T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ALÜMİNYUM MATRİSLİ SiC TAKVİYELİ KOMPOZİT MALZEMENİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Mak. Müh. Can GÜLER

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Tez Yöneticisi: Prof. Dr. Mümin ŞAHİN

2012
EDİRNE

T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ALÜMİNYUM MATRİSLİ SiC TAKVİYELİ KOMPOZİT MALZEMENİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Mak. Müh. Can GÜLER

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

2012
EDİRNE

T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ALÜMİNYUM MATRİSLİ SiC TAKVYELİ KOMPOZİT MALZEMENİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Mak. Müh. Can GÜLER

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Bu tez 20 / 04 /2012 tarihinde Aşağıdaki Jüri Tarafından Kabul Edilmiştir.

Prof. Dr. Mümin ŞAHİN	Yrd. Doç. Dr. Cenk MISIRLI	Yrd. Doç. Dr. Tolga SAKALLI
Jüri Üyesi-Tez Danışmanı	Jüri Üyesi	Jüri Üyesi

ÖZET

Gelişen teknoloji ile birlikte paralel olarak daha üstün özellikli malzeme ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Ana yapıyı oluşturan malzemenin takviye ile kuvvetlendirilerek daha ideal bir yapının oluşturulması bu problemin çözüm metotlarından biridir. Her geçen gün bu konuda yapılan çalışmalar artmakta ve yeni gelişmeler ortaya çıkmaktadır.

Alüminyum, endüstrinin birçok dalında kullanılan, kullanım çeşitliliği fazla olan bir metaldir. Diğer metallere oranla hafifliği onu tasarımcılar için oldukça popüler bir konuma getirmiştir. Alüminyumun mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi ile beraber kullanım alanının artması kaçınılmazdır.

Alüminyumun içine eklenen silisyum karbür ile birlikte daha iyi mekanik özelliklere sahip olması beklenir. Ağırlıkça %10 takviye kullanılarak sıkıştırma döküm yöntemi ile alüminyum matrisli silisyum karbür takviyeli kompozit malzemeler üretilmiştir. Bu numunelerin bazı mekanik özellikleri incelenip, mikroyapıları gözlemlenmiştir. Sonuç olarak bu üretilen malzemelerin mekanik özelliklerinde artış olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum, silisyum karbür, takviye, metal matrisli kompozit malzeme, alüminyum matrisli kompozit malzeme, sıkıştırma döküm

ABSTRACT

With the developing technology, requirement for the superior materials has arisen parallelly. Strengthening the materials with the reinforcement to form an ideal structure is one of the solving methods of that problem. Studies on this subject and new developments appear day by day.

Aluminium is one of the most popular and useful materials in the industry. Its lightness to the other metals made it popular for the designers. With the improved mechanical properties, it is inevitable for aluminium increasing in its usage.

With the reinforcement of silicon carbide, it is expected for aluminium to have better mechanical properties. Using the squeeze casting method and reinforcement %10 in weight, aluminium matrix silicon carbide reinforced composite materials were produced. Some of the mechanical properties of these materials were searched and microstructures were observed. As a result, mechanical properties of these materials improved.

Keywords: Aluminium, silicon carbide, reinforcement, metal matrix composite, aluminium matrix composite, squeeze casting

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım sayın hocam Prof. Dr. Mümin ŞAHİN' e, sayın Prof. Dr. Ali KALKANLI' ya, sayın Prof. Dr. Ayşegül AKDOĞAN' a, sayın Yücel ŞEN' e ve sayın Ercan ÖKMENER' e ve hayatım boyunca beni yalnız bırakmayan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET iv
ABSTRACT v
TEŞEKKÜR vi
İÇİNDEKİLER vii
KISALTMA LİSTESİ viii
ŞEKİL LİSTESİ ix
ÇİZELGE LİSTESİ x
1.GİRİŞ 1
2. KOMPOZİT MALZEMELER 4
2.1. Polimer Matrisli Kompozitler 4
2.1.1. Polimer matrisli kompozitlerin üretimi 4
2.1.2. Polimer matrisli kompozitlerde matris ve takviye 10
2.2. Seramik Matrisli Kompozitler 12
2.1.1. Seramik matrisli kompozitlerde matris ve takviye 14
2.3. Metal Matrisli Kompozitler 16
2.3.1. Metal matrisli kompozitlerin üretimi 16
2.3.2. Metal matrisli kompozitlerde matris ve takviye 22
3. ALÜMİNYUM MATRİSLİ SiC TAKVİYELİ KOMPOZİTLER 25
3.1. Alüminyum 25
3.1.1. Alüminyum alaşımları ve özellikleri 29
3.2. Silisyum Karbür 32
3.3. Alüminyuma Silisyum Karbür Takviyesi İle Değişenler 34
4. ÜRETİM VE DENEYLER 36
4.1. Malzeme 36
4.2. Eritme 40
4.2.1. İndüksiyon fırını 40
4.3. SiC Takviyesi Ve Karıştırma 41
4.4. Sıkıştırma Döküm 43
4.5. Kalıp 46
4.6. Numuneler 47
4.7. Kimyasal Bileşim 49
4.8. Çekme Deneyi 53
4.9. Sertlik Testi 57
4.10. Mikroyapı 59
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA 65
KAYNAKLAR 65
ÖZGEÇMİŞ 68

KISALTMA LİSTESİ

BMC:	Bulk Moulding Composites
CVD:	Chemical Vapour Deposition
CVI:	Chemical Vapour Infiltration
SEM:	Scanning Electron Miscroscope
SMC:	Sheet Moulding Composites

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1. El yatırma-Püskürtme tekniği karşılaştırması a) El yatırma yöntemi, matris ve takviye ayrı olarak ekleniyor. b) Püskürtme yöntemi, matris ve takviye birlikte püskürtülüyor. (Chawla,1998) 5
Şekil 2.2. a) Elyaf bağlama işlemi prosesi şeması b) Filament bağlanma şeması (Chawla, 1998) 6
Şekil 2.3. Pultruzyon yöntemi (Cheremisinoff, 1998) 7
Şekil 2.4. Vakum torbası tekniği 8
Şekil 2.5 CVI işlemi (Okada, 2003) 13
Şekil 2.6. CVD reaksiyon adımları 14
Şekil 2.7. Difüzyon bağı yönteminde katmanların düzenlenmesi 17
Şekil 2.8. Sıkıştırma döküm yöntemi (Akdoğan, 2008) 20
Şekil 2.9. Osprey yöntemi 22
Şekil 2.10 Çelik matrisli ZrO_2 takviyeli kompozit içinde takviye ve titanyumca zengin faz (Wittig vd., 2007) 24
Şekil 3.1. Saf alüminyumun görüntüsü 28
Şekil 4.1. Çeşitli boyutlarda SiC tozları 39
Şekil 4.2. Üretimde kullanılan indüksiyon fırını 41
Şekil 4.3. Malzemenin dökümden önceki hali 42
Şekil 4.4. Kalıbın ısıtılması 44
Şekil 4.5. Pres ile basıncın uygulanması 45
Şekil 4.6. Üretimde kullanılan kalıp 46
Şekil 4.7. Üretilen silindir numuneler 47
Şekil 4.8. Üretilen çekme çubukları 48
Şekil 4.9. Çekme deneyinin yapılışı 53
Şekil 4.10 Çekme testinde akma, çekme ve kopma dayanımı kavramı 54
Şekil 4.11. Alüminyum alaşımlarının farklı boyutlardaki çekme numuneleri 55
Şekil 4.12. Vickers sertlik deneyi yapılışı 58
Şekil 4.13. 1.numunenin X100 büyütmede mikroyapısı 59
Şekil 4.14. 1.numunenin X400 büyütmede mikroyapısı 60
Şekil 4.15. 2. numuneden alınan görüntü 61
Şekil 4.16. 3. numuneden alınan görüntü 61

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1. BMC ve SMC üretiminde kullanılan girdilerin değerleri (Akdoğan, 2008) 9
Çizelge 2.2. Karbon ve grafit elyafların karşılaştırılması (Akdoğan, 2008)..... 10
Çizelge 3.1. Alüminyumun fiziksel özellikleri..... 27
Çizelge 3.2. Alüminyumun bazı özellikleri 28
Çizelge 3.3. Alüminyum dövme alaşımları..... 29
Çizelge 3.4. Alüminyumun döküm alaşımları..... 31
Çizelge 4.1. Kullanılan alaşımın kimyasal bileşenleri..... 37
Çizelge 4.2. Alüminyumun 5754 alaşımının bazı özellikleri..... 37
Çizelge 4.3. SiC ve bazı takviyelerin elastisite modülü (Taha, 2000)..... 38
Çizelge 4.4. Potanın üstünden alınan malzemenin bileşimi..... 49
Çizelge 4.5. Potanın ortasından alınan malzemenin bileşimi..... 50
Çizelge 4.6. Potanın dibinden alınan malzemenin bileşimi 51
Çizelge 4.7. Takviyesiz alaşımın bileşimi..... 52
Çizelge 4.8. Malzemenin çekme dayanımı 56
Çizelge 4.9. Numunelerin Vickers sertliği..... 58

1.GİRİŞ

İlkçağlardan beri insanlar, daha rahat bir yaşam sürebilmek için arayışlar içinde olmuşlar ve bunun sonucunda hayatı kolaylaştırmak için pratik icatlar yapmaya başlamışlardır. Tekerleğin bulunmasından günümüze kadar geçen sürede mekanik, optik, elektronik gibi birçok alanda, birçok buluş insanlığın hizmetine sunulmuştur.

Gelişen teknoloji ile birlikte yapılan her şeyin daha kalitelisine ulaşmak mümkün olmuş ve bunun sonucunda insanoğlu hep bir adım ötesini istemeye ve buna ulaşmaya başlamıştır. Sanayi devrimi ile beraber pek çok ihtiyaç ortaya çıkmış olup, bunların en önemlilerinden biride hammadde ihtiyacıdır. Üretilen parçaların kalitesinde önemli bir parametre, bu parçanın yapıldığı malzemedir. Daha üstün özelliklere sahip parçalar üretmek için daha üstün özelliğe sahip malzemeler gerekmektedir.

Kompozit malzemeler, birbirinden ayrı iki yada daha fazla malzemenin bir araya gelmesi ile üretilen karma malzemelerdir. Bu yapıyı oluşturan bileşenler birbiri içinde çözünmezler. Kompozit malzemelerin içinde hacimsel olarak çoğunluğu oluşturan matris malzeme ve çekirdek olarak kullanılan takviye malzeme bulunmaktadır. Uzun yıllar boyunca kullanılan birçok kompozit malzeme vardır. Bu üretilen malzemeler ile birlikte üretimde ihtiyaç duyulan özellikte malzeme ihtiyaçları karşılanmıştır. Yıllar içinde gelişen teknoloji ile beraber bu modellerden çok daha kompleks olarak üretilen malzemelere sahip olmak mümkün olmuştur.

Kompozit malzemeler, ana malzemenin tek başına gerçekleştiremediği özellikleri ona katmak amacıyla oluşturulmuş, çok fazlı malzemelerdir. Sürekli karbon fiberler ile oluşturulmuş polimer matrisli bir kompozitte karbon fiberler dayanımı, polimer matris ise bir arada tutmayı sağlamaktadır. Kompozit malzemeler metal, polimer ya da seramik matrisli olabilir. Burada asıl nokta, takviyenin matris içinde çözünmemesidir. Alaşımlar bu yüzden kompozit değildir. Ayrıca, malzemeler arasında arayüzey oluşmalıdır. (Ürkmez)

Bütün istenen özellikleri tek bir malzemede bulmak imkansızdır. Bununla beraber bazı teknolojik uygulamalarda ise çok üstün özellikler istenmektedir. Havacılık ve uzay sektöründe kilit noktalarda kullanılan parçalar boyutları küçük dahi olsa hayati önem taşımaktadır. Bu noktada kompozitler istenen standardı sağlar.

Kompozit malzemeler arasında, metal matrisli kompozitler çok önemli bir yere sahiptir. Metal bir matrisin içinde seramik veya metal takviye kullanılarak elde edilir. Gün geçtikçe üretimleri ve kullanımları daha yaygın hale gelmektedir. Yapı malzemeleri ve belli bir görevi yerine getirmek için tasarlanmış malzemelerde, ana malzemenin yetersiz olduğu durumlarda takviye malzeme kullanarak oluşturulan ve çeşitli özellikleri önemli ölçüde iyileştiren metal matrisli kompozitler, malzeme biliminin gelişimi için sınırsız olanaklar sunmaktadır.

Metal matrisli kompozitlerin üretimi ile birlikte malzeme birçok yönden daha üstün özelliklere sahip olur. Bunlardan bir kısmı aşağıdaki özelliklerdir.

- Dayanımın artışı
- Korozyon direncinin artışı
- Aşınma direncinin artışı
- Elektrik iletkenliğinin artışı
- Isıl iletkenliğin artışı
- Rijitlik artışı
- Mekanik sönümleme özelliği artışı (Akdoğan, 2008)

Matris ve takviyenin çeşidine göre daha farklı malzeme kombinasyonları yapılarak istenilen özellikler kazandırılabilir. Ayrıca, malzemenin hangi özelliğinin ne ölçüde değişeceği önemlidir. Bir özelliğin fazla artışı, diğer bir özelliği düşürebileceği için istenilen özellikler iyi bilinip ona göre bir tasarım yapılmalıdır.

Metal matrisler arasında en çok kullanılanlar alüminyum, magnezyum, bakır, titanyum ve süper alaşımlardır. Bunların dışında birçok metal matrisli kompozit malzemede üretilmiştir. İstenilen özellikler, ekonomik nedenler, matris takviye uyumu, üretim yöntemi sınırları gibi nedenler matris seçimi tercihini belirler.

Metal matrisli kompozit malzeme üretiminde diğer bir parametrede takviyedir. Sürekli takviye yada süreksiz takviye kullanılabilir. Sürekli takviye, fiberler yada filamentlerdir. Süreksiz takviye ise, kısa fiberler, partiküller ve whiskerlardır. Sürekli takviyelerin matris olarak seçilen malzeme ile uyuşma olasılığı daha fazladır. Yüksek aşınma direnci ve ısıl iletkenlik, düşük termal genleşme katsayısına sahiptirler. Takviyenin yüklendiği yönde özellikleri üstündür, dolayısıyla anizotropiktirler. Süreksiz takviyelerin, sertlik, boyutsal stabilite, basma direnci gibi özelliklere önemli katkıları vardır. Bununla beraber tokluk ve süneklik yönünden bazı dezavantajları vardır. Bu

şekilde üretilen malzemeler, dövme, ekstrüzyon ve haddeleme gibi ikincil işlemlere tutulabilir.

Kompozit malzemeler, üstün özellikleri önemli faydalar sağlar. Ancak, bununla birlikte üretimin pahalı oluşu, teknolojinin bu konu için tam olgunlaşmamış oluşu, üretimin karmaşıklığı, üretimdeki deneyimsizlik gibi sebeplerden dolayı üretilmeleri çok kolay değildir.

Alüminyum ve alaşımları, dökülebilmeye uygun, düşük yoğunluklu, düşük erime sıcaklığına sahiptirler. Mekanik özellikleri oldukça iyidir. Silisyum karbür ve alümina gibi seramiklerle çok iyi uyum sağlar. Bu yüzden metal matrisli kompozit üretimi için oldukça popüler bir malzemedir. Saf alüminyumun döküm kabiliyetinin kötü oluşu, alaşımlarına göre ıslatmayı kolaylaştıracak alaşım elementleri olmaması, mekanik özelliklerinin çok iyi olmaması gibi nedenlerden dolayı alaşım alüminyumlar matris malzemesi olarak daha sık kullanılır.

Kompozit malzemeler, metal matrisli, plastik matrisli ve seramik matrisli olarak üç ana grupta incelenir. İhtiyaca göre bir matris ve takviye seçilir. Çeşitli malzemeler ve takviye oranları kullanarak, çeşitli üretim yöntemleri ile oldukça farklı ve özel malzemeler elde edilebilmektedir. Kompozit malzemelerin, ilerleyen yıllarda insanlığın yararına gerçekleşecek birçok gelişmede başrol oynaması kuvvetle muhtemeldir.

2. KOMPOZİT MALZEMELER

Kompozit malzemeyi oluşturan iki temel bileşen vardır. Bunlar matris ve takviyedir. Kompozit malzemeler, matrislerine göre polimer, seramik ve metal matrisli olabilirler. Takviyelerine göre ise sürekli takviyeli ve süreksiz takviyeli olarak ayrılabilirler.

2.1. Polimer Matrisli Kompozitler

Polimer matrisli kompozitler, polimer bir matrisin içine sürekli elyaf yada partikül takviyesi ile birlikte oluşturulan malzemelerdir. Laboratuar incelemeleri yada ucuz mobilya üretimi için bir malzeme olarak görülse de karbon, bor, aramid gibi yüksek performans sağlayan elyaflarla birlikte teknolojinin tüm alanlarında kullanımı olan yeni ve gelişmiş birçok malzemede üretilmiştir.

2.1.1. Polimer matrisli kompozitlerin üretimi

Polimer matrisli kompozitlerin üretimini kapalı ve açık yöntemler olarak ikiye ayırabiliriz. Açık kalıplama yöntemleri ve kapalı kalıplama yöntemleri polimer matrisli kompozit malzemelerin üretiminde kullanılırlar.

