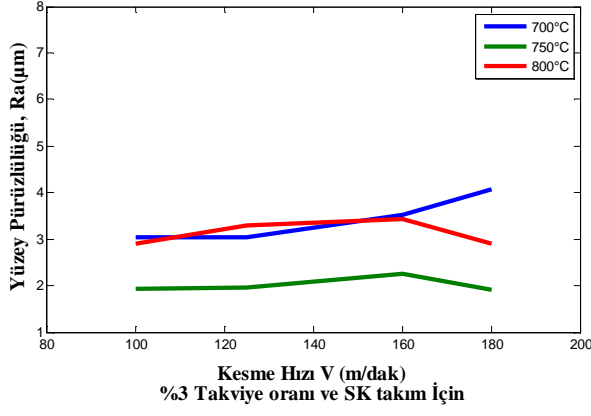


(c)

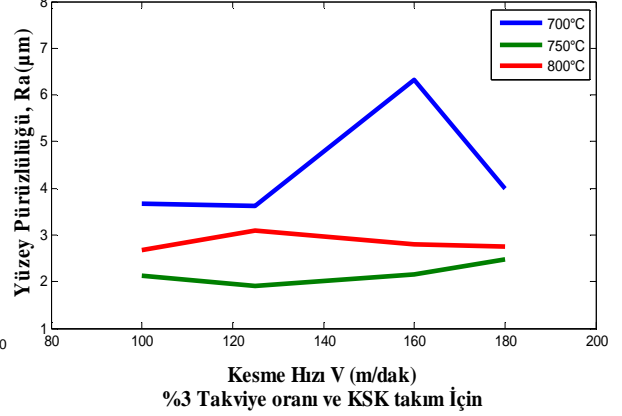


(f)

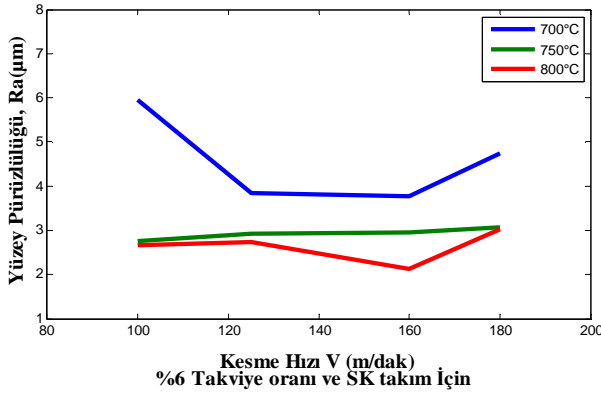
Şekil 6.4 a)700°C, b)750°C ve c)800°C sıcaklıklar ve SK takım ile d)700°C, e)750°C ve f)800°C sıcaklıklar ve KSK takım göre yüzey pürüzlülüğü – kesme hızı grafikleri



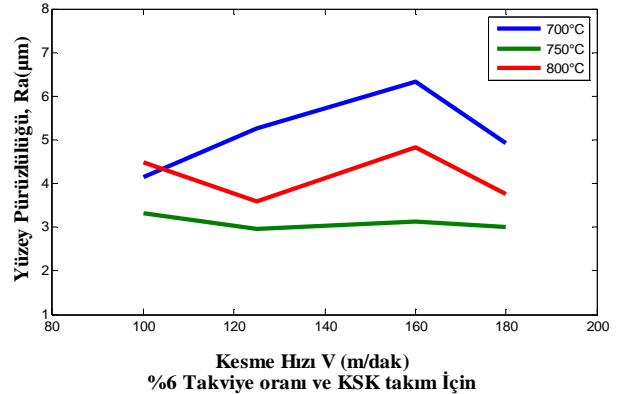
(a)



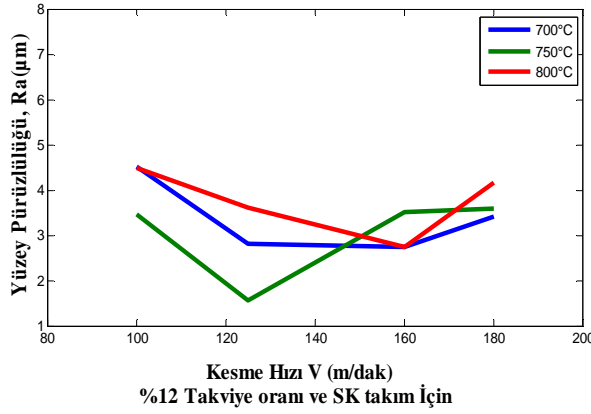
(d)



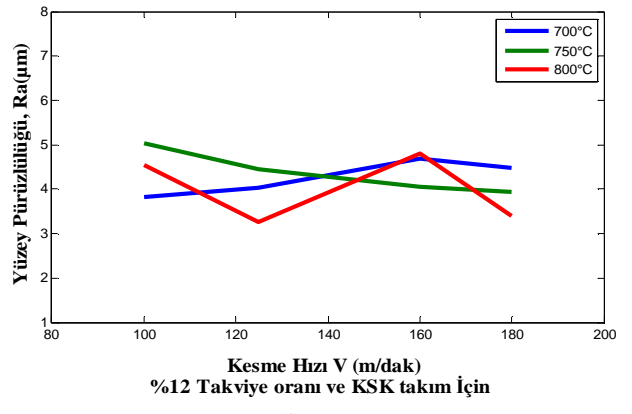
(b)



(e)



(c)



(f)

Şekil 6.5 a)%3, b)%6 ve c)%12 takviye oranları ve SK takım ile d)%3, e)%6 ve f) %12 sıcaklıkları ve KSK takım göre yüzey pürüzlülüğü -kesme hızı grafikleri

Şekil 6.4 (a), (b) ve (c) SK kesici takımlarda sıcaklığa göre kesme hızı yüzey pürüzlülüğü ilişkisini göstermektedir. Şekil 6.4 (d), (e), (f)'de ise KSK kesici takım ile alınan sonuçlar verilmiştir. Takviyesiz şahit Al2014 numuneler için bulunan değerler ise (a), (b), (d) ve (e)'ye yerleştirilerek karşılaştırma sağlanmıştır.

Kompozit malzemelerde genel olarak çok düzgün bir yüzey pürüzlülüğü elde etmek oldukça zordur. Yapının düzensiz olması parçacıkların kopmayıp yüzeyde saplanmasına sebep olmaktadır. Sert parçacıklar kesilmeyip takımı atlayarak değerlerin farklı okunmasına neden olabilir. Alüminyum matris malzemesinin yüzey pürüzlülüğü ile SiC parçacıklarının yüzey pürüzlülüğü farklı olacağından yüzey pürüzlülüğü okuyan düzeneğin iğnesini atlama eğiliminde olacaktır. Bu yüzden yüzey pürüzlülüklerinin dalgalı çıkması çok beklenen bir sonuçtur. Matris malzemesi Al2014'ün son derece sünek olması sıvanmada yaratacağı düzensizlikler de bu dalgalanmalara sebep olacaktır. Grafıklere bakıldığında 800°C'de %3 THO'nda en iyi yüzey pürüzlülüğü görülmektedir (Şekil 6.4 c).

Genel olarak kesme hızının artması yüzey pürüzlülüğüne olumlu etki yapar bu beklenen bir sonuçtur. Kesme hızının artması yüzey kalitesini iyileştirir. Uygun kesme hızlarında pürüzlülük en düşük seviyede çıkar. Örneğin; Manna ve arkadaşları (2002); Al/SiC metal matrisli kompozitlerin işlenmesi esnasında farklı takım sistemleri üzerine yaptıkları bir çalışmada, kesme hızlarının yüzey pürüzlülüğüne etkilerini de araştırmışlar ve 40 m/dak ile 225 m/dak arasında 5 kesme hızı belirleyerek ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişmeyi incelemişlerdir. Sonuç olarak 100 ve 150 m/dak hızlarda en düşük değerlere ulaşmışlardır [78].

Yine, Palanikumar ve Karthikeyan (2007) beraber yaptıkları bir çalışmada, Al/SiC parçacıklı kompozitlerin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörleri değerlendirmişler ve çalışmalarında tugsten karbür takım kullanarak farklı SiC takviye oranlarında kesme hızını, ilerleme miktarını ve kesme derinliğini esas alarak sonuçları incelemişlerdir. Sonuçta; kesme hızının ve SiC takviye oranının artışına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünde düşme gözlemlemişlerdir [79].