Açık Kalıplama Yöntemleri

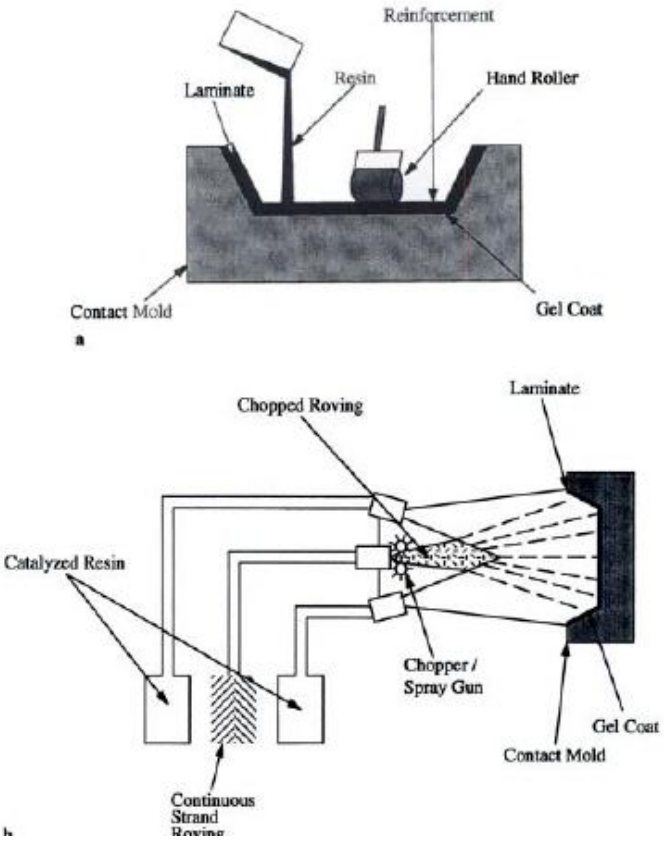
- El Yatırma Yöntemi
- Püskürtme Yöntemi
- Elyaf Sarma Yöntemi
- Vakum Torbası Yöntemi
- Otoklav Yöntemi

Kapalı Kalıplama Yöntemleri

- Reçine Transfer Yöntemi
- Pultruzyon Yöntemi

- Ekstrüzyonla Kalıplama Yöntemi
- Hazır Kalıplama Yöntemleri (BMC,SMC)
- Enjeksiyonla Kalıplama Yöntemi
- Savurma Kalıplama Yöntemi

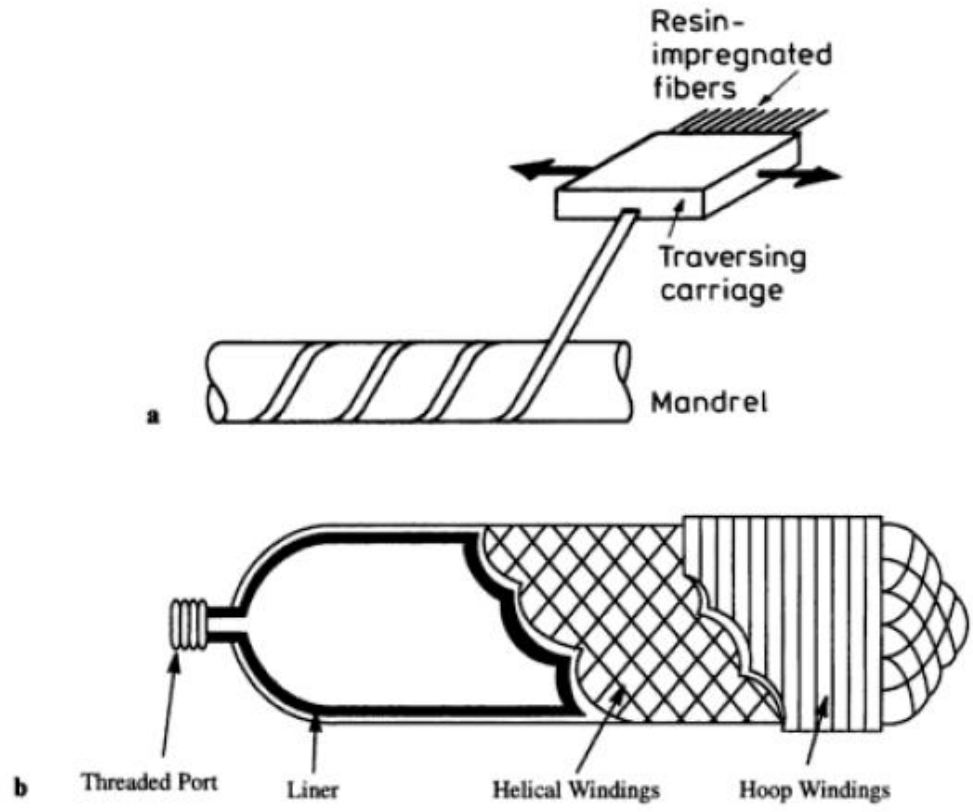
El yatırma ve püskürtme teknikleri bu teknikler arasında en basit olanlardır. El yatırma tekniğinde elyaflar numune kabına yatırılır ve üzerine reçine eklenir. Püskürtme tekniğinde ise matris ve takviye numune kabına birlikte püskürtülür. İki yöntemde uygulanırken oluşan kompozit katmanlar bir silindir ile düzlenir. Hızlandırıcı ve katalizör kullanımı sıklıkla tercih edilir. Oda sıcaklığında yada fırın içinde yüksek sıcaklıkta kurutma yapılabilir. (Chawla, 1998)



Şekil 2.1. El yatırma-Püskürtme tekniği karşılaştırması a) El yatırma yöntemi, matris ve takviye ayrı olarak ekleniyor. b) Püskürtme yöntemi, matris ve takviye birlikte püskürtülüyor. (Chawla,1998)

Elyaf sarma, polimer matrisli kompozit üretiminde kullanılan diğer bir önemli yöntemdir. Makaralar yardımıyla taşınan takviyeler, reçine banyosunun içinden geçer. Helisel yada polar sarma olabilir. Helis açısı, yapılmak istenen nesnenin şekline bağlıdır. Katmanlar, hareketli mandrel üzerine değişen yada sabit bir açıda istenen kalınlık elde edilene kadar yatırılır. Reçine belli bir sıcaklıkta kurutulur ve mandrel kaldırılır. Silindirik ve küresel büyük şekiller bu şekilde üretilir.

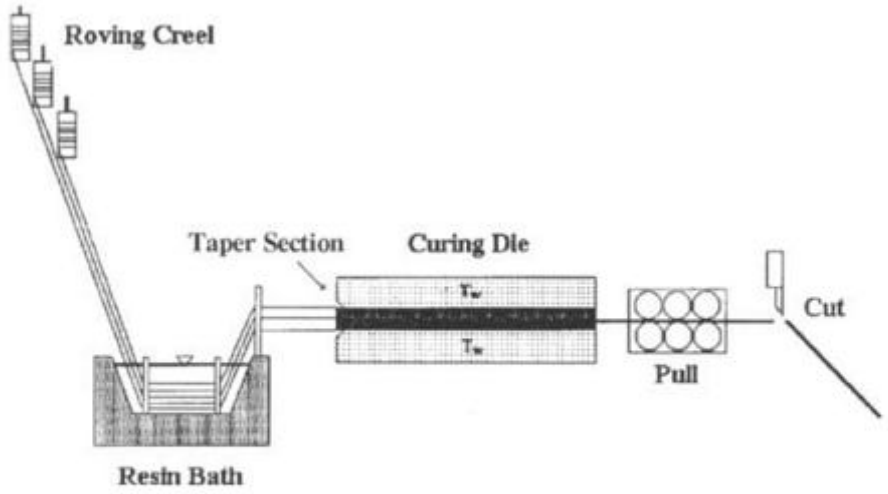
İki çeşit elyaf sarma yöntemi kullanılmaktadır. Wet winding ve preprag winding yöntemleri malzeme çeşidi ve koşullara göre tercih edilir. Wet winding işleminde düşük viskoziteli reçine, bağlama prosesinde elyaflara eklenir. 2000 santipoise dan düşük viskoziteye sahip epoksi ve polyesterler bu işlemde kullanılır. Preprag winding yönteminde ise eriyik yada çözelti yardımıyla elyaflara ön emdirme işlemi uygulanır. Yüksek viskoziteli epoksi ve polyamidler bu işlemde kullanılır. (Chawla, 1998)



Şekil 2.2. a) Elyaf bağlama işlemi prosesi şeması b) Filament bağlanma şeması (Chawla, 1998)

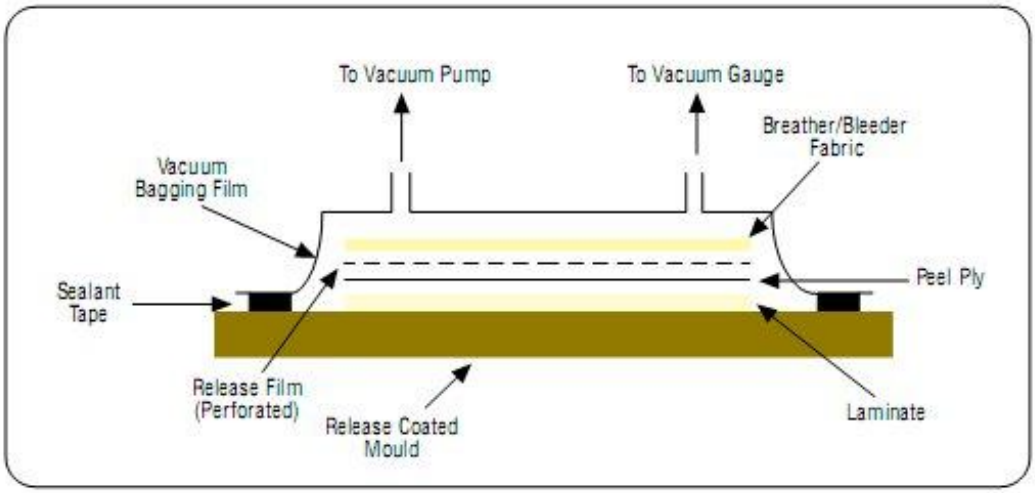
Pultruzyon işlemi, sürekli sabit kesitli, elyaf takviyeli polimer matrisli kompozitlerin üretilebileceği bir yöntemdir. Olta, anten, golf sopası gibi birçok eşyanın yanı sıra, uzay endüstrisinde kullanılan bazı parçalarda bu yöntem kullanılarak üretilebilir. Çoğunlukla cam elyaf takviyeli termoset plastik matrisli kompozitlerin üretiminde kullanılır. Polipropilen gibi termoplastik matrisler içinde sistem kullanılabilir. Cam elyaf yanında karbon ve aramid elyaflarda kullanılabilir.

Bu sistemde elyaf, reçine çözeltisinden geçtikten sonra, ısıtılmış şekillendirici kap içinde sertleştirilir ve burada istenilen şeklin son boyutlarına ulaştırılır, buradan çıkışta bir çekilme sisteminden geçtikten sonra, kesici tarafından kesilir ve parça üretilmiş olur. (Cheremisinoff, 1998)



Şekil 2.3. Pultruzyon yöntemi (Cheremisinoff, 1998)

Vakum torbalama tekniği, üretim tekniği esas itibari ile lifli kompozit kumaş malzemesinin kalıp içine elle yatırılması ve reçinenin kalıp içine elle dağıtılması sonrası devreye alınan bir uygulamadır. Vakum uygulanması ile birlikte elle yatırma tekniğinin getirdiği dezavantajlar ortadan kalmış, daha sağlam ve daha hafif kompozit yapıların ortaya çıkması mümkün olmuştur. (Kayran vd., 2007)



Şekil 2.4. Vakum torbası tekniği

Vakum torbası tekniğinin, el yatırma tekniğine göre bazı avantajları vardır. Üretilen katmanlı kompozit yapı içinde hava boşlukları en aza indirilmekte, bu sayede çatlak oluşturma kaynakları yok edilerek önemli bir mukavemet artışı sağlanmaktadır. Vakum uygulaması neticesinde katmanlı yapı içinde kalan fazla reçine emilerek, yapının lif reçine oranının artması sağlanmaktadır. Bu sayede kompozit malzemenin kırılganlığı azalmaktadır. Vakum uygulaması sayesinde reçinelerin katmanlar arasında daha iyi yayılması sağlanmakta ve bu sayede homojen bir reçine dağılımı sağlanmaktadır. Vakum uygulaması sırasında katmanlar birbiri üzerine basacağından birbirleri ile olan birleşim mukavemeti daha güçlü olacaktır. Dolayısıyla katmanlar arası kesme mukavemeti artacaktır. (Kayran vd., 2007)

Otoklav yöntemi, vakum torbası tekniğine benzeyen ancak şartları kontrol etmek için otoklav kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde elyaf reçine oranı arttırılır ve hava boşlukları giderilir. Kompleks yapılı kompozitler için uygundur. Diğer yöntemlere göre pahalıdır ve daha uzun bir süreç gerektirir.

Reçine transfer yönteminde, takviyenin içinde bulunduğu kalıp kapatıldıktan sonra kalıp içine matris enjekte edilerek üretim gerçekleşir. Bu yöntemle araba parçaları, bisiklet kasası, uçak panelleri üretilmektedir.

Enjeksiyon ve ekstrüzyon yöntemleri ile plastik matrisli kompozit üretmek mümkündür. Ekstrüzyon ile tüp ve boru şeklinde kompozitlerin üretimi mümkündür. Enjeksiyon makineleri, kompozit malzemeyi kalıbın içine enjekte ederek üretimi gerçekleştirir. Savurma kalıplama yöntemi ile de dönel kesitli parçalar üretilir.

Hazır kalıplama tekniği, karmaşık yapılı şekillerin üretiminde oldukça uygun bir üretim yöntemidir. Polimerler, fiziksel ve mekanik özelliklerini arttırmak amacıyla fiberler ile doldurulurlar ve özelliklerini arttırmak daha da önemlisi maliyeti düşürmek amacıyla dolgu malzemeleri ile kaplanırlar. Hazır kalıplama tekniği olarak adlandırabileceğimiz SMC ve PMC teknikleri bu tip üretime en iyi örneklerdir. Bu işlemler reçine, fiber, dolgu maddesi ve katkı maddelerini kapsar. Birçok kimyasal bileşenin işlemde bulunması mümkündür. Bu da, bu işlemleri, çok farklı malzemelerin çok sayıda kombinasyonda üretilmesi açısından önemli bir noktaya getirir. Ulaşım, inşaat ve özellikle otomotiv sektöründe bu işlemlerin çok önemli bir yeri vardır.

SMC işleminde birleştirme ve biçimlendirme aşamaları vardır. Birleştirme aşamasında fiberler haricinde tüm girdiler, pestil oluşturmak için karıştırılır. Fiberler de son forma ulaşmak için bu pestille ıslatılır. Üretilen ürünün son özelliği kullanılan girdilerin neler olduğu ile bağlantılıdır. Polyester, epoksi, fenolik reçine gibi matrisler kullanılabilir. $CaCO_3$ ve $AlOH_3$ gibi maddeler ise dolgu maddeleri olarak kullanılabilir. (Kia, 1993)

BMC ve SMC ile üretilen malzemeler arasında temel fark üretim sonrasında oluşan malzemenin şeklindedir.

Çizelge 2.1. BMC ve SMC üretiminde kullanılan girdilerin değerleri (Akdoğan, 2008)

Girdiler	BMC formülasyonu(Ağırlık)	SMC formülasyonu(Ağırlık)
Polyester reçine	100	100
Cam elyafı	45-70	50-100
Pigment	10-15	5-8
Dolgu maddesi	45-70	140-180
Muhtelif kimyasallar	-	-

Çizelge 2.1. den görüleceği üzere BMC ve SMC diğer karışımlara göre hafiflik ve yüksek dayanımı bir arada sağlama açısından üstünlüğü vardır. Ayrıca, ısı dayanımı, iyi elektrik yalıtım özelliği bakımından gelişmiş özellikleri vardır. (Akdoğan, 2008)

2.1.2. Polimer matrisli kompozitlerde matris ve takviye

Polimer matrisli kompozit malzemelerde, genellikle matris olarak termosetler ve termoplastikler, takviye olarak ise cam elyaf, aramid elyaf, karbon elyaf gibi birçok malzeme kullanılır. Termoset matrisler, en çok kullanılan matrislerdir. Belli bir sıcaklığın üstünde kalıcı olarak sertleşirler ve tekrar ısıtıldıklarında yumuşamazlar. Polimerizasyon sırasında oluşan kovalent bağlar, polimerizasyon sonrasında maddeyi erimeyen ve çözünmeyen bir hale getirir. Boyutsal kararlılığa sahiptir ve darbe dirençleri yüksektir. Epoksi, polyester, vinylester ve fenolik reçineler bu malzemelere örnek olarak verilebilir. Termoplastikler ise işlem sonrasında tekrar ısıtıldıklarında yeniden şekillendirilebilir. Politereterketon ve Polifenilen sulfid gibi kristal yapılı plastik malzemeler matris olarak kullanılabilir. Termosetlere oranla daha az tercih edilmesinin nedeni üretim zorlukları ve yüksek maliyetidir. (Akdoğan, 2008)

Takviye malzemesi olarak kullanılan cam elyaf yüksek çekme direncine sahip olmasına rağmen ısıl direnci düşüktür. Elektriği iletmezler dolayısıyla yalıtımın önemli olduğu durumlarda kullanılabilir. Bor elyaflar, çekirdeğin üzerine bor kaplanarak elde edilir ve yüksek çekme mukavemeti ve elastiklik modülüne sahiptir. Silisyum karbür elyaflar, yüksek sıcaklığa dayanım açısından oldukça iyidir. Alümina elyaflar ise çekme mukavemetleri düşük olmasına rağmen yüksek basma dayanımına sahiptir. Karbon ve grafit elyaflarda polimer matrisli kompozit üretiminde kullanılmaktadır. Karbon ve grafit aynı hammaddeden elde edilmekte ancak grafit daha yüksek sıcaklıkta elde edilmektedir ve buda daha yüksek saflık sağlamaktadır.

Çizelge 2.2. Karbon ve grafit elyafların karşılaştırılması (Akdoğan, 2008)

Özellik	Grafit	Karbon
Saflık (%)	99	93-95
İşlem sıcaklığı (°C)	1700’ den büyük	1700’ den küçük
Elastiklik modülü (Gpa)	345’ ten büyük	345’ ten büyük

Pıhtılı ve Tosun, yaptıkları çalışmada, elyaf sarma yöntemiyle, 300 ve 500 birim alan ağırlığına sahip cam doku elyafları, polyester reçine (Neoxil CE 92) ile birleştirerek kompozit malzeme üretmişlerdir. Malzeme hacimce %70 polyester reçinedir. Ayrıca aramid elyaf kullanarak epoksi matrisli (Ciba LY 556) kompozit malzeme üretmişlerdir. Malzeme hacimce %40 matris malzemedir. Çeşitli kayma mesafelerinde ağırlık kayıplarına bakılmış, 500 birim alan ağırlığa sahip cam elyaf takviyeli kompozit malzemenin 300 birim alan ağırlığa sahip cam elyaf takviyeli kompozit malzemeye göre daha fazla ağırlık kaybettiği gözlemlenmiştir. Aramid elyaf takviyeli epoksi reçine matrisli kompozit malzemede ise bunlara kıyasla daha düşüktür. (Pıhtılı ve Tosun, 2002)

Dişli çark üretiminde polyamid 46 ve bu malzemenin aramid elyafla takviyesi durumunda oluşacak durumları araştıran Gordon ve Kukureka, ağırlıkça %6, %12 ve %15 takviyeli kompozit malzemeler üreterek tribolojik özelliklerini incelemişler. 10^3 ile 10^6 tekrar arasında, 300-600 N yüklemede, 500, 1000, 1500 rpm hızda aşınma ve sürtünme hızları incelenmiş, ayrıca temas noktalarında ısı görüntüleyici ile ölçümler alınmıştır. %15 takviyeye sahip kompozit malzemede en düşük ortalama sürtünme katsayısı oluşmuş ve yüksek aşınma oranı meydana gelmiştir. Sürtünme bölgesinde oluşan ısılar ise 200 °C dereceye kadar çıkmıştır. Optik mikroskop, aşınma bölgelerinde düşük yükleme ve hızlarda çatlak oluşumu, yüksek yükleme ve hızlarda ise erime gözlemlemiştir. (Gordon ve Kukureka, 2008)

Solmaz vd., alümina takviyeli polyester matrisli kompozitin abrasiv aşınma direncini incelemiş, mekanik testler sonucunda, alümina partikül takviye oranı arttıkça uzamanın azaldığı, çekme gerilmesinde ise net bir gelişmenin gözlenmediği belirtilmiştir. Alümina partikül tane boyutunun da mekanik özellikler üzerinde belirgin bir değişim yapmadığı ve aşınma verileriyle mekanik özellikler arasında tam bir ilişki kurulamayacağı belirtilmiştir. Abrasiv aşınma testlerinde de alümina takviye oranı ve tane boyutu arttıkça ağırlık kaybında elde edilen düşüş, aşınma hızının azaldığını göstermiştir. Aşınma sırasında uygulanan yük arttırıldığında da ağırlık kaybındaki belirlenen artışlar aşınma hızının arttığını göstermiştir. (Solmaz vd., 2011)

2.2. Seramik Matrisli Kompozitler

Seramik matrisli kompozitler, seramik bir malzemenin küçük seramik parçacıklar ile takviye edilmesi ile oluşturulan malzemelerdir. Takviye, partikül, sürekli elyaf yada süreksiz elyaf olabilir. Üretimdeki temel amaç tokluğu geliştirmektir. Genellikle, yüksek dayanımı ve elastiklik modülü sayesinde SiC elyaflar tercih edilir. Al_2O_3, SiC, Si_3N_4 ve B_4C yaygın olarak kullanılır. Üretilen kompozit malzemeler, yüksek mukavemet ve ısıl dayanıma sahiptir.

Seramik matrisli kompozitler üretilirken, takviye ve matris arasındaki reaksiyonlar minimum olmalıdır. Takviyelerin bozunmasının önlenmesi amacıyla mümkün olduğunca düşük bir işlem sıcaklığı seçilmelidir. Sürekli takviyeler, fiberlerin uygun yerleştirildiği durumlarda oldukça iyi mekanik özellikler sağlarlar. Fiberlerin yerleştirildiği model hazırlandıktan sonra matris malzeme boşluklara enjekte edilir. (Okada, 2003)

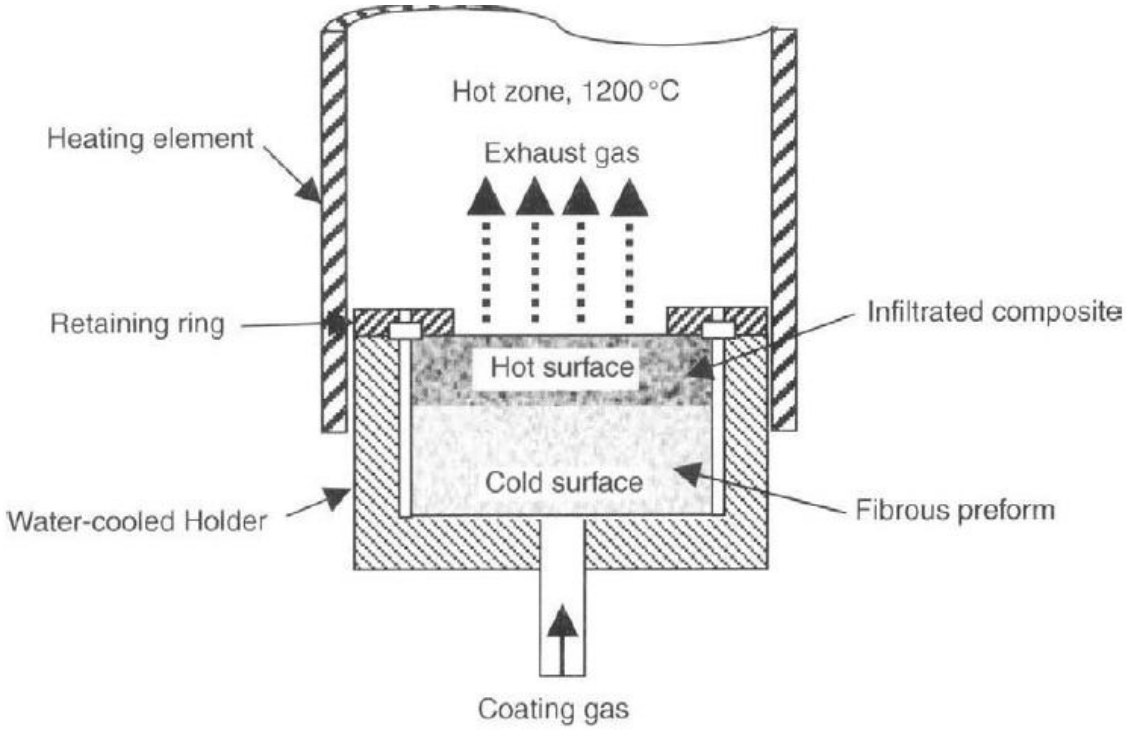
Tek eksenli ve iki boyutlu kompozitler genellikle sıcak presleme yöntemi ile elde edilir. Matris parçacıkların içine fiberler daldırılır ve daha sonra sonra kurutulur. Daha sonra bu karışım istenilen boyutta parçacıklara kesilir ve sıkılaşmış parçalar oluşturmak amacıyla sıcak preslenir. Parçalar genellikle disk ya da dikdörtgen şeklindedir. Whiskerların sıkılaştırılması genellikle sıcak presleme yardımıyla yapılır. Bu işlem sırasında hem homojenliğin sağlanmasına hem de whiskerların hasar görmemesine dikkat edilmelidir.

Whisker matris karışımı grafit kalıplarda 1000 ile 2000 °C arasında preslenir. 30 ile 300 dakika arası pres uygulanır. Uygulanan basınç ise 30 ile 70 MPa arasındadır. İşlem sırasında vakum ya da inert atmosferin kullanılması grafit yada karbon kalıpların ve bazı bileşenlerin oksijenden korunması için gereklidir. (Chawla, 2003)

Wei ve Becher, whisker SiC takviyeli Al_2O_3 takviyeli kompozitler üretip sıcak presleme sıkılaşma yoğunluğunun sıcaklık ve basıncın bir fonksiyonu olduğunu bulmuşlardır. (Wei ve Becher, 1985)

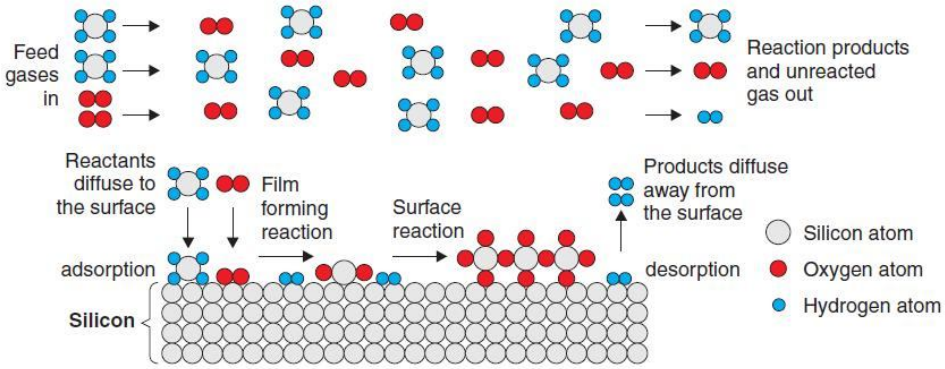
Buljan, whisker SiC takviyeli Si_3N_4 matrisli kompozit malzemelerde sıkılaşma yoğunluğunu whisker doygunluğunun fonksiyonu olarak tanımlamış ve yükselen whisker oranı ile sıkılaşma oranının düştüğünü belirtmiştir. (Buljan, 1987)

Kimyasal buhar biriktirme (chemical vapor deposition) ve kimyasal buhar emdirme (chemical vapor impregnation) yöntemleri de seramik matrisli kompozit malzeme üretme yöntemlerindendir. İki yöntem arasındaki temel fark, CVD yönteminde malzemenin yüzeyi kaplanırken, CVI yönteminde derinlemesine biriktirme işlemi yapılır.



Şekil 2.5 CVI işlemi (Okada, 2003)

CVD işlemi çoğunlukla düşük basınçta reaktör içine tanımlanan bir yada daha fazla sayıda gazı içerir. Altlık yüzeyindeki gazların tepkimesi altlık yüzeyindeki filme şekil vermektedir. Şekil 2.6. da SiH_4 ve O_2 bir CVD reaksiyonu içinde tanımlanmaktadır. Akan gazların şekli durağan sınır tabakaya doğru ilk katman yüzeyine, sonra da difüzyona uğrayan gazlar yüzeyine ulaşmaktadır. Yüzeyden emilen gazlar silisyum dioksit ile tepkimeye girerek havaya hidrojen verdikten sonra yüzeyden absorbe olur ve difüzyona uğrar. (Lee vd., 1996)



Şekil 2.6. CVD reaksiyon adımları

Toz metalurjisi yöntemi ile de seramik matrisli kompozit malzeme üretmek mümkündür. İstenilen forma sahip bir kalıp içersinde sinterlenerek ön mukavemet kazandırılan tozlar daha sonra sinterlenerek mukavemetlendirilir. Sıcak preslemede, presleme ve sinterleme işlemleri bir arada yapılır. Toz halindeki matris metali, whisker veya elyaf şeklindeki pekiştiriciler karıştırılarak preslerde şekillendirilirler. Soğuk presleme uygulandığında boşluksuz, kompakt bir yapının elde edilmesi için yüksek basınç uygulanır, bu da pekiştiricilerde hasara sebep olur. Bu nedenle sıcak presleme uygulaması tercih edilir. (Akdoğan, 2008)

2.1.1. Seramik matrisli kompozitlerde matris ve takviye

Son yıllarda özellikle uzay, nükleer ve balistik uygulamalarında ve askeri alanda kullanılmak amacıyla birçok seramik matrisli kompozit malzeme geliştirilmiştir. Birçok vanalar, valfler ve ısı panelleri bunlara örnek verilebilir. Bu uygulamalar düşük yoğunluk, yüksek dayanım ve yüksek kimyasal direnç bakımından iyi özelliklere sahiptir. (Chermant v.d., 2002)

Si_3N_4 bir matrise SiC eklenmesi ile silikon nitritin mekanik özelliklerinin artması beklenir. 1400°C de 5 mikronluk SiC eklenmesi ve MgO yardımıyla ciddi bir gelişim sağlanır. Buhar faz reaksiyonları ile üretilmiş S-N-C tozlarına sıkılaştırma için ağırlıkça Y_2O_3 tozu ekleyen Niihara vd. ağırlıkça %32' lik SiC takviyeli Si_3N_4 matrisli kompozit malzeme üretmeyi başarmışlardır. (Niihara vd., 2001)

Al_2O_3 matrisli SiC takviyeli kompozitler genellikle kesme araçlarında kullanılırlar. Bu kompozitleri kesme aracı olarak kullanılmasının avantajı sağladığı yüksek metal kaldırma oranı ve Ni temelli süper alaşımların işlenmesinde sağladığı avantajdır. Sıcak presleme whiskerların yönlendirilmesini sağlar. (Okada, 2003)

SiC ve karbon gibi sürekli fiberler cam bir matris ile kompozit oluşturma amacıyla kullanılabilir. Fiberler, matrise oranla daha yüksek Young modülüne sahiptir ve bu sayede malzemenin üzerine düşen yükü taşıma işini görürler. Karbon fiber yada SiC fiber kullanılması durumunda üretim metodu birbirine benzerdir. (Okada, 2003)

SiC-SiC kompozitleri yüksek sıcaklık dayanımı ve oksidasyon direnci gibi çok önemli özelliklere sahiptir. Bu özellikler sayesinde füzyon reaktörleri gibi yüksek sıcaklık dayanımı gerektiren yapılarda kullanılırlar. Liu vd., CVD yöntemi ile SiC interfazı oluşturulmuş SiC-SiC kompozitlerin, bu faz oluşmadan üretilen kompozitlere göre 4 kat daha fazla kırılma dayanımına sahip olduğunu görmüştür. Ayrıca bu interfaz, SiC için koruma ve kompozit malzeme için daha iyi bir bağlanma sağlamıştır. (Liu v.d., 2010)

Oksit-oksit kompozitler karbür eksikliğinden dolayı yeterli sertliğe sahip değildir. Bu tip kompozitlerde oksidasyon problemi yoktur. Üretimde istenen temel özellik bu olmalıdır. Bu tip kompozitler çatlağın ilerlemesine yol açacak ara yüzeylere sahiptirler. (Levi vd., 1998)

Kumar v.d., SiC takviyeli alumina matrisli kompoziti metal oksidasyonu yardımıyla üretmişler, hacimce %35-43 arası değişen takviyeli kompozit malzemeler 158-230 Mpa arası eğilme dayanımı elde etmişlerdir. Ürettikleri kompozitlerin eğilme dayanımı, sertlik, tokluk ve basma dayanımlarını incelemişlerdir. Sertlik, tokluk ve eğilme dayanımlarında tatmin edici sonuç alınmış ancak basma direnci açısından düşük sonuçlar elde edilmiştir. Matris ve takviye arası bağın iyi olmaması bu sonucu doğurmuştur. Ayrıca üretim işlemi diğer yöntemlere kıyasla daha düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilmiştir. (Kumar v.d., 2011)

2.3. Metal Matrisli Kompozitler

Malzeme özelliklerini arttırmak amacıyla, metal matris içinde seramik veya metal takviye ilavesi ile oluşturulan kompozit malzemelerdir. Alaşımlarla elde edilemeyen özellikleri sağlamak amacıyla partikül, whisker ya da fiber takviyelerle elde edilebilir.

Alüminyum, magnezyum, titanyum, nikel alaşımları metal matris olarak sıkça kullanılır. Bunların yanında bazı süper alaşımlarda matris olarak kullanılabilir. Metal ve seramik takviyeler kullanmak mümkündür. Birçok parametre üretim prosesini etkiler.

- Matris ve takviye çeşidi
- Şekil, boyut ve takviyenin dağılımı
- Takviye ve matrisin kimyasal, termal ve mekanik özellikleri
- Boyutsal toleranslar
- Üretim maliyeti

Standart üretim metotları ile kıyaslandığında metal matrisli kompozit malzeme üretim yöntemleri daha komplekstir. Takviyelerin dağılımı, takviye oranı, matris ile takviye arasındaki ıslatma önemli unsurlardır.

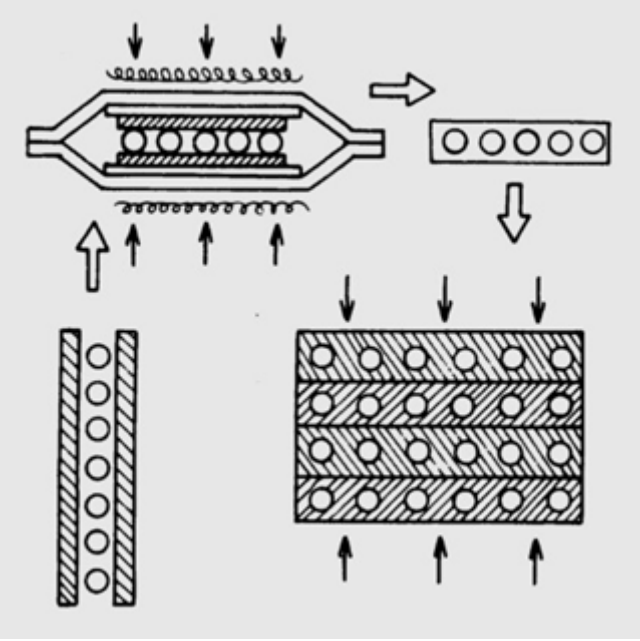
2.3.1. Metal matrisli kompozitlerin üretimi

Metal matrisli kompozit üretim yöntemlerini sıvı ve katı faz üretim yöntemleri olarak iki sınıfa ayırabiliriz. Bunların dışında alternatif olarak kullanılan diğer yöntemlerde mevcuttur. Katı fazlı üretim yöntemlerinde matris levha, folyo ya da toz biçiminde olabilir. Difüzyon bağlama ve toz metalurjisi yöntemleri temel katı faz üretim yöntemleridir. Döküm, sıvı metal infiltrasyonu gibi yöntemler ise sıvı faz üretim yöntemleridir.