Takviyesiz şahit Al2014 numune için verilen grafıklere bakıldığında yine düzensizlikler görülmektedir. En uygun ve düzenli sonuçlar, hem kaplamalı hem de

kaplamasız takım için, 750°C'de görülmektedir (Şekil 6.4 b,e). Yüzey pürüzlülüğü açısından dalgalanmaların olması; sert fazın miktarı, dağılımı, parçacık büyüklüğü ve gözenekli yapıdan kaynaklanmaktadır. Kaplama malzemesi nispeten yüzey kalitesini olumlu etkilemiştir. Yüzey pürüzlülüğü açısından değerlendirme yapıldığında THO'nın ve sıcaklığın iyi seçilmesi gerekliliği gözlenmektedir.

Şekil 6.5'deki grafiklerde ise; THO'na göre yüzey pürüzlülüğü-kesme hızı ilişkisi verilmiştir. Şekil 6.5 (a)'da, 700°C ve 800°C 'de elde edilen numunelerdeki pürüzlülük değerleri, her kesme hızı için paralellik göstermekte, sadece 180 m/dak kesme hızında değişmektedir. 750°C'deki numunelerde en düşük yüzey pürüzlülük değerleri alınmıştır.

Şekil 6.5 (b)'de, 700 °C'deki numunenin değerlerinde sapmalar gözlenmektedir. En düşük değerler 125 m/dak ile 160 m/dak kesme hızlarında alınmıştır.

KSK takımlara göre yüzey pürüzlülüğü değerlendirildiğinde (Şekil 6.5 d, e, f); 750°C sıcaklıkta yaklaşık tüm kesme hızlarında kararlı bir değişme gözlenmekte, pürüzlülük değerleri fazla değişmemektedir. Ancak 100 m/dak için pürüzlülük diğerlerine göre fazladır.

Burada kesici ucun, takviye elemanı olan silisyum karbür parçacıkları teması ve kompozit yapı içerisindeki gözenekli bölgelere rast gelmesi söz konusu olabilir. Kompozitlerin değişken yapıları ve içeriği ve özellikle takviye elemanının yapıya homojen dağıtılamaması gibi faktörlerin etkili olduğu unutulmamalıdır.

Genel bir değerlendirme yapılması durumunda; 125 ve 160 m/dak kesme hızları yüzey pürüzlülüğü açısından sonuçların paralellik gösterdiği yüzey pürüzlülüğü değerlerinin azaldığı hız aralığı olduğu görülmektedir. Sıcaklık olarak da 750°C sıcaklığın diğer sıcaklıklara göre daha uygun olduğu gözlenmiştir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan çalışma ile kompozit malzemelerin üretimi sağlanmış ve üzerinde işlenebilme ve yüzey kalitesi incelenmesi yapılabilmektedir. Çalışma konusu olan kesme kuvvetleri analizi ve yüzey pürüzlülüğü sonuçları aşağıdaki gibi irdelenebilir:

-Sıvı matris sıcaklığının artışıyla, kompozit numunelerde gözeneklilik azalmıştır. Sıcaklık artışı, sıvı metalin yüzey gerilimini azaltarak ıslatma özelliğini artırmıştır. Ayrıca, yüzey gerilimi azaldığından, matrisle takviye ara yüzeyinin sıvı matris tarafından iyi ıslatılması söz konusu olmuştur.

-Kesme kuvvetlerindeki düşme; düşük kesme hızlarında olmakta bu aralıkların dışında artmaktadır. Takviye hacim oranının artması kesme kuvvetini artırmaktadır. Sıcaklıkların artması kesme kuvvetini düşürmektedir. Bazı durumlarda kompozitin dağılımının homojen olmaması bu sonuçları etkilemektedir.

-En iyi sonuçlar %6 takviye hacim oranında ve 750°C sıcaklıkta alınmıştır. Düşük kesme hızları bu tür kompozit malzemeler için uygun değildir Karıştırmalı döküm yöntemi çok yüksek sıcaklıklarda olumsuz sonuçlar vermektedir.