Katı faz üretim yöntemlerinin, sıvı faz üretim yöntemlerine göre mutlak avantajları vardır. Üretim sıcaklıkları düşük, difüzyon oranları daha yavaş ve matris ile takviye arasındaki reaksiyon daha keskindir.

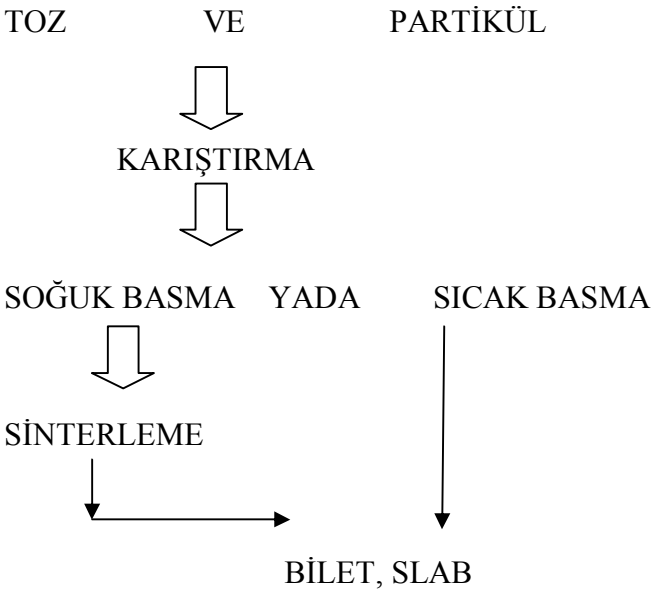
Katı faz üretim yöntemi olan difüzyon bağı tekniği, takviye malzemenin bozunma ve ayrışmasına pek rastlanmadığından önemli bir yöntemdir. Bunun nedeni, diğer yöntemlere göre daha düşük sıcaklıklarda gerçekleşmesidir. Levha ya da folyo şeklindeki matris fiberler ile sağlamlaştırılarak kompozit katmanlar oluşturulur. Fiberler yerine organik bağlayıcı ile birbirine tutturulmuş filamentlerde kullanılabilir. Bağlayıcı ile bağlanmış filamentlerin silindirik mandrel üzerine sarılması ile oluşturulabileceği gibi mandrel üzerine yerleştirilen filamentlerin üzerine bağlayıcı püskürtülmesi ile de oluşturulabilir. Çözelti buharlaştırıldığında matris ve takviyenin iç içe geçtiği sarılmış bir malzeme oluşur. Bağlayıcı yüksek sıcaklık sonrası malzeme üzerinde herhangi bir zarar bırakmadan yok olur. Yüksek sıcaklık ve basınç altında matris eriyik, fiberler içine difüze olur ve bir tabaka oluşturur.

Difuzyon bağı oluşturma yöntemi, vakum altında haddelenerek yapıldığında daha verimli olur. Pahalı bir yöntemdir ve sınırlı sayıda malzeme tipinde etkili olur. Yöntemde, katmanlar tek tek oluşturulur daha sonra katmanlar düzenlenir ve sıcak preslenir.



Şekil 2.7. Difüzyon bağı yönteminde katmanların düzenlenmesi

Toz metalurjisi yöntemi, karmaşık şekilli ve yüksek takviye oranı isteyen malzemelerin üretilmesi için ideal bir yöntemdir. Bu yöntemde tozlar sıkıştırılır ve yüksek sıcaklıklarda sinterlenir.



Takviye ve matris toz halinde iken istenilen oranlarda bir araya getirilir. Karışım sağlandıktan sonra istenilen şekilde kabın içine konup soğuk yada sıcak basma uygulanır. Tozların birleşmesini sağlamak için erime sıcaklığı alında altında bir sıcaklığa ısıtılarak sinterleme işlemi yapılır. Sinterleme işlemi sırasında teorik yoğunluğun %85-95 ine ulaşılabilir. Bilet oluşumundan sonra ekstrüzyon, haddeleme, dövme gibi ikincil işlemler uygulanabilir. (Ürkmez)

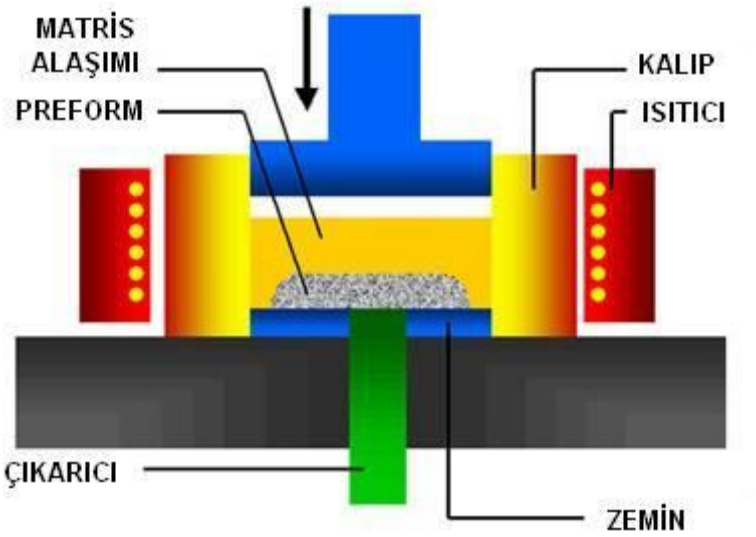
Toz metalurjisi yöntemini erime esaslı yöntemler ile kıyasladığımızda işlem düşük sıcaklıkta gerçekleştiğinden dolayı istenmeyen reaksiyonlar daha az oluşur. Ergitme oluşturulması mümkün olmayan kompozitler bu yöntemle oluşturulabilir. Titanyum ve çeşitli whisker takviyeler birbiri içinde eridiği durumlarda ergitme yöntemleri yetersiz kalır ve burada toz metalurjisi yöntemi devreye girer. Döküm yöntemine kıyasla parçacık ve whisker takviyeli kompozitler daha kolay elde edilir. Toz haldeki alüminyum sıvı haldeki alüminyuma oranla daha iyi uyum sağlar. Bu yöntemde takviye oranları diğer yöntemlere oranla daha yüksektir.

Toz metalurjisi yönteminin en önemli dezavantajı karıştırma aşamasının pahalı olmasıdır. Dolayısı ile üretilecek parçanın ekonomik olarak bu işleme değer olması gerekmektedir. Yüksek derece reaktif tozların işlemlerini kapsadığından potansiyel tehlike oluşturur. İşlem süresi oldukça uzundur. Kullanılan tozlar temiz ve yüksek saflıkta olmalıdır aksi takdirde istenmeyen oluşumlar oluşur ve buda kırılma tokluğunu olumsuz etkiler.

Kompozit malzeme üretim tekniklerinden sıvı faz üretim yöntemleri katı faz üretim yöntemlerine oranla daha ekonomik metotlar olsa da bu metotlarda üretimin başarısı katı fazın sıvı fazı ıslatmasına bağlıdır. Matris ve takviye arasındaki ara yüzey kuvvetlerin matris malzemeden takviyeye iyi bir şekilde aktarılmasını ve dolayısıyla malzemenin elastiklik modülü ve dayanımının artmasını sağlar.

Sıvı faz üretim tekniklerinden sıvı metal infiltrasyonu ön şekillendirme ile fiberlerin yerleştirilmesi ile hacimsel takviyenin ayarlanmasından ve bu fiberlerin bağlayıcı ile tutturulmasından sonra sıvı metalin bu ön şekle emdirilmesi ile oluşan bir üretim prosesidir. İşlem sonucunda oluşan atık gazlar sistemin dışına atılmak zorundadır. İşlem basınç yardımıyla, basınç ile, basınçsız, vakum altında gerçekleştirilebilir. İşlemin vakum altında yapılması elyafların yüzey aktivitesini arttırdığından dolayı erimiş metalin ıslatma kabiliyeti artar ve kompozitin kalitesi artar. Matris ile elyafın yüzey kalitesi birbirine yakınsa elyafın yüzey aktivitesinde azalma olur ve erimiş metal matrisi iyi ıslatmaz ve güçlü bağ oluşmaz. Bu sorun elyafları kaplayarak çözülebilir. Basınç uygulanan işlemlerde ise basınç çok yüksek ise takviye kırılabilir, çok düşük ise iyi ıslatma sağlanmayabilir.

Sıkıştırma döküm tekniği, döküm esnasında oluşan boşluk ve segregasyon sorunun basınç ile çözüldüğü bir üretim yöntemidir. Grafit, SiC, alümina gibi erimiş metal tarafından yeterince ıslatılmayan takviyelerde bu yöntem kullanılır. Basınç nedeniyle ince taneli, porozitesiz, boyut tamlığı sağlanmış ürünler oluşur. Karmaşık şekilli malzemeler bu yöntemle üretilmez, düzgün yapılı malzemeler üretilmelidir. Çok büyük takviyeler kullanılmamalı ve işlem sırasında takviye hasar görmemelidir.



Şekil 2.8. Sıkıştırma döküm yöntemi (Akdoğan, 2008)

Metal eriyiğin, karıştırma teknikleri kullanılarak takviye ile ıslatılması sağlanarak kompozit malzeme üretilebilir. Burada dikkate alınması gereken unsur, karıştırma esnasında takviyelerin zarar görmemesidir. İşlemde takviye sürekli karıştırılan eriyiğin içine atılır.

Kullanılan bazı yöntemler şunlardır.

- Bir enjeksiyon tabancı ile inert gaz altında takviye erimiş metal içine enjekte edilir.
- Erimiş metal kalıba dökülürken takviye ilave edilir.
- Mekanik bir karıştırıcı ile erimiş metal içinde vorteks oluşturma ve takviye vorteks içine verilerek karışım sağlanır.
- Sıvı metal içine küçük birikintiler halinde takviye matris karışımının ilave edilmesi ile kompozit oluşturulur.
- Takviye malzemesinin folyolara paketlenerek erimiş metale alttan ya da üstten ilave edilmesi ile karışım sağlanır.
- Değişik profillerde karıştırıcılarla sıvı metalin karıştırılması ile karışım sağlanır.

- Merkezkaç etkisiyle karışım sağlanır.
- Ultrasonik etkiyle karıştırılabilir.
- Çok yüksek vakum altında yerçekimi etkisiyle karıştırılabilir.

Karıştırma işlemi, atmosferde yapılırsa oksitlenme oluşur. Bu işlem, koruyucu gaz veya vakum altında yapılmalıdır. (Ürkmez)

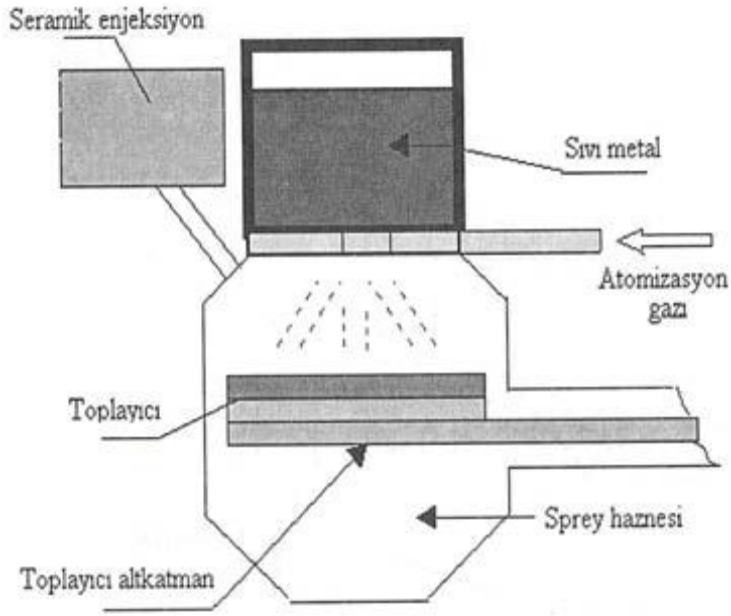
Karıştırma işlemleri sırasında, çökelme, topraklanma, segregasyon, istenmeyen ara yüzey reaksiyonları ve takviyenin hasar görmesi gibi sonuçlar ortaya çıkabilir. Yöntemin ekonomik olması ise en büyük avantajıdır.

Diğer üretim yöntemlerinden biri olarak adlandırabileceğimiz rheocasting ve compocasting yöntemlerinde matris malzemesi bir fırın içersinde erime sıcaklığının 40-50° kadar üzerine ısıtılır ve karıştırılan sıcaklık yavaşça düşürülerek matris %40-50 katı hale geldiğinde içine takviye eklenmeye başlanır ve sıcaklık tekrar yükseltilerek karıştırılmaya devam edilir. Eğer yarı katı halde karışım kalıplara dökülürse işlem rheocasting, sıcaklık yükseltilerek kalıplara dökülürse compocasting adını alır(Ürkmez)

Püskürtme yöntemleri, kompozit üretiminde kabul gören yöntemlerdir. Atomize edilmiş gaz takviye üzerine püskürtülerek birleşim sağlanır. Takviye ile matris aynı anda püskürtülüyorsa yöntem osprey yöntemi adını alır. Takviye oranının yüksek olduğu ve ara yüzey reaksiyonlarının az olduğu bir yöntemdir.

In-sitü tekniğinde erimiş metalin içine element katılarak takviye malzemesi reaksiyon ürünü olarak malzeme içinde oluşturulur. Malzeme, yönlendirilmiş katılaştırmayla farklı fazlar oluşturulacak şekilde işleme tabii tutulur. Benzer bir yöntem XD tekniğinde ise takviye içine bileşik katılarak reaksiyon ürünü elde edilir.

Vidalı ekstrüzyon yönteminde bir hazneden ilerleyen matris ve takviye aynı anda hem ısıtılıp, hem karıştırılır. Malzeme erime sıcaklığı civarına geldiğine yarı katı olarak kalıp içine basılır. Sıkışmalar ve topraklamaların meydana geldiği bir sistemdir. Yarı katı karıştırma olduğu için porozite az, karıştırma sırasında parçacıklar katı halde konduğu için koruyucu gaza gerek yoktur. (Ürkmez)



Şekil 2.9. Osprey yöntemi

2.3.2. Metal matrisli kompozitlerde matris ve takviye

Günümüzde metal matrisli kompozit malzeme üretiminde en yaygın olarak kullanılan malzeme alüminyumdur. Bunun en önemli nedeni hafifliktir. Bunun yanında alüminyumun elektrik iletkenliği, ısı iletkenliği, korozyon direnci gibi birçok özelliği onu önemli bir malzeme konumuna getirmektedir. Bunun yanında bakır, magnezyum gibi diğer metaller ile de yapılan birçok uygulama mevcuttur. Takviye olarak SiC, Al_2O_3 gibi takviyeler endüstride önemli yere sahiptir.