-Silisyum karbür oranının artmasıyla, homojen dağılım iyileşmiş, ancak, matris malzemesi Al ile SiC takviye elemanı ara yüzeyinde bazı bölgelerde boşluklar oluşmuştur. Kompozit yapı içerisindeki boşlukları azaltmak amacıyla, 500 rpm olan karıştırma hızı, 4 dakikalık karıştırma süresi ve 700 °C olan sıvı metal sıcaklığı artırılabilir.

-Artan kesme hızıyla beraber ortalama yüzey pürüzlülüğü azalmıştır. Hem SK hem de KSK kesici takım için, en yüksek yüzey pürüzlülüğü değerleri 100 m/dak kesme hızlarında meydana gelmiştir.

-SK takımlarda, kesme hızının belli bir sınıra kadar artırılması yüzey kalitesi açısından olumlu olurken, daha fazla artırılması yüzey kalitesinde tekrar

kötüleşmeye sebep olmuştur. Bu durum özellikle 180 m/dak kesme hızlarında ortaya çıkmıştır.

-KSK takımlardaki yüzey kaplaması sebebiyle seçilen kesme hızı değerleri düşük kalmıştır. Bu takımlarda daha yüksek kesme hızı değerlerinde çalışılmalıdır.

-Takviye hacim oranına göre; en yüksek yüzey pürüzlülüğü değerleri %3 SiC takviyeli kompozitlerde meydana gelmiştir. Bu durum, kompozit yapı içerisindeki sert fazın miktarına, dağılımına, parçacık büyüklüğüne ve gözenek miktarına bağlı olduğu söylenebilir.

Bu değerlendirmeler ışığında bu konu etrafında çalışacak kişilerin parametreleri değiştirilerek değişik sonuçlar olup olmadığına bakmaları ve değişik sonuçların ortaya çıkmasına çalışmaları önerilebilir. Örneğin; sıcaklık parametreleri değiştirilebilir. Veya karıştırma süresi azaltılıp arttırılabilir. Takviye hacim oranlarında değişiklik yapılabilir. Son olarak aynı parametreler üzerinde olsa bile üretim metotları geliştirilebilir. Böylece optimum özelliklere sahip kompozitler üretilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] William, F.Smith,. “Principles of Material Science and Engineering”. Mc. Graw Hill,1986
- [2] Çalın, R., “Magnezya Parçacık Takviyeli Al Matrisli Kompozitin Vakum İnfiltasyon Yöntemi ile Üretilmesi ve Özelliklerinin İncelenmesi”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara (2006)
- [3] Pul, M., “Al Matrisli MgO Takviyeli Kompozitlerin İnfiltasyon Yöntemi ile Üretilmesi ve İşlenebilirliğinin Değerlendirilmesi”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara (2010)
- [4] Başcı, Ü.G., “Al₂O₃ Partikül Takviyeli Al-Cu Esaslı Metal Matrisli Kompozit Malzeme Üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (1999)
- [5] Tosun, G., “Al/SiC kompozitinin İşlenmesinde Matris Özelliklerinin İşleme Şartlarına Etkisinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ (2002)
- [6] Sümer, M., “Mekanik Alaşımlandırma ile Üretilen Fe-Fe₃C Kompozit Malzemede Mekanik Özelliklerin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara (2003)
- [7] Bilen, M., “MgAl₂O₄/Al Kompozit Malzeme Üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara (2003)
- [8] Çiftçi, İ., “Alüminyum Esaslı Kompozitlerde Takviye Oranı ve Boyutunun Mekanik Özellikler ve İşlenebilirlik Üzerine Etkisinin Araştırılması”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara (2003)