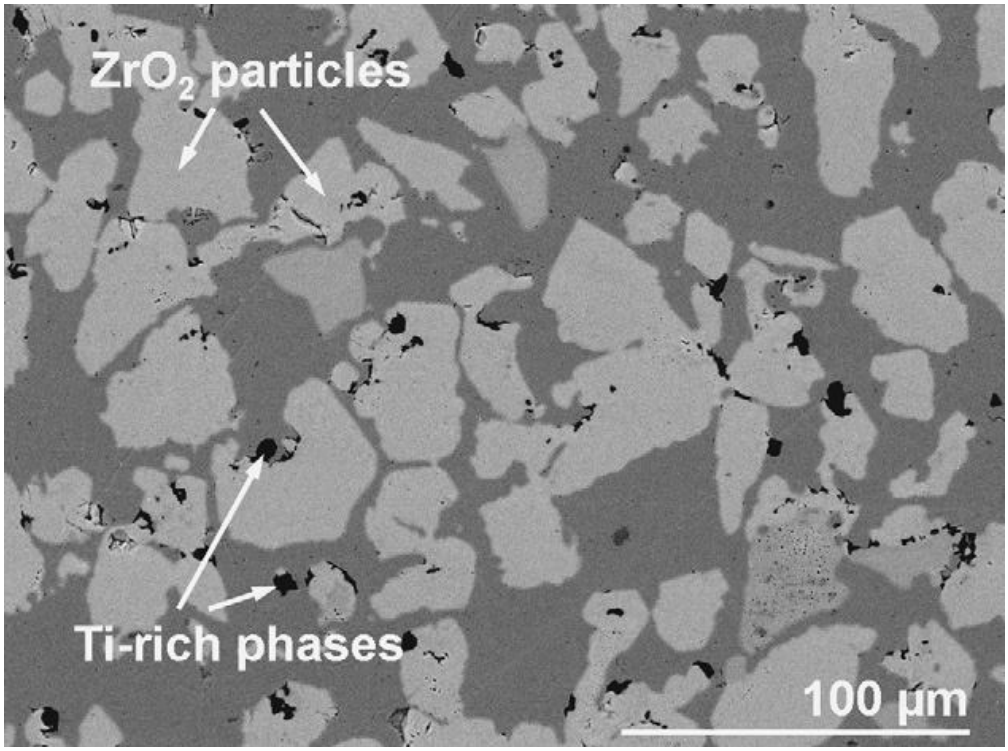
Üretilmek istenen malzeme ihtiyacına göre takviye birden fazla olabilir. Altınkök vd., alüminyum sülfat, amonyum sülfat, su ve 3-10 mikron arası SiC tozları karıştırılarak bir çözelti oluşturmuş, çözelti 1200°C de 2 saat süreyle bir fırında bekletilmiştir. Sülfatlar suyun içinde çözündükten sonra oluşturulan 4 reaksiyon sonrasında Al_2O_3/SiC den oluşan ön şekil hazırlanmıştır. Bir infiltrasyon aparatı ile erime nokrası üzerine ısıtılmış Al-Si alaşımı argon basıncı yardımıyla 300°C ye ısıtılmış ön şekil içine sızdırılmıştır. Alaşım ısıtılmadan önce sistem içine argon gazı salınıp, gaz giriş kapatılmıştır. (Altınkök vd., 2002)

Alümina tanecikleri, SiC taneciklerini kapladığından dolayı bunlar SEM mikroskobunda görülmemiştir. Ayrıca, karışımdaki alümina oranını düşürmenin üretim içindeki hacim boşluğunu düşürdüğünü gözlemlemiştir. Bu sistemde en az %75 boşluk gerekliliğini belirtmiş ve ön şeklin gaz basıncına dayanımlı olması gerektiğini vurgulamıştır. (Altınkök vd., 2002)

Giu ve Kang, elektronik paketleme sektöründe kullanılmak amacıyla 6061 alüminyum üzerine Al/SiC püskürterek katmanlı kompozit malzemeler üretmişlerdir. Altlık ile püskürtme arası iyi bağlanma ve uyumluluk sağlanmıştır. SiC ile altlık arasında bir geçiş bölgesi olur. Bu da termal genleşme katsayıları farkından doğan gerilmeyi düşürür, altlık ve püskürtme arasındaki bağı kuvvetlendirir. Bu bölge altlığın ilk sıcaklığı gibi birçok faktörden etkilenebilir. Bu işlemde Al-SiC ve Al-Al/SiC arasında oksitlenme ve ara yüzey reaksiyonları görülmemiş ve SiC sağlamlığını korumuştur. Püskürtme yöntemlerinden plazma püskürtme yöntemi kullanılmıştır. (Giu ve Kang, 2000)

Wittig vd., ZrO_2 (Zirkonyum dioksit) takviyesi kullanarak çelik matrisli kompozitlerini basınçsız sıvı infiltrasyonu yöntemi ile üretmişlerdir. Ortalama yoğunluğu 6,6 gr/cm^3 olan bu kompozitlere üç nokta eğme deneyi ve rezonans metoduyla young modüllerine bakılmıştır. Eğilme dayanımları 532 MPa ve 534 MPa olarak ölçülmüş, young modülü 209 GPa olarak ölçülmüştür. %45 takviye kullanılmıştır. Zirkonyum dioksit stabilize edilmemiş, MgO ile stabilize edilmiş ve CaO ile stabilize edilmiş olarak ön şekilde kullanılmıştır. Ayrıca üretimde titanyum kullanılmıştır. (Wittig vd., 2007)

Sıvı metal infiltrasyonu özellikle yüksek takviyeli kompozitlerin üretiminde büyük avantaj sağlamaktadır. Takviyeler önceden şekillendirilip yerleştirildiğinden karıştırma yöntemlerine oranla ıslatma konusunda daha az sorunlar yaşanmaktadır. Wittig ve arkadaşlarının oluşturduğu ZrO_2 takviyeli kompozitin içindeki titanyum, aktivatör olarak ıslatmayı iyileştirmek amacıyla kullanılmıştır. Dolayısıyla titanyumca zengin fazlar oluşmuştur. Şekil 2.10 da oluşan mikroyapı görüntüsü mevcuttur.



Şekil 2.10 Çelik matrisli ZrO_2 takviyeli kompozit içinde takviye ve titanyumca zengin faz (Wittig vd., 2007)

Ramesh ve Ahamed in-situ yöntemiyle %2.8, %6.7 ve &10 TiB_2 takviyeli 6063 alüminyum matrisli kompozitler üretmişler. Al-%10Ti ve Al-%3B temel alaşımları kullanılmıştır. TiB_2 oranındaki artış ile beraber aşınma oranları ve sürtünme katsayıları arasında bir düşüş gözlemlenmiştir. (Ramesh ve Ahamed, 2010)

3. ALÜMİNYUM MATRİSLİ SiC TAKVİYELİ KOMPOZİTLER

Kompozit malzemeler, endüstrinin gelişmesi ile birlikte artan bir öneme sahip olmaktadır. Metal matrisli kompozitler yüksek dayanımları sayesinde sektörde önemli bir yere sahiptir. Alüminyum matris seçiminde en popüler metallerden biridir. SiC ise takviye olarak oldukça sık tercih edilen bir seramiktir.

3.1. Alüminyum

Alüminyum, atom numarası 13 olan gümüş renkte sünek bir metaldir. Doğada genelde boksit cevheri halinde bulunur ve oksidasyona karşı üstün direnci ile tanınır. Endüstrinin pek çok farklı kolunda milyonlarca farklı ürünün yapımında kullanılmakta olup dünya ekonomisi içinde çok önemli bir yeri vardır. Alüminyumdan üretilmiş yapısal bileşenler uzay ve havacılık sanayi için vazgeçilmezdir. Hafiflik ve yüksek dayanım özellik gerektiren taşımacılık ve inşaat sanayinde geniş kullanım alanı bulur. (tr.wikipedia.org)

İstenilen düzeyde mekanik özelliklerin elde edilmesi için alüminyumlar alaşımlandırılarak ve takviye eklenerek kompozit malzemeye dönüştürülebilir. Bu sayede ağırlıkça hafif, yüksek performansa sahip alüminyum merkezli malzeme sistemleri elde edilebilir.

Alüminyumun gümüş rengi, havaya maruz kaldığında oluşan oksit tabakasından meydana gelmektedir. Zehirleyici ve manyetik değildir, kıvılcım çıkarmaz. Saf alüminyumun çekme dayanımı 49 MPa iken alaşımlandırıldığında 700 Mpa büyüklüğüne kadar çıkar. Yoğunluğu çeliğin ve bakırın yaklaşık üçte biri kadardır. Kolaylıkla dökülebilir, makinede işlenebilir ve dövülebilir. Çok üstün korozyon özelliklerine sahip olması, üzerinde oluşan oksit tabakasının koruyucu olmasındandır.

Fiziksel, kimyasal ve mekanik davranış olarak değerlendirildiğinde alüminyumda çelik, bronz, bakır, çinko, kurşun ve titanyum gibi metaller sınıfında önemli bir malzemedir. Alüminymu metal olarak değerli yapan özelliklerin başında hafifliği, mukavemeti, geri dönüşüm özelliği, korozyon dayanımı, dayanıklılığı, sünekliği, şekil verilebilirliği, elektrik ve ısı iletkenliği gelir. Alüminyum kolay soğuyup

ısıyı emen bir metal olması nedeniyle özellikle soğutma sanayinde, bakırdan daha ucuz olması ve daha kolay işlenebilmesi nedeniyle birçok sektörde yaygın olarak kullanılan bir metaldir. Çeliğin neredeyse üçte biri olan 2,7 gr/cm^3' lük yoğunluğu ile en hafif olan metallerden biridir. Bu özellikleri sayesinde yük taşıyan bir aracın bir aracın mutlak ağırlığını önemli ölçülerde hafifleterek taşıyabileceği yük miktarının artmasını sağlar. Bu uygulamanın ihtiyaç duyacağı malzeme mukavemetini sağlamak için alaşım kimyası değiştirilerek çok daha güçlü bir malzeme yaratılabilir.

Alüminyum ve alaşımları haddeleme işlemi folyo haline dönüştürülebilir. Bu kalınlıkta sıvı, gaz ve her türlü koku için mükemmel bir bariyer oluşturarak geçişi engeller. Yiyecek ve içeceklerin aromalarının uzun süre bozulmadan saklanması alüminyum içeren saklayıcılarda mümkündür. Bu nedenden dolayı gıda ve ilaç sektöründe kullanım alanı bulur.

Alüminyum, geri dönüşümü sağlanabilen bir metaldir. Alüminyumun geri kazanımla yeniden ergitilmesi için gerekli enerji, aynı miktar metalin cevherden başlayarak üretilmesi için gereken enerjisinin %5'i kadardır.

Hafiflik kıyaslaması yapılırken malzemelerin özgül dayanım değerleri karşılaştırılır. Alüminyum dayanım/yoğunluk oranı yani özgül dayanım değeri olarak hafiflik isteyen uçak, silah, yüksek gerilim hatları gibi yapılar için idealdir.

Alüminyumun elektik ve ısı iletkenliği bakıra göre düşüktür. Özgül ısı iletkenliği ve özgül elektrik iletkenliği ise daha yüksektir. Bundan dolayı elektrik hatlarında alüminyum kullanılır.

Alüminyum elastik bir malzemedir. Bu nedenle ani darbelere karşı dayanımı düşük sıcaklıklarda azalmaz. Çeliklerin ise düşük sıcaklıklarda ani darbelere karşı dayanımları azalır. Çeşitli alüminyum alaşımlarının mukavemeti, normal yapı çeliğinin mukavemetine denktir.

Diğer metallerle kıyaslandığında daha düşük yoğunluk ve mukavemetine sahip olmasına rağmen alaşımlandırma sayesinde yüksek enerji sönümleme yeteneğine sahip hale gelir. Özellikle araçların tasarımında enerji sönümleyen aksamlar, alüminyum kutucuklar ve bunların içine doldurulmuş alüminyum köpüklerden üretilmiştir.

Alüminyum metaller arasında önemli bir yere sahiptir. Yer kürede bol miktarda bulunmasına rağmen serbest halde çok nadir bulunur. Alüminyumun ticari olarak üretimi yüzyıldan fazladır.

Çizelge 3.1. Alüminyumun fiziksel özellikleri

Maddenin hali	Katı
Yoğunluk	2,7 gr/cm^3
Sıvı haldeki yoğunluğu	2,375 gr/cm^3
Ergime noktası	660,32 °C
Kaynama noktası	2519 °C
Ergime ısısı	10,71 kJ/mol
Buharlaşma ısısı	294 kJ/mol
Isı kapasitesi	24,2 J/mol.K (25 °C de)

Alüminyumun yoğunluğu, bakır ile karşılaştığında oldukça hafif kalmaktadır. Bakırın yoğunluğu olan 8,96 gr/cm^3 ile kıyaslandığında oldukça hafif kalmaktadır. Çelik ve demir ile karşılaştırıldığında yine çok hafif kalmaktadır. Ergime noktaları açışından baktığımızda ise yine diğer metallere oranla düşük bir sıcaklıkta erimektedir.

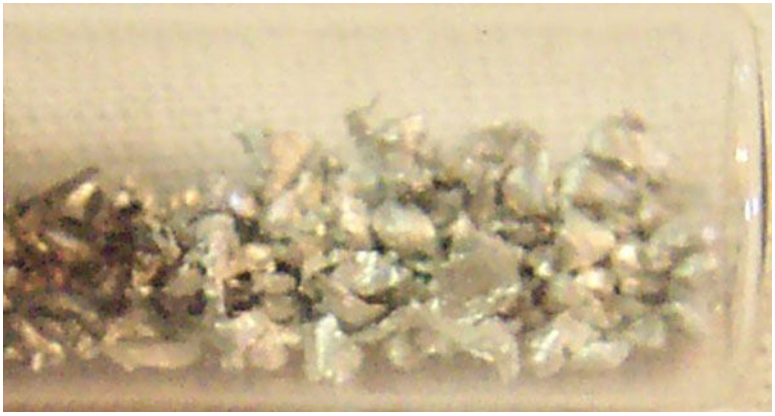
Yüzey merkezi kübik yapıya sahip alüminyumun sıcak ve soğuk şekil verilebilirliği iyidir. Ekstrüzyon yöntemi ile karmaşık geometriye sahip ürünler elde edilebilir. Ekstrüzyon yöntemiyle karmaşık geometriye sahip ürünler üretilebilir.

Alüminyum parlatılarak dekoratif görünümlü yerlerde ve ışık yansıtıcı yerlerde kullanılabilir. Alüminyum içindeki kalıntılar parlatma işleminde zorluk çıkardığı için bu durumlarda saf alüminyum kullanılır. Sertliği ve dayanımı yüksek alaşımların üstü saf alüminyum ile kaplanarak korozyon problemi çözülür. (Can, 2006)

Çizelge 3.2. Alüminyumun bazı özellikleri

Elektrik direnci	26,5 NΩ.m (20°C de)
Isıl direnci	237 W/(m.K)
Isıl genleşme	23,1 µm/(m.K) (25°C de)
Ses hızı	500 m/s (20°C de)
Mohs sertliği	2,75
Kristal yapısı	Yüzey merkezli kübik
İyonlaşma enerjisi	577,5 kJ/mol

Gıda ve elektrik sektöründe kullanılan alüminyum %99,99 saflıktadır. Alüminyum borular ve saçlar %99,5 ile %99,8 arası saflıktadır. %99,99 saflıktaki alüminyum yüksek nitelikli alüminyum olarak bilinir. Yüksek nitelikteki alüminyum yumuşaktır ve kolay işlenebilir, ısı ve elektriği iyi iletir, ışığı yansıtır ve korozyona karşı dirençlidir.



Şekil 3.1. Saf alüminyumun görüntüsü

3.1.1. Alüminyum alaşımları ve özellikleri

Alüminyuma katılan alaşım elemanları başlıca özellikleri iyileştirir. Özellikle mukavemet artar. Başlıca alaşım elementleri; magnezyum, manganez, silisyum, bakır, çinko, kurşun gibi elementlerdir.

Alüminyum alaşımları üç farklı şekilde bulunabilir.

- Alüminyum içinde katı halde eriyebilirler.
- Katı halde alüminyumda erimeyip veya sınırlı halde eriyip mekanik bir karışım teşkil ederler.
- Alüminyumla yada birbirleri ile metaller arası veya kimyasal bileşik oluştururlar.

Alüminyum alaşımları dövme ve döküm alaşımları olarak iki gruba ayrılır.

Dövme alaşımları dört rakam ile gösterilir. Döküm alaşımları ise dört rakam bir nokta ile gösterilir.

Çizelge 3.3. Alüminyum dövme alaşımları

1XXX	Saf alüminyum
2XXX	Al-Cu alaşımı
3XXX	Al-Mn alaşımı
4XXX	Al-Si alaşımı
5XXX	Al-Mg alaşımı
6XXX	Al-Mg-Si alaşımı
7XXX	Al-Zn alaşımı
8XXX	Al-Li alaşımı

1XXX serisi genellikle korozyon direnci istenen elektrik ve kimya endüstrisinde kullanılır.

2XXX serisi esas alaşım elementi bakır olmakla birlikte başta magnezyum olmak üzere diğer alaşım elementleri de bulunabilir, yüksek mukavemet istenen havacılık sektöründe kullanılabilir.

3XXX serisi esas alaşım elementi mangandır. Boru, sıvı tankları ve mimari uygulamada kullanılır.

4XXX serisi esas alaşım elementi silisyumdur. Termal genleşme katsayısı düşük, aşınma direnci ve korozyon dayanımı yüksek alaşımlardır. Kaynaklı yapılarda, otomobil parçası üretiminde kullanılır.

5XXX serisi esas alaşım elementi magnezyumdur. Magnezyum oranı arttukça sertlik ve mukavemet oranı artar fakat süneklik azalır. Denizel korozyona direnci yüksektir dolayısıyla bu ortamda çalışan parçaların imalatında kullanılır.

6XXX serisi esas alaşım elementleri magnezyum ve silisyumdur. Şekillendirme kabiliyeti yüksek olan alaşımlar bu alaşımlar özellikle ekstrüzyon ile üretilen parçalaraın imalatında kullanılır.

7XXX serisi esas alaşım elementi bakır olup, magnezyum, krom ve zirkonyum ilave edilen alaşım elementleridir. Bu seri alaüminyum alaşımları arasında en yüksek mukavemete sahip olan seridir. Uçak parçaları ve diğer yüksek dayanım isteyen yerlerde kullanılır.

8XXX serisi esas alaşım elementi lityum olup kalay eklentiside yapılabilmektedir. Özellikle uçak ve uzay yapılarında kullanılmaya başlanan bu malzeme iyi yorulma direnci ve iyi tokluk özelliklerine sahiptir. Fakat diğer alüminyum alaşımları ile kıyaslandığında üretim maliyeti yüksektir. (Akdoğan, 2008)

Alümşnyumun döküm alaşımları ise üçüncü sayı ile dördüncü sayı arasına nokta konularak gösterilir.

Çizelge 3.4. Alüminyumun döküm alaşımları

1XX.X	Saf alüminyum
2XX.X	Esas alaşım elementi bakır
3XX.X	Esas alaşım elementi silisyum
4XX.X	Esas alaşım elementi silisyum
5XX.X	Esas alaşım elementi magnezyum
6XX.X	Kullanılmıyor
7XX.X	Esas alaşım elemnti çinko
8XX.X	Esas alaşım elementi kalay

3XX.X serisini, 4XX.X serisinden ayıran faktörler içinde bakır ve magnzeyum bulunabilmesidir. Sanayide kullanılan alüminyumun önemli bir kısmı 3XX.X serisidir.

1XX.X, 5XX.X ve 8XX.X serisi ısıl işlem yapılmayan, diğer seriler ise ısıl işlem yapılabilen döküm alaşımlarıdır. Dövme alaşımlarından ise 1XXX, 3XXX, 4XXX ve 5XXX serileri ısıl işlem uygulanamayan alaşımlardır. Bu alaşımlar sadece şekil değiştirme yoluyla değiştirilir. Diğer dövme alaşımları ise ısıl işlem ile sertleştirilebilir.

Alüminyumun adlandırılmasında 1. Rakam alüminyum alaşım grubunu simgeler. 2. Rakam ise orijinal alaşımdaki değişimi ifade değişimi ifade eder. Orijinal alaşım için 0 kullanılır. Son iki rakam 1XXX serisinde alüminyumun saflığını, diğerlerinde çeşitli özelliklerdeki alaşımları belli eder. Bunlar Amerikan Alüminyum Birliği kriterleri olup, farklı standartlar da kullanılmaktadır.

3.2. Silisyum Karbür

Silisyum karbür, silisyum dioksitin kok kömürü ile elektrikli fırında indirgenmesi sonucu gerçekleşen saf olarak silisyum eldesi sırasında gerekenden daha fazla karbon kullanılması durumunda oluşan bileşiktir. Yüksek mukavemet, yüksek oksitlenme direnci ve termal şok direnci gibi özelliklere sahiptir. Pişirme fırınlarında kullanılan refrakterler içinde önemli bir yere sahiptir. Balistik zırh plakalar, aşınmaya dirençli nozul, döküm filtresi, döküm potası ve seramik fırın malzemelerinde silisyum karbür bazlı malzemeler kullanılır.

Piyasada iki çeşit silisyum karbür bulunmaktadır. Yeşil silisyum karbür özellikle sert ve çok kırılgan bir aşındırıcıdır. Sertliği yaklaşık olark 9,5 Mohs kadardır. Çarpma ve darbelere karşı duyarlıdır. Sert malzemelerin işlenmesinde kullanılır. Siyah silisyum karbür, oldukça sert ancak yeşil silisyum karbüre oranla daha az kırılgandır. (saykar.net)

Silisyum radyoaktif bir mineral değildir. Nem tutma özelliği vardır bu yüzden kuru yerde muhafaza edilmelidir. Toksik maddeler ve kanserojen maddeler içermez. Serbest silika içermez ancak kumlanmadan oluşan tozlar solunmamalıdır. Metalik yada metalik olmayan tüm yüzeylerde korozif etki yapabilir. Bu nedenle kullanımının ardından boya gibi kaplama işlemleri uygulanmalıdır. Üzerinde kumlama yapılan her türlü malzemenin üzerinde süratli bir temizleme etkisi yapar.

Açık gözenekli silisyum karbürler, silikat bağlama, nitrit bağlama ve yeniden kristallendirme ile üretilir. Silikat bağlama işleminde oksit bağlayıcı, % 5-15 oranında iri taneli SiC arasına eklenir. En etkin yöntem olmasına rağmen oksit varlığı yüksek sıcaklığa ve korozyona karşı direnci düşürür. Nitrit bağlama yöntemi, silisyum karbür ve silikon tozlarının karışımından üretilir. Önce nitrojen atmosferinde sonra oksitleme atmosferinde sinterlenir. Üretim sonucu küçük gözenekli, %5 poroziteye sahip ürün elde edilir. Bu yöntemle üretilen silisyum karbürler demir olmayan metaller için oldukça iyi ıslatma sağlar. Yeniden kristallendirme ise saf silisyum karbür tozlarından elde edilir. Bağlayıcı eklenmediği için işlem yüksek sinterleme sıcaklığında gerçekleşir. Bu sıcaklık 2300-2500 °C arasındadır. Bağlayıcı eksikliği malzemenin kullanım sıcaklığını 1650 °C civarına kadar çıkarır. %10-15 arası poroziteye sahiptir. Bu da termal şok direncini arttırır. Nitrit bağlama yöntemi ile üretilen silisyum karbürler ile

karşılaştırıldığında daha düşük korozyon direnci ve mekanik dayanımı vardır ancak sıcaklığa karşı dayanımları daha yüksektir. (substech.com)

Yoğun silisyum karbürler sinterleme, sıvı fazda sinterleme, sıcak presleme ve reaksiyon ile silikon bağlama ile elde edilir. Sıcaklık 2000 °C üzerinde ise sıvı fazda sinterleme olarak adlandırılır. Bu yöntemde yüksek dayanım ve tokluk sağlanır. Sıcak preslemede 2000 atm basınç altında preslenir ve yüksek dayanım sağlanır. Reaksiyon ile silikon bağlama yönteminde silisyum karbür ve karbon tozları arasına sıvı silikon infiltre edilerek karbon ile silikon reaksiyonu sağlanır. Bunun sonucunda silisyum karbür taneleri arasında bağ oluşturulur. (substech.com)

Seçilen yöntem ne olursa olsun bütün silisyum karbürlerde bulunan ortak özellikler vardır.

- Düşük yoğunluk
- Yüksek mekanik dayanım ve sertlik
- Sıcaklığa dayanım
- Yüksek sıcaklıklarda iyi oksidasyon ve korozyon direnci
- Çok iyi termal şok direnci
- İyi aşınma direnci
- Düşük termal genleşme katsayısı
- Yüksek termal iletkenlik

Metal matrisli kompozit malzelerin üretiminde Al_2O_3 ile birlikte en çok kullanılan takviyedir. Çok küçük taneli parçacıklar topaklanma gibi sonuçlar yaratabilir, büyük taneli parçalar ise dayanımı yeteri kadar arttırmayabilir. Takviye boyutu seçilirken bu gibi parametrelere dikkat edilmelidir. SiC partikül ve whisker tipinde de üretilmektedir. Bu şekilde takviye kullanıldığında bu malzemelere haddeleme, ekstrüzyon gibi ikincil işlemlerde uygulanabilmektedir.

SiC takviyesinin oksidasyon direnci, yüksek sıcaklıkta rijitlik ve mukavemet özelliklerini koruması ve ergimiş alüminyum içindeki etkisi bakımından bor fiberlerden daha iyidir. Diğer bir üstünlüğüde bor fiberlere göre daha ekonomik olmasıdır. (Akdoğan, 2008)

3.3. Alüminyuma Silisyum Karbür Takviyesi İle Değişenler

Alüminyum ve SiC, kompozit üretimi için seçilen matris ve takviyeler arasında önemli bir yere sahiptir. Metalin yüksek termal iletkenliği ve seramiğin düşük termal genleşme katsayının birlikte kullanımından yararlanır. Uzay, otomotiv, mikrodalga uygulamalarında birçok metal veya seramiğin yerini almıştır. Al-SiC kompoziti W-Cu, Mo, BeO, Mo-Cu, AlN, AlSi ile yavaş yavaş yer değiştirmeye başlamıştır.

Alüminyum matrisli silisyum karbür takviyeli kompozitlerin bazı avantajları şunlardır.

- Kompozit oluşumundan sonra kazanılan termal genleşme katsayısı
- Yüksek termal iletkenlik
- Hafiflik ve dayanım
- Düzgün yüzey
- Diğer kompozit malzemelere oranla ekonomik olması

Alüminyum matrisli silisyum karbür takviyeli kompozit malzemelerin üretiminin diğer kompozit malzemelere göre daha ekonomik olması onu kullanım açısından oldukça popülerleştirmiştir. Piyasada kullanılan birçok yöntem ile üretilebilir. Maliyet açısından uygunluğu nedeniyle döküm yöntemi tercih sebebidir.

Takviyenin etkisiyle elastisite modülü, mukavemet, sertlik gibi özelliklerde artış sağlanır. Termal genleşme katsayısı %50 ye yakın biçimde artış gösterir. Sağlanan bu artışlarda kullanılan alüminyum serisi, SiC çeşidi, matris ve takviye eğer toz halinde kullanılıyorsa boyutları, üretim metodu, üretim koşulları, koruyucu gaz ihtiyacı varsa

koruyucu gazın kullanılıp kullanılmaması, karıştırmanın düzgün yapılıp yapılmadığı gibi bir çok parametre etkilidir.

Birçok metal matrisli kompozit malzeme gibi alüminyum matrisli silisyum karbür takviyeli kompozit malzemelerde özellikleri açısından endüstri için önemlidir. Ancak üretim esnasında, takviyenin zarar görmesi, takviyenin uniform dağılmaması, istenmeyen reaksiyonlar gibi sorunlar çıkabilir. Bunun için doğru takviye ve matrisin doğru yöntem ile üretilmesi gerekir. Üretim parametreleri iyi belirlenmelidir.

4. ÜRETİM VE DENEYLER

Tez çalışması kapsamında alüminyum matrisli silisyum karbür takviyeli kompozit malzeme üretilmiş ve çeşitli mekanik özellikleri incelenmiştir. Matris malzemesi olarak 5000 serisi alüminyum dövme alaşımlarından 5754 alüminyun alaşımı kullanılmıştır. Takviye malzemesi olarak SiC tercih edilmiştir. İndüksiyon fırını yardımıyla alüminyum potada eritildikten sonra ilave edilen SiC ile karışımı sağlandıktan sonra kalıba döküldükten sonra otomatik hidrolik pres yardımıyla yüksek basınç altında malzeme üretilmiştir. Daha sonra çeşitli testler ile malzeme özellikleri incelenmiştir.

4.1. Malzeme

Alüminyum dövme alaşımları arasında 5000 serisi alaşımlar Alüminyumun magnezyum alaşımları olarak bilinir. Isıl işlem ile sertleşmeyen, kaynak edilebilirliği iyi olan bir alaşımdır. İçinde bulunan magnzeyum oranı %2.5 ile %3.5 arası değişmektedir. Bununla birlikte endüstriyel olarak kirletilmiş atmosferlere ve koroyona karşı oldukça iyi bir direnci vardır. Haddelemeden sonra sabit bir duruma gelene kadar yumuşar. Farklı standartlarda, farklı şekilde gösterimleride vardır. A95754, Al Mg3, Al 3.1Mg Mn Cr, AW-5754 gibi tanımlamalarıda mevcuttur.

5754 alüminyum alaşımının birçok alanda kullanımı mevcuttur.

- Gemi yapımı
- Balıkçılık ekipmanları
- Perçinler
- Araç gövdeleri
- Gıda sektörü
- Kimyasal ve nükleer yapıların kaynaklanmış yerleri

Alaşım içinde magnezyum bulunması kompozit malzeme üretimi için bir avantajdır. Alüminyun ile SiC arasındaki ıslatmanın sağlanması için %2.5 civarı magnezyum bulunması avantajdır. Ancak fazla magnezyum kırılganlığın artmasına neden olabilir.

Çizelge 4.1. Kullanılan alaşımın kimyasal bileşenleri

Ağırlık(%)	Si	Fe	Cu	Mg	Mn	Cr	Zn	Ti
Maksimum	-	-	-	2.6			-	-
Minimum	0.4	0.4	0.1	3.6	0.5	0.3	0.2	0.15

5000 serisi alüminyumlar arasında 5083, 5086 gibi magnezyum oranı daha fazla olan alaşımlarda mevcuttur. Islatma problemi çıkan ve oluşturulan kompozitin sertliğinin istenilen büyüklüğü karşılaması durumunda magnezyum oranı daha yüksek alüminyum alaşımlarıda tercih edilebilir.

Çizelge 4.2. Alüminyumun 5754 alaşımının bazı özellikleri

Yoğunluk	2.66 kg/m^3
Erime noktası	600 °C
Elastisite modülü	68 GPa
Elektrik direnci	$0.049.10^{-6}$ Ω.m
Termal iletkenlik	147 W/m.K
Termal genleşme	24.10^{-6}/K

Üretilen kompozit malzemede kullanılan takviye malzemesi 44 mikron çapında siyah silisyum karbür partikülleridir. Kompozit malzeme üretiminde birçok takviye gibi silisyum karbür de yüksek elastisite modülüne sahiptir. Bu sayede malzeme üzerine düşen yükün kaldırılmasında takviye önemli rol oynar. Silisyum karbür alüminyum matrisli kompozit malzemelerin üretiminde oldukça sık kullanılan bir takviye çeşididir.

Çizelge 4.3. SiC ve bazı takviyelerin elastisite modülü (Taha, 2000)

Al_2O_3 kısa elyaf	300 GPa
Al_2O_3 tek kristal	470 GPa
Al_2O_3 çok kristal	170 GPa
SiO_2	73 GPa
ZrO_2 elyaf	345 GPa
B_4C elyaf	425 GPa
SiC kısa elyaf	400-700 GPa
SiC elyaf	450 GPa
SiC partikül	448 GPa
TiC elyaf	450 GPa
WC	650 GPa
TiB_2	510 GPa
Si_3N_4	207 GPa

Kullanılan takviye boyutu kompozit malzeme üretimi için önemli bir parametredir. Takviyenin boyutları, şekli ve yüzdesi artış sağlanacak özelliğin artış miktarı ile doğrudan orantılıdır.

Partikül boyutunun metal matrisli kompozit malzemeler üzerindeki etkisi için partikül boyutu büyüdükçe dayanımın azaldığını söyleyebiliriz. Bu nedenle büyük boyutlu partiküller kullandıkça malzemeye kazandırılacak dayanımda ana faktör takviye oranı olacaktır. Küçük boyutlu partiküller kullanıldığında ise dayanım takviye oranı çok yüksek olmasada artacaktır. Diğer bir yardan takviye boyutu büyüdükçe, kompozit dayanımı için takviyenin şekli, silindirik yada elips olması önem kazanmaktadır. Ancak küçük boyutlu takviye kullanımında bu durum dayanımdan bağımsızdır. (Yeuguang, 2001)

Farklı boyutta takviyeler ile üretilen kompozit malzemeler takviye oranı aynı bile olsa özellikler açısından farklılıklar gösterebilir. Bu nedenle farklı boyutta takviye kullanılan malzemelere ayrı birer malzeme gözüyle bakılmalıdır.

Alüminyumun matris, silisyum karbürün takviye olarak kullanıldığı malzeme üretiminde bunlar dışıda karıştırma esnasında silisyumda kullanılmıştır. Burada amaç, silisyum sayesinde sıvının akışkanlığını arttırmaktır. Takviye ile matris arasında ıslatmanın sağlanamadığı durumlarda magnezyum eklenmeside mümkündür. Ancak kullanılan alaşımdaki magnezyum oranı yeterlidir.



Şekil 4.1. Çeşitli boyutlarda SiC tozları

4.2. Eritme

Kompozit malzeme üretiminde sıvı fazda üretim yöntemlerinden biri kullanılıyorsa matris malzemesi eritilmek zorundadır. Levha halindeki alüminyum alaşımı potaya sığacak büyüklükte parçalara ayrıldıktan sonra, indüksiyon fırını yardımıyla erime sıcaklığının üzerinde bir sıcaklığa getirilerek sıvı hale gelmesi sağlanmıştır. Alüminyum alaşımları, 600 °C üzerinde erimektedir. Kullanılan takviye matris içinde erimemelidir.

4.2.1. İndüksiyon fırını

İndüksiyon fırını, alternatif akımın oluşturduğu manyetik alan yardımıyla elektrik ileten malzemelerin ısıtıldığı veya eritildiği fırındır. Isıtılacak parça, bobin içine yerleştirilerek bobin içinden yüksek frekanslı akım geçirilir. Bu sayede malzemede indüksiyon voltajı oluşturulur. Bu voltaj parçanın üzerinde bir elektrik akımı meydana getirir. Bu akımın karşılaştığı direnç parçanın ısınmasına neden olur. Isıtma düzeyi frekansın ayarlanması ile denetlenir. Bu tip fırınlar dökümcülükte metallerin eritilmesi ve metal yüzeylerin sertleştirilmesinde kullanılır.

Bu fırınların metal işleme endüstrisinde kullanılmasının bazı avantajları vardır. Metalleri ısıtma süresi çok kısadır. Bütün parçayı ısıtmak yerine metalin istenilen bölümünü ısıtabilir. Sürekli fırın sıcaklığının korunma zorunluluğu yoktur. Güç, yalnızca gerektiğinde ısıtma için kullanılır. Fuel oil veya gaz ateşlemeli fırınlardan daha iyi bir çalışma ortamı sağlar. Diğer fırınlardan çıkan gazlar hava kirliiği yaratırkken indüksiyon fırınlarında bu sıkıntılar yaşanmaz. İndüksiyon fırını kullanıldığında alaşımları mükemmel karıştırmak mümkün olmaktadır. Fırının ısısını kontrol etmek kolaydır ve fırında ısı hassas biçimide kontrol edilebilir. (Ünver)

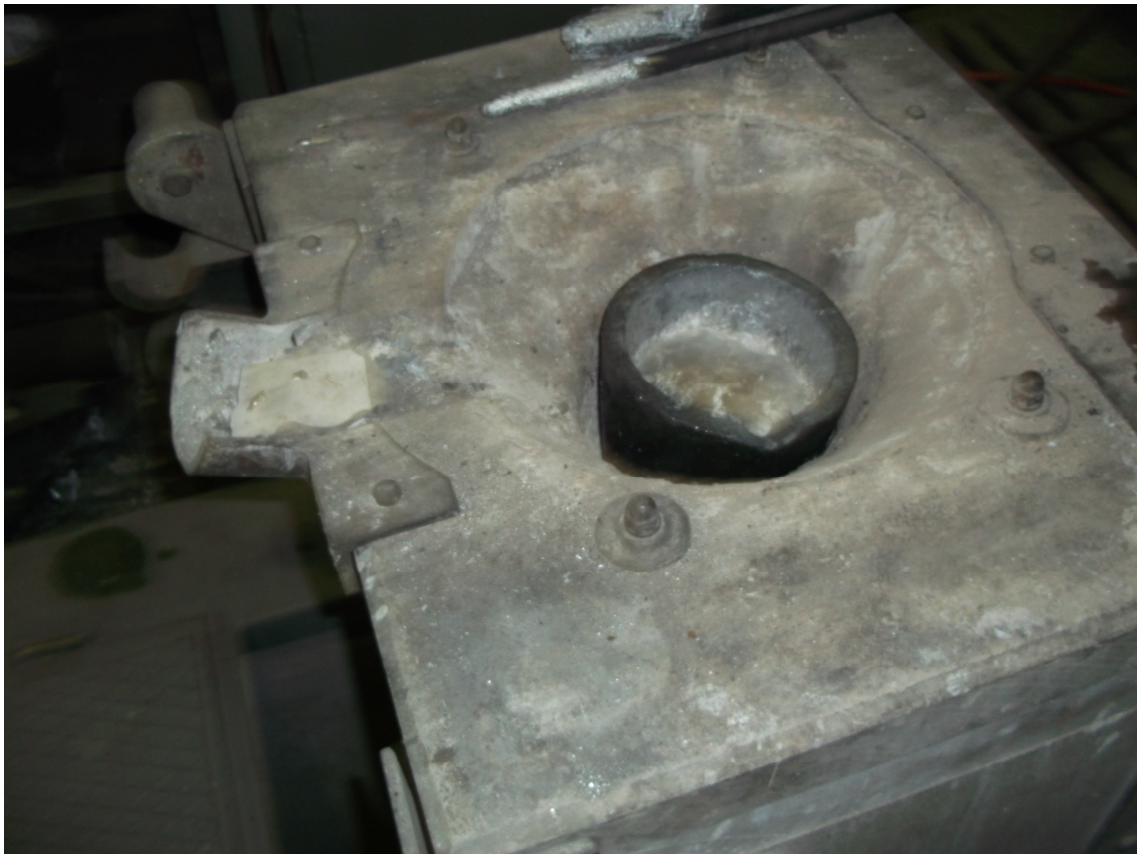


Şekil 4.2. Üretimde kullanılan indüksiyon fırını

4.3. SiC Takviyesi Ve Karıştırma

Alüminyum eritildikten sonra içine 44 mikron çapındaki SiC partikülleri eklenerek yarı katı durumda karıştırılmaya başlanmıştır. Karışımın içine alüminyumun akışkanlığını arttırmak amacıyla silisyum takviye edilmiştir. Karıştırma esnasında farklı geometriye sahip karıştırıcılar kullanmak silisyum karbürün alüminyumun içinde daha iyi bir şekilde karışmasını sağlar.