- [9] Tekmen, Ç., “Metal Matrisli Kompozitlerin Sıkıştırma Döküm Yöntemi ile Üretimi”, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir(2006)
- [10] Özçelik, Ö., “In-Situ Alümina Partikül Takviyeli Alüminyum Matrisli Kompozitlerin Üretim ve Karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (2007)
- [11] Kumdalı, F.,”Alüminyum Matrisli B4C Takviyeli Kompozitlerin Toz Metalürjisi Yöntemi ile Üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (2008)
- [12] Akçay, C.E., “Alümina Takviyeli Alüminyum Esaslı Kompozitlerin Frezelenmesinde Kesme Parametrelerinin İşleme Performansına Etkisi” ,Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara (2008)
- [13] Toprak, O., “AlMg3/SiCp Kompozitlerinin Basma Dayanımı Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne (2010)
- [14] Bağdatlı, G., “Akım Sinterleme ile MMK Malzeme Üretimi ve Özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli (2010)
- [15] Savaş, Ö., “Alüminyum Esaslı In-Situ Borür Takviyeli Kompozitlerin Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi”, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli (2010)
- [16] Ertok, Ş., “Alüminyum Matrisli Al2O3 Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Mekanik Alaşımlama Yöntemi ile Üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon (2011)

- [17] Erturun, V., “Karşıt Ekstrüzyon İşleminin Al Esaslı Seramik Takviyeli Kompozitlerin İçyapı ve Mekanik Özelliklere Etkilerinin Araştırılması”, Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri (2012)
- [18] Topuz, A., “Döküm ve Toz Metalürjisi Yöntemleri ile Üretilen AA2014-Al4C3 Metal Matrisli Kompozitlerin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara (2012)
- [19] Güler, C., “Alüminyum Matrisli SiC Takviyeli Kompozit Malzemenin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne (2012)
- [20] Tezcan, S., “Vortex Metodu ile Üretilen Bor Karbür Partikül Takviyeli Alüminyum Kompozitlerin TIG Kaynak Kabiliyeti ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir (2012)
- [21] Deniz, S., “Al203 Takviyeli Alüminyum Matrisli Kompozit Üretimi, Mekanik ve Fiziksel Özellikleri ile Mikroyapı Karakterizasyonu”, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (2000)
- [22] Koçer, T., “Basınçlı İnfiltrasyon Yöntemiyle Üretilen Al203 ve SiC Partikül Takviyeli Al-Mg Matrisli Kompozitlerin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (2002)
- [23] Kılıçkap, E., “AlSi7Mg2/SiCp Metal Matrisli Kompozitlerin Talaşlı İşlenmesinin Araştırılması”, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ (2003)
- [24] Akın, G., “Toz Metalürjisi Yöntemiyle Alüminyum Matrisli Bor Karbür Takviyeli Kompozitlerin Üretilmesi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”,

Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (2006)

- [25] Özkan, S., “Alüminyum Matrisli SiC Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Mekanik Alaşımlama Yöntemiyle Üretimi ve Kuru Aşınma Davranışlarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara (2007)
- [26] Önal, M., “Al₂O₃ ve TiC İçeren Alüminyum Metal Matrisli Kompozitlerin Üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum (2010)
- [27] Özarıslan, B.S., “Alüminyum Esaslı SiC Partikül Takviyeli MMK Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri (2004)
- [28] Çalıgözü, U., Dikbaşı, H., Taşkın, M., “Sıcak Presleme Yöntemiyle İmal Edilmiş SiCp Takviyeli Alüminyum Esaslı Kompozitlerin Difüzyon Kaynağında Sürenin Birleşme Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi”, Fırat Üniversitesi Fen ve Müh. Dergisi, 18(3),437-443,2006
- [29] Zadeh, M.H., Mirzaee, O., Saidi, P., “Structural and mechanical characterization of Al-based composite reinforced with heat treated Al₂O₃ particles”, Material and Design, Vol.54, February 2013, pages 245-250.
- [30] El-Gallab, M., Sklad, M., “Machining of Al/SiC particulate metal matrix composites: Part I: Tool performance”, Journal of Materials Processing Technology, Vol.83, Issues 1-3, 1 November 1998, Pages 151-158.
- [31] Lin, J.T., Bhattacharyya, D., Lane, C., “Machinability of a silicon carbide reinforced aluminium metal matrix composite”, Wear, 10th International Conference on Wear of Materials, Vol. 181-183, Part2, March 1995, Pages 883-888.