Karıştırma işleminden önce kullanılan alüminyumun kimyasal özellikleride dikkate alınarak karışımın içinde ağırlıkça %10 silisyum karbür olacak şekilde takviye eklemesi yapılmıştır. Takviyenin karışım içinde homojen olarak dağılmasına dikkat edilmiş ve potanın dibine takviyenin çökmemesi sağlanmıştır.



Şekil 4.3. Malzemenin dökümden önceki hali

Silisyum karbürün alüminyum içinde düzgün olarak karışması kompozit malzemenin özellikleri açısından önemlidir. Karıştırma esnasında topaklanma, dibe çökme ve takviyenin hasar görmesi gibi sorunlar ortaya çıkmamalıdır. Karıştırma işlemi koruyucu gaz altındada yapılabilir. Bu sayede matris takviye karışımı havanın korozif etkilerinden korunabilir.

Üretimde kullanılan takviyenin boyutunun küçük olması karıştırma esnasında topaklanma oluşumunu sağlayabilir. Çok küçük boyutlu takviyeler ile yapılan çalışmalarda karıştırma işlemi otomasyona bağlanabilir. Ayrıca takviyelere kaplama yapmak bu sorunu çözmede ve ıslatmanın sağlanmasında çözüm olabilir. Ayrıca takviye kaplaması daha yüksek dayanımlı malzemelerin elde edilmesine öncülük edebilir. Metal matrisli kompozit malzeme üretiminde sıvı faz üretim yöntemlerinden biri kullanılıyorsa partikülün boyutları önemli bir parametredir ve üretime göre optimize edilmesi gerekebilir.

4.4. Sıkıştırma Döküm

Metal parçaların üretiminde en çok kullanılan yöntem döküm yöntemidir. Kolay ve ucuz bir yöntem olması bunda en önemli etkendir. Gravite döküm, vakum altında döküm, sıkıştırma döküm gibi pekçok döküm yöntemi üretimde kullanılabilir.

Sıkıştırma döküm, porozite ve segregasyon gibi döküm kusurlarının en aza indirgenmesini sağlayan malzeme dökümünün yüksek basınç altında yapıldığı bir döküm yöntemidir. Sıvının yüksek basınç altında katılaşması sayesinde döküm kusurları azaltılır. Bu şekilde boyut tamlığı yüksek, az kusurlu malzemeler üretilebilir.

Sıkıştırma döküm yöntemi, alüminyumun hem döküm hem dövme alaşımları için uygun bir yöntemdir. Bu yöntemle fire oluşarak maddenin bütünlüğünün bozulması engellenir, katılaşma sona erene kadar içerde çözülmüş gazlar tutulur, eş eksenli dentrit yapılar oluşması sağlanır. Bunlar üretim kalitesini arttıran basınç altında katılaşma ile sağlanır. (Sukumaran vd., 2007)

Döküm yöntemleriyle üretilen alüminyum matrisli kompozitler genellikle dövme, haddeleme gibi ikincil işlemlerden geçirilirler. Sıkıştırma döküm yöntemi tek aşamada üretilmesi ve izotropik özellikleri sağlaması açısından çok önemli bir yöntemdir. Sıkıştırma döküm yöntemleri ile üretilen malzemelerin mekanik özellikleri, geleneksel metotlarla üretilen malzemelere oranla daha yüksektir.

Sıkıştırma döküm yönteminde basınç önemli bir parametredir. Sukumaran vd., 2124 alüminyum alaşımını takviyesiz ve %10 SiC takviyesi ile 45, 75, 100, 120 MPa basınç altında dökmüş ve en az porozitenin 120 MPa altında olduğunu gözlemlemişlerdir. Baınç altında dökülen kompozit malzemenin, basınçsız dökülen kompozit malzemeye oranla daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. 2124 kompozit malzemesinin dökümü için ideal basıncın 100 MPa olduğunu belirtmişlerdir. (Sukumaran, 2007)

Sıkıştırma döküm yönteminde basınç uygulanırken takviyenin uygulanan yüksek basınç tarafından zarar görmemesi gerekmektedir. Takviyelerin bir kısmı kırılsa dahi malzemenin mekanik özelliklerinde beklenen artış sağlanmayabilir.

Alüminyum matrisli kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan 5754 alaşımının SiC ile karışımı iyice sağlandıktan sonra kalıba dökülmüş ve 900 kilonewton üst kuvvet ile pres yardımıyla kalıba basılmıştır. Kalıbın soğumaması için kalıp işlemlerden önce ısıtılmıştır. Kalıbın sıcak tutulması çok hızlı soğuyan alüminyumun ani olarak soğumasını engellemiştir.

Sıkıştırma döküm yöntemi, fiber takviyeli kompozitlerin üretimi içinde kullanılabilir. Preform içine yerleştirilen fiberlerin üzerine sıvının basılması ile malzeme oluşturulur. Fiber takviyeli kompozit malzeme üretimindede takviyelerin zarar görmemesi çok önemlidir.



Şekil 4.4. Kalıbın ısıtılması



Şekil 4.5. Pres ile basıncın uygulanması

Sıkıştırma döküm yöntemi üretilecek parçanın boyutu arttıkça uygulanması zorlaşan bir yöntemdir. Boyut büyüdükçe basıncı yüzeye homojen olarak yaymak zorlaşmaktadır. Ayrıca uygulanacak basınca dayanacak takviyeler seçilmelidir.

Sıkıştırma döküm yönteminde birçok döküm kusuru oluşabilir.

- Oksit kalıntıları (Potadan kalıba dökme süresi bir faktördür.)
- Porozite ve boşluklar (Başınçla orantılı)
- Gaz sıkışması
- Çatlaklar
- Sıvının yüzeye yapışması (Pota dibi iyi karıştırılmalıdır.)

4.5. Kalıp

Kompozit malzeme üretiminde kullanılan kalıp, hem silindir numunenin hemde çekme çubuklarının dökülebileceği şekilde tasarlanmıştır. Bu şekilde üretilen parçalardan çekme çubuğu elde edilmesi problemi ortadan kalkmıştır. Alüminyum matrisli silisyum karbür takviyeli kompozit malzemelerin sertliğinden dolayı torna, freze gibi tezgahlarda işlenmesi oldukça zordur. İşleme sırasında malzemeden parça kopması, takviyelerin zarar görmesi yada işlemede kullanılan ucun kırılması gibi sonuçlar ortaya çıkabilir. Bu tip parçaların işlenmesinde genellikle modern üretim yöntemleri tercih edilir.



Şekil 4.6. Üretimde kullanılan kalıp

4.6. Numuneler

Üretim tamamlandıktan sonra kalıp içinden silindir numune ve çekme çubukları alınmıştır. Silindir numuneler 65 cm çapında, 15 cm kalınlığındadır. Üretilen numunelere haddeleme, dövme gibi ikincil işlemler uygulanmamıştır. Tüm numuneler %10 SiC takviyelidir ve 5754 alüminyum alaşımı kullanılmıştır.

Üretim sonucunda beklenen, oluşan yeni malzemenin mekanik özelliklerinin takviyesiz alaşıma oranla gelişmesidir. Çekme dayanımı, sertlik gibi özelliklerde gelişme beklenmektedir. Silisyum karbür yeni oluşan malzemede matris üzerine binen yükün taşınmasına yardımcı olmakla yükümlüdür. Bu sayede ortaya çıkan yeni malzemede daha yüksek bir dayanım oluşmaktadır.



Şekil 4.7. Üretilen silindir numuneler



Şekil 4.8. Üretilen çekme çubukları

Hafifliğin önemli olduğu uygulamalarda alüminyum oldukça çok tercih edilen bir malzemedir. Sadece hafiflik açısından değil, diğer özelliklerede bakıldığında alüminyum sanayii için önemli bir malzemedir. Kompozit malzeme üretimi içinde sektörde geniş kullanım alanı vardır. Alüminyum matrisli silisyum karbür takviyeli kompozit malzemeler sanayiide belli alanlarlarda kullanılan birçok malzemenin yerini almaya başlamıştır.

Üretimde kullanılan yöntemde oldukça önemlidir. Silisyum karbür, grafit gibi takviyelerin metal içinde ıslanma sorunları vardır. Üretim yöntemi olarak sıkıştırma döküm yöntemi kullanıldığında basınçla emdirme esnasında atıl gazlar dışarı atılarak boşlukların önlenmesi sağlanabildiği için boşluksuz bir yapı üretmek mümkün olabilmektedir. Alüminyum matrisli kompozitler, metal matrisli kompozitler için kullanılan birçok yöntemle üretilebilmektedir.

4.7. Kimyasal Bileşim

Üretilen malzemeler içindeki kimyasal içerik spektrometre yardımıyla incelenmiştir. Potanın dibi, ortası ve üst kısmından dökülen parçaların kimyasal bileşimine bakılmıştır. Bu kapsamda 3 numune incelenmiştir.

Potanın dibine doğru numunelerde aluminyum oranının düştüğü, silisyum oranının ise yükseldiği gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.4. Potanın üstünden alınan malzemenin bileşimi

	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ni	Ti
Min		11,0	0,0000	0,800	0,0000	0,800	0,0000		0,800	0,0000
Max		13,0	0,600	1,50	0,200	1,30	0,200		1,30	0,100
1	82,7	11,8	0,403	0,0865	0,567	3,90	0,0192	0,0859	< 0,0050	0,0310
2	83,5	10,5	0,378	0,0612	0,776	4,28	0,0054	0,110	< 0,0050	0,0312
3	80,4	13,8	0,243	0,0835	0,546	4,36	0,0167	0,0733	< 0,0050	0,0456
4	83,8	10,5	0,407	0,0672	0,611	4,22	0,0067	0,0820	< 0,0050	0,0293
Ort	82,6	11,7	0,358	0,0746	0,625	4,19	0,0120	0,0879	< 0,0050	0,0343

	Be	Ca	Li	Pb	Sn	Sr	V	Na	Bi	Zr
Min										
Max										
1	< 0,0001	0,0118	0,0001	0,0169	0,121	0,0001	0,0208	0,0025	0,0497	0,0154
2	< 0,0001	0,0094	0,0002	0,0203	0,127	< 0,0001	0,0232	0,0036	0,0361	0,0146
3	0,0001	0,0191	0,0003	0,0452	0,0994	0,0003	0,0234	0,0062	0,0474	0,0249
4	< 0,0001	0,0066	0,0002	0,0097	0,0572	< 0,0001	0,0188	0,0026	0,0454	0,0141
Ort	< 0,0001	0,0117	0,0002	0,0230	0,101	0,0001	0,0216	0,0037	0,0447	0,0173

	B	Ga	Cd	Co	Ag	Hg	In
Min							
Max							
1	0,0044	0,0143	0,0018	< 0,0030	0,0044	< 0,0030	< 0,0020
2	0,0041	0,0118	0,0015	< 0,0030	0,0035	< 0,0030	< 0,0020
					ONAY	0030	0,0128
4	0,0028	0,0129	< 0,0010	< 0,0030	0,0025	< 0,0030	< 0,0020

Çizelge 4.5. Potanın ortasından alınan malzemenin bileşimi

	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ni	Ti
Min		11,0	0,0000	0,800	0,0000	0,800	0,0000		0,800	0,0000
Max		13,0	0,600	1,50	0,200	1,30	0,200		1,30	0,100
1	77,5	17,3	0,278	0,0831	0,587	3,73	0,0097	0,0829	< 0,0050	0,0356
2	76,4	17,7	0,146	0,178	0,264	4,92	0,0232	0,0254	< 0,0050	0,0188
3	76,9	17,6	0,167	0,154	0,319	4,55	0,0200	0,0353	< 0,0050	0,0207
Ort	76,9	17,5	0,197	0,138	0,390	4,40	0,0176	0,0479	< 0,0050	0,0251

	Be	Ca	Li	Pb	Sn	Sr	V	Na	Bi	Zr
Min										
Max										
1	0,0001	0,0055	0,0002	0,0249	0,154	0,0002	0,0222	0,0056	0,0510	0,0189
2	< 0,0001	0,0060	0,0001	0,0100	0,0652	< 0,0001	0,0128	0,0012	0,0367	0,0109
3	< 0,0001	0,0174	0,0001	0,0103	0,0696	< 0,0001	0,0133	0,0017	0,0363	0,0102
Ort	< 0,0001	0,0096	0,0001	0,0151	0,0965	< 0,0001	0,0161	0,0028	0,0413	0,0133

	B	Ga	Cd	Co	Ag	Hg	In
Min							
Max							
1	0,0046	0,0180	0,0011	< 0,0030	0,0064	< 0,0030	0,0152
2	0,0029	0,0343	< 0,0010	< 0,0030	0,0020	< 0,0030	< 0,0020
3	0,0027	0,0292	< 0,0010	< 0,0030	0,0015	< 0,0030	< 0,0020
Ort	0,0034	0,0272	< 0,0010	< 0,0030	0,0033	< 0,0030	0,0050

ONAY

Metal analizinde kullanılan spektrometre, optik emisyon spektrometresi olarak adlandırılır. Bunun dışında kütle, atomik absorbsiyon spektromesi gibi spektrometreler mevcuttur. Elektronun enerji seviyesi değişimi sonucunda ortaya çıkan radyoaktif dalganın yüzeyden geçerken kırılma açısından yararlanarak element yüzdelerini belirler.

Çizelge 4.6. Potanın dibinden alınan malzemenin bileşimi

	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ni	Ti
Min		11,0	0,0000	0,800	0,0000	0,800	0,0000		0,800	0,0000
Max		13,0	0,600	1,50	0,200	1,30	0,200		1,30	0,100
1	76,9	17,4	0,203	0,150	0,329	4,55	0,0246	0,0391	< 0,0050	0,0237
2	74,3	19,9	0,202	0,191	0,313	4,58	0,0257	0,0310	< 0,0050	0,0250
3	77,3	17,2	0,496	0,0981	0,482	3,79	< 0,0050	0,0712	< 0,0050	0,0352
4	76,7	17,8	0,170	0,171	0,242	4,50	0,0167	0,0256	< 0,0050	0,0206
Ort	76,3	18,1	0,268	0,152	0,341	4,36	0,0174	0,0417	< 0,0050	0,0261

	Be	Ca	Li	Pb	Sn	Sr	V	Na	Bi	Zr
Min										
Max										
1	< 0,0001	0,0099	0,0001	0,0211	0,133	0,0001	0,0143	0,0028	0,0330	0,0131
2	< 0,0001	0,0186	0,0001	0,0203	0,158	0,0001	0,0138	0,0054	0,0406	0,0141
3	< 0,0001>	0,0200	0,0003	0,0306	0,180	0,0004	0,0228	0,0134	0,0477	0,0425
4	< 0,0001	0,0103	0,0001	0,0150	0,111	< 0,0001	0,0130	0,0059	0,0317	0,0140
Ort	< 0,0001	0,0147	0,0002	0,0218	0,145	0,0002	0,0160	0,0069	0,0383	0,0210

	B	Ga	Cd	Co	Ag	Hg	In
Min							
Max							
1	0,0037	0,0269	0,0011	< 0,0030	0,0027	< 0,0030<	0,0020
2	0,0042	0,0344	0,0011	< 0,0030	0,0022	< 0,0030<	0,0020
					ONAY	0030	0,0173
4	0,0037	0,0289	0,0012	< 0,0030	0,0025	< 0,0030<	0,0020

Potanın dibi matris ile takviyenin karışması açısından en zorluk veren bölümdür. Karıştırma esnasında potanın dibinde takviye parçalarının kalmamasına dikkat edilmelidir. Takviye potanın dibine çöker ve orada birikirse iyi bir karışma sağlanamaz.

Numuneler içinde silisyum oranının biraz yüksek olmasında malzeme üretilirken akışkanlığı sağlamak için içine katılan silisyumunda etkisi vardır.