- [32] Müller, F., Monaghan, J., “Non-conventional machining of particle reinforced metal matrix composite”, International Journal of Tools and Manufacture, Vol.40, Issue 9, July 2000, Pages 1351-1366.
- [33] Davim, J.P., “Design of optimisation of cutting parameters for turning metal matrix composites based on the orthogonal arrays”, Journal of Materials Processing Technology, 132 (2003) 340-344.
- [34] Ahlatci, H. , Koçer, T. , Candan, E. And Çimenoğlu, H. , “Wear behaviour of Al / (Al₂O_{3p}+SiC_p) hybrid composites, Tribology International, 39 (3), 213-220 (2006)
- [35] Ünal, O. Yapı Malzemesi ders notları, Afyon Kocatepe Üniversitesi, 2010
- [36] Anonim, <http://cdn.intechopen.com/pdfs/15091/InTech-Properties> and applications of ceramic composites containing silicon carbide whiskers.pdf (erişim tarihi: 20.09.2013)
- [37] Güven, Ş.Y., Kompozit Malzemeler ve Kullanım Alanları, İsparta Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İsparta, 1990
- [38] Arıcasoy, O.,”Kompozit Sektöe Raporu”,İstanbul Ticaret Odası, aralık 2006
- [39] Şahin, Y., Kompozit Malzemelere Giriş. Seçkin Yayıncılık,Ankara,2006
- [40] Armatlı, K.M., “Havacılık Kompozitleri ve Mukavemet Maliyet Analizleri”, Anadolu Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksekokulu, Eskişehir,1999
- [41] Anonim, <http://www.euroaviasevilla.es/composites> (erişim tarihi:15.08.2013)
- [42] Eker, A.A., Plastik Matrisli Kompozitler ders notları, Yıldız Teknik Üniversitesi,2009

- [43] Okay, O., “Polimerik Malzemelerin Bugünü ve Yarını”, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü, Maslak, İstanbul
- [44] Eker, A.A., Seramik Matrisli Kompozitler ders notları, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2009
- [45] Eker, A.A., Metal Matrisli Kompozitler ders notları, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2009
- [46] Degischer, H.P. Innovative Light Metals: Metal Matrix Composites and Foamed Aluminium. *Materials & Design*, Vol.18, Nos.4rd, pp.221-226, 1997
- [47] Callister, Jr, William, D. *Material Science and Engineering*. Wiley and Sons publishing, 7th Ed.
- [48] Calliöglu, H., Ozdemir, I., Gode, C. Effects of cold pressing and extrusion on the microstructures and mechanical properties of SiC and B4C reinforced Al-Mg alloys. *Scientific Research and Essays* Vol.6(6), pp.1371-1399, 18 March, 2011, ISSN 1992-2248 © 2011 Academic Journals.
- [49] Kopeliovich, D., <http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php> ,(erişim tarihi: 04.09.2013).
- [50] Kim, H.H., Babu, J.S.S., Kang, C.G., Fabrication of A356 aluminum alloy matrix composite with CNTs/Al₂O₃ hybrid reinforcements. *Materials Science and Engineering: A*, Volume 573, 20 June 2013, pages 92-99.
- [51] Anonim, [http://meen282.et.byu.edu/sites/meen282.et.byu.edu/files/PPT/17-MetalPowders files/frame.htm#slide0020.htm](http://meen282.et.byu.edu/sites/meen282.et.byu.edu/files/PPT/17-MetalPowders%20files/frame.htm#slide0020.htm) (erişim tarihi: 20.07.2013)
- [52] Ramu, G., Bauri, R., Effect of equal channel angular pressing (ECAP) on microstructure and properties of Al-SiC_p composites. *ScienceDirect, journal*. Volume 30, Issue 9, October 2009, pages 3554-3559.

- [53] Haga, T., Kapranos, P., Simple rheocasting processes. Journal of Materials Processing Technology, Volumes 130-131, 20 December 2002, Pages 594-598.
- [54] Anonim, <http://isac.wikidot.com/intelligent-control-of-single-screw-polymer-extruder>, (erişim tarihi:25.09.2013)
- [55] Anonim, <http://enpub.fulton.asu.edu/chawla/papers/Wileymmcfinal.pdf>. (erişim tarihi:15.06.2013).
- [56] Ünal, R., Talaşlı İmalata Giriş, ders notları, Dumlupınar Üniversitesi,2009
- [57] Anonim, http://tr.wikipedia.org/wiki/Tala%C5%9Fl%C4%B1_imalat. (erişim tarihi:10.08.2013).
- [58] Anonim, <http://iys.inonu.edu.tr/webpanel/dosyalar/170/file/Uretim-1.pdf> (erişim tarihi:10.09.2013)
- [59] Groover, M.P., Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Process and Systems, 4th Edition, Wiley John, 2010, USA
- [60] Nas, E., Samtaş, G., Demir, H., “CNC Frezelemede Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Parametrelerin Matematiksel Olarak Modellenmesi”. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 18, Sayı 1, 2012, sayfa 47-59.
- [61] Kutay, M.G.,”Makinacının Rehberi”, Birsen yayınevi, İstanbul,2011-12.
- [62] Sensor Products Inc. , Firm Catalog, <http://www.sensorprod.com>
- [63] Qualitest International Inc., Firm Catalog, <http://worldoftest.com/roughness.htm>
- [64] El-Kady, Omya, Fathy, A., “Effect of SiC particle size on the physical and mechanical properties of extruded Al matrix nanocomposites”, Material and Design 54 (2014) 348-353, 2013.

- [65] Bhushan, Rajesh Kumar, "Optimization of cutting parameters for minimizing power consumption and maximizing tool life during machining of Al alloy SiC particle composites", *Journal of Cleaner Production* 39 (2013) 242-254, 2012.
- [66] Mandal, D., Viswanathan, S., "Effect of heat treatment on microstructure and interface of SiC particle reinforced 2124Al matrix composite", *Material characterization* 85 (2013) 73-81, 2013.
- [67] Mandal, D., Viswanathan, S., "Effect of re-melting on particle distribution and interface formation in SiC reinforced 2124Al matrix composite", *Material characterization* 86 (2013) 21-27, 2013.
- [68] Kumar, Anand, Mahapatra, M.M., Jha, P.K., "Effect of machining parameters on cutting force and surface roughness of in situ Al-4.5%Cu/TiC metal matrix composites", 2013.
- [69] Anonim, <http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MA2014T4>. (erişim tarihi:10.09.2013)
- [70] Accurates ceramic corporation. www accuratus.com
- [71] Sandvik Coromant 2008 "Turning Catalog", Sandvik Coromant, Sweden, pages 8-300.
- [72] ISO 4288.1996. "Geometrical Product Specifications (GPS)-Surface texture: Profile method-Rules and procedures for the assessment of surface texture", pages 1-8.
- [73] Manna, A., Bhattacharayya, B., "A study on machinability of Al/SiC-MMC", *Journal of Materials Processing Technology* 140 (2003) 711-716.

- [74] Camuşcu, N., “Effects of cutting speed on the performance of Al₂O₃ based ceramic tools in turning nodular cast iron”, *Material and Design* 27 (2006) 997-1006.
- [75] Pul, M., ”Investigation of Al Matrix MgO reinforcement composites the machinability and produced by infiltration method”, Ph.D. Dissertation, Gazi University Institute of Science, Ankara,2010.
- [76] Gny, M., ”Toz metalürjisi yöntemi ile üretilmiş Al-Si/SiCp kompozitlerin mekanik ve işlenebilirlik özelliklerinin araştırılması”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2009.
- [77] Pul, M., alın,R., şeker,U., “Infiltrasyon yöntemiyle üretilmiş Al matrisli MgO takviyeli kompozitlerin işlenebilirliğinin asıl kesme kuvvetleri açısından değerlendirilmesi”, Balıkesir Üniversitesi Müh. Fakültesi, Timak, Tasarım İmalat Analiz Kongresi,2010.
- [78] Manna, A., Bhattacharayya, B., “A study on different tooling systems during machining of Al/SiC-MMC”, *Journal of Materials Processing Technology* 123 (2002) 476-482, 2002.
- [79] Palanikur, K., Karthikeyan, R., “Assessment of factors influencing surface roughness on the machining of Al/SiC particulate composites”, *Materials and Design* 28 (2007) 1584-1591, 2007.