Çizelge 4.7. Takviyesiz alaşımın bileşimi

	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ni	Ti
Min		0,400	0,0000	0,150	0,0000	0,800	0,0000	0,0400		
Max		0,800	0,700	0,400	0,150	1,20	0,250	0,350		
1	97,4	0,621	0,310	0,299	0,0515	0,742	0,0314	0,226	< 0,0050	0,0400
2	97,4	0,622	0,227	0,316	0,0552	0,875	0,0252	0,218	< 0,0050	0,0381
3	97,5	0,634	0,230	0,301	0,0540	0,850	0,0296	0,215	< 0,0050	0,0365
Ort	97,5	0,626	0,256	0,305	0,0536	0,823	0,0288	0,220	< 0,0050	0,0382

	Be	Ca	Li	Pb	Sn	Sr	V	Na	Bi	Zr
Min										
Max										
1	0,0001	< 0,0005	0,0001	0,0206	0,130	< 0,0001	0,0219	0,0014	0,0133	0,0126
2	< 0,0001	0,0040	0,0001	0,0061	0,0215	< 0,0001	0,0227	0,0042	0,0311	0,0108
3	< 0,0001	0,0027	0,0001	< 0,0020	< 0,0100	< 0,0001	0,0213	0,0030	< 0,0050	0,0112
Ort	< 0,0001	0,0023	0,0001	0,0095	0,0539	< 0,0001	0,0220	0,0029	0,0151	0,0115

	B	Ga	Cd	Co	Ag	Hg	In
Min							
Max							
1	0,0047	0,0127	0,0023	< 0,0030	0,0031	< 0,0030	< 0,0020
2	0,0030	0,0129	< 0,0010	< 0,0030	0,0024	< 0,0030	< 0,0020
3	0,0028	0,0138	< 0,0010	< 0,0030	0,0017	< 0,0030	< 0,0020
Ort	0,0035	0,0131	0,0013	< 0,0030	0,0024	< 0,0030	< 0,0020

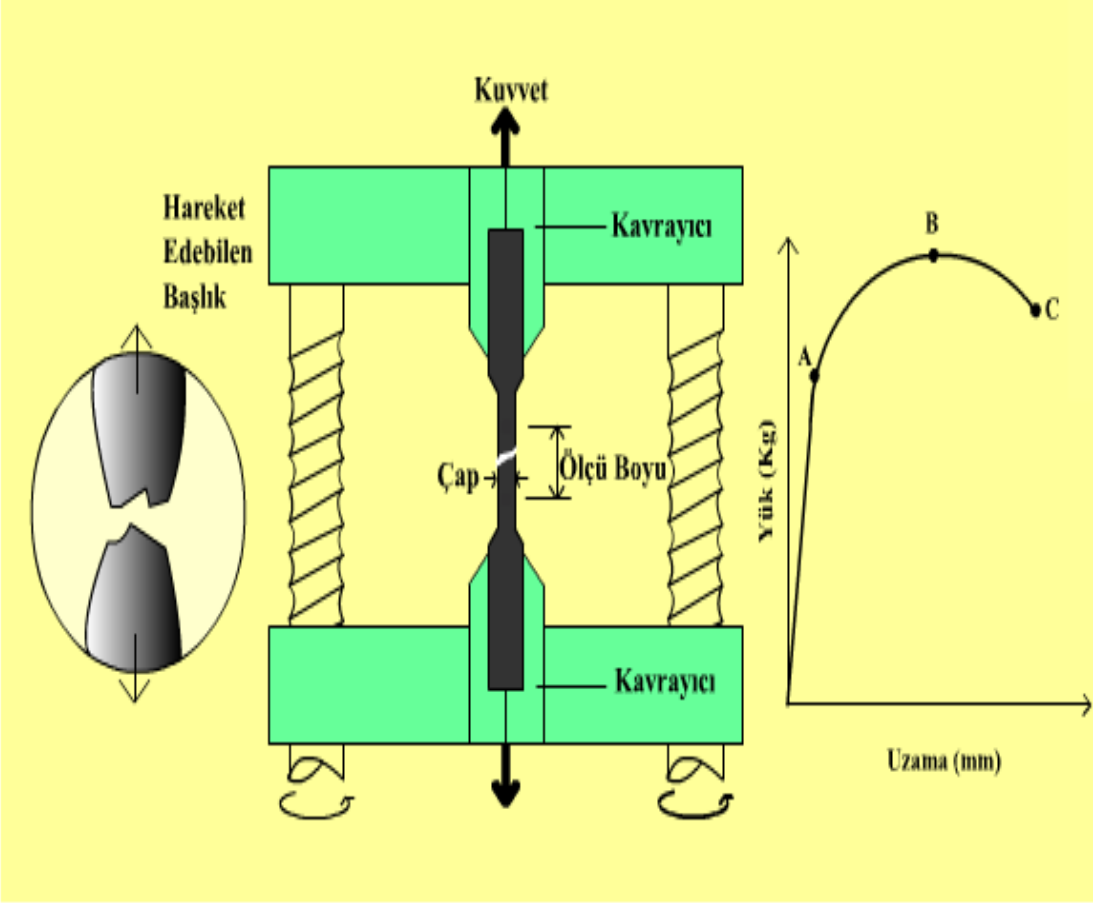
ONAY

Eklenen silisyumun ve silisyum karbürün etkisiyle alaşım içindeki silisyum değeri artmıştır. Karışım sırasında oluşan kimyasal reaksiyonlar ile birlikte malzeme içindeki kimyasal dağılım değişmiştir. Bunu belirleyen birçok faktör vardır. Takviyenin çeşidi, matrisin çeşidi, takviyenin kaplı olup olmaması, üretim yöntemi, üretimde kullanılan diğer elementler gibi birçok faktör burda önemli olabilir. İyi bir karıştırma ve matris ve takviye arasındaki iyi bir ıslatma ile malzemelere üstün özellikler kazandırmak mümkün olabilir.

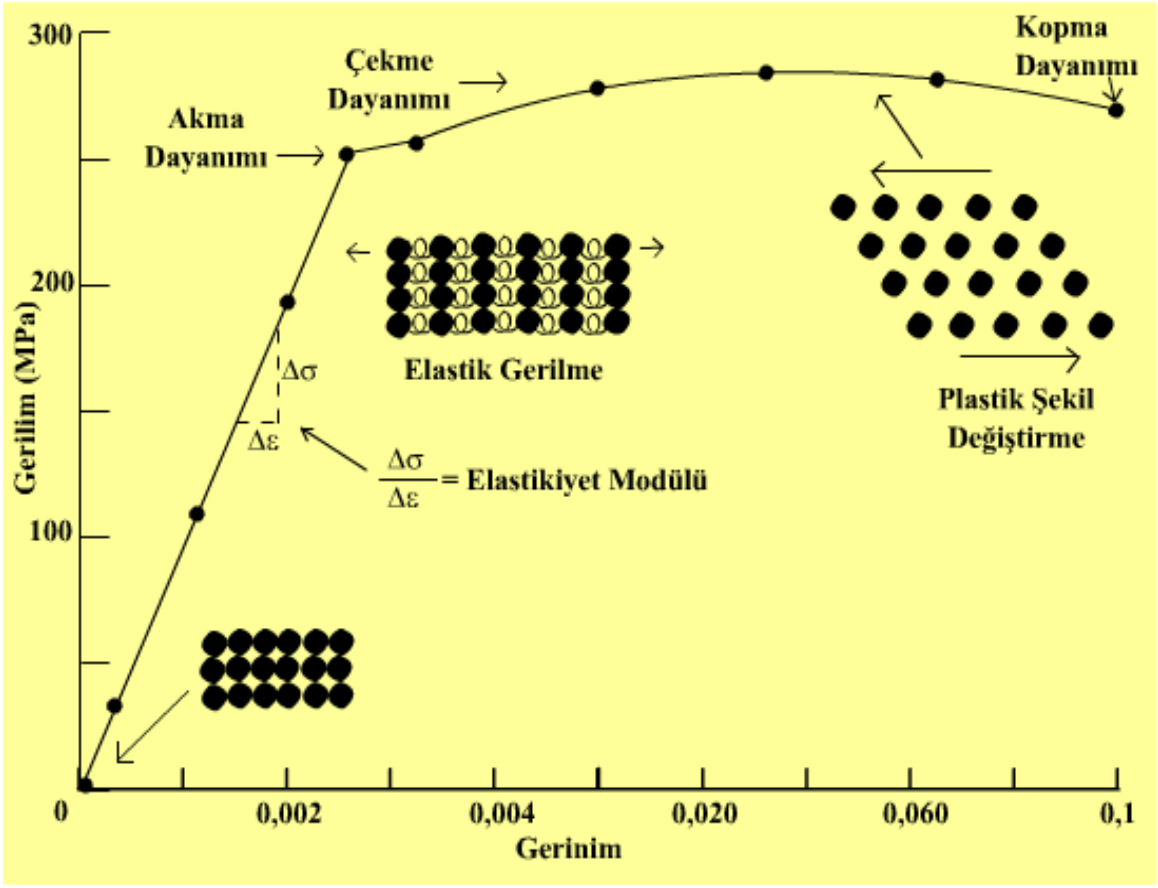
4.8. Çekme Deneyi

Çekme gerilmesi, malzemenin çekmeye karşı gösterdiği direncin büyüklüğünün ölçüsüdür. Çekme testi, malzeme kırılıncaya kadar uygulanan tek eksenli kuvvetler ile çekme dayanımının bulunduğu kontrol yöntemidir. Cisim bir süre uzadıktan sonra kopar. Malzemenin koptuğu anda oluşan gerilme maksimum çekme gerilmesidir.

Çekme testi, genellikle malzeme üretimden sonra kalite kontrol amacıyla yapılır. Malzemenin kuvvetler altında nasıl davrandığını öngörmek amacıyla da uygulanır. Çekme testi sonucunda çekme dayanımı, kopma yüzde uzama gibi verilere ulaşılabilir.



Şekil 4.9. Çekme deneyinin yapılışı



Şekil 4.10 Çekme testinde akma, çekme ve kopma dayanımı kavramı

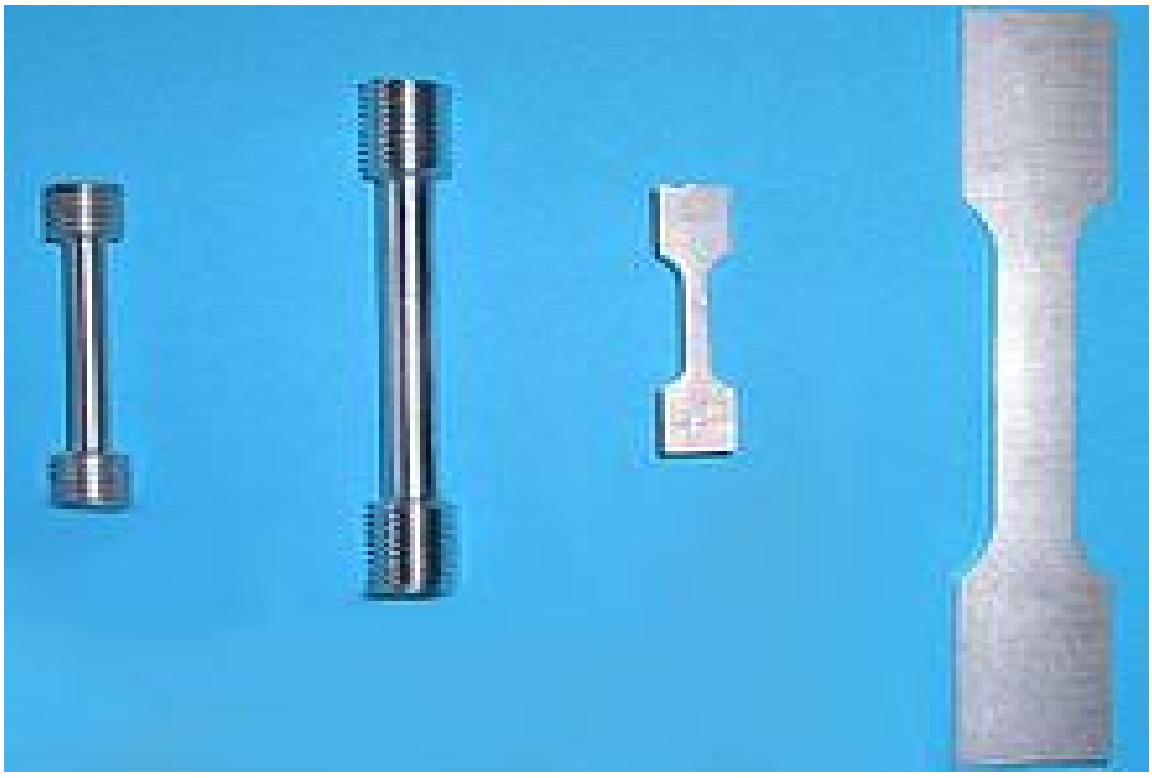
Çekilen numunelerine kuvvet uygulanmaya başladıktan sonra malzeme belli bir gerilme değerine kadar elastik bölgede kalır. Bu değer malzemeden malzemeye değişmektedir. Bu değere kadar malzeme elastik bölgede kalır. Bu sınırı aşmamak koşuluyla malzemeden kuvvet kaldırılırsa malzeme eski durumuna geri döner. Bu sınır akma dayanımı olarak adlandırılır. Bu sınır geçildiğinde malzeme plastik bölgeye geçer. Bu bölgeden sonra malzemeden kuvvet kaldırılsa bile malzeme eski haline dönemez. Malzeme henüz tam olarak kopmamış olsa bilse malzeme üzerinde kalıcı hasar vardır. Malzemenin koptuğu son gerilme değerine malzemenin kopma dayanımı denir. Bu değerde malzemenin boyu maksimum değere kadar uzamıştır.

Mühendislik için önemli olan malzemenin mümkün olduğu kadar elastik bölgede kalmasıdır. Malzemenin plastik bölgeye geçmesi malzemenin kullanıldığı yapı için tehlike arzedebilir. Bunun için yapılan hesaplarda bu konuya dikkat edilmelidir.

Mühendislik uygulamalarında malzemelerin mekanik özelliklerinin önceden bilinmesi çok önemlidir. Parçanın geometrisi, maruz kaldığı yükler, kullanıldığı yer ve mekanik özellikleri çok önemlidir.

Malzemenin mukavemeti ile deformasyon arasındaki ilişkiyi belirlemekte en sık kullanılan testlerden biri çekme deneyidir. Malzeme kuvvet uygulandıkça malzemenin boyu uzar, bununla beraber kesitte daralma meydana gelir. Kullanılan numune sünek bir malzemeden yapıldıysa yük etkisi altında önce uniform bir şekilde uzar ve darılır. Akma dayanımından sonra boyunlaşmaya başlar ve kırılır. Gevrek bir malzeme ise kırılma süresi kısa olur.

Çekme testinde kullanılan çekme makinesinin dizaynına veya kullanılan standarda göre farklı boyutlarda olabilir. Bu konuda farklı standartlar mevcuttur.



Şekil 4.11. Alüminyum alaşımlarının farklı boyutlardaki çekme numuneleri

Üretilen alüminyum matrisli %10 SiC takviyeli çekme çubukları çekme testine tabii tutulmuştur. 5 adet çekme çubuğu çekilerek çekme gerilmeleri ve yüzde uzamalarına bakılarak incelenmiştir.

Çizelge 4.8. Malzemenin çekme dayanımı

Numune	Dayanım	Yüzde uzama
1.numune	263 MPa	2.1
2.numune	266 MPa	1.8
3.numune	250 MPa	2.0
4.numune	186 MPa	2.8
5.numune	267 MPa	1.0

Deneyler sonucunda genellikle yakın sonuçlar elde edilmiştir. Bu takviye ile matrisin karıştırılması esnasında homojenliğin sağlandığının bir göstergesidir. Takviye malzemesi kullanılmadan alaşımın çekme mukavemeti 178-179 MPa civarıdır. Takviye eklemesi ile çekme dayanımı 260 MPa üzerine çıkmıştır.

Farklı takviye oranları ile çalışıldığında çekme dayanımının takviye oranı arttıkça arttığı gözlemlenmiştir. Çekme dayanımı ile birlikte elastisite modülüde artmaktadır.

Çekme testi, metal malzeme üretimi yapılan yerlerin üretimden sonra numuneler üzerinde yapmaları gereken bir testtir. Bu şekilde malzemenin ekseni yönünde gelen kuvvetlere karşı nasıl tepki vereceği gözlemlenebilir.

4.9. Sertlik Testi

Setlik, malzemenin kendisinden daha sert bir malzeme üzerine batırıldığında ona karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanabilir. Metal malzeme üreticileri için bu direnç önemli bir kavramdır. Metal endüstrisinde kullanım yerlerine göre istisnalar olmakla birlikte genellikle sert malzemeler tercih edilir.

Sertlik testi, numuneler üzerinde sıklıkla uygulan bir testtir. Malzemenin sertliği ile diğer mekanik özellikleri arasında genelde doğru orantılı bir ilişki vardır. Sertlik ölçmesi sonrasında malzemenin mukavemeti hakkında fikir sahibi olmak mümkündür.

Sertlik testleri; Brinell, Rockwell ve Vickers tipi ölçülerde yapılmaktadır. Bunların yanında genelde madencilerin kullandığı Mohs sertlik ölçümüde mevcuttur. Sertlik ölçme işleminde genellikle malzemeye sivri bir uç batırılır. Batırılan şekil ve uygulanan kuvvete göre ölçümler değişkenlik gösterir. Cisme sert bir uç batırıldıktan sonra bıraktığı izin boyutları ölçülür.

Vickers sertlik deneyi, uç olarak tepe açışı 136° olan elmas piramitin kullanıldığı ve kullanılan ucun sivri olması nedeniyle Brinell ölçme yönteminde ortaya çıkan sert malzemelerin ölçümünün zorluğu probleminin ortadan kaldırıldığı bir yöntemdir. Bu yöntemde ucun cisim üzerinde bıraktığı iz karedir. Sertlik değeri, uygulanan kuvvetin iz alanına bölümüdür.(Can, 2006)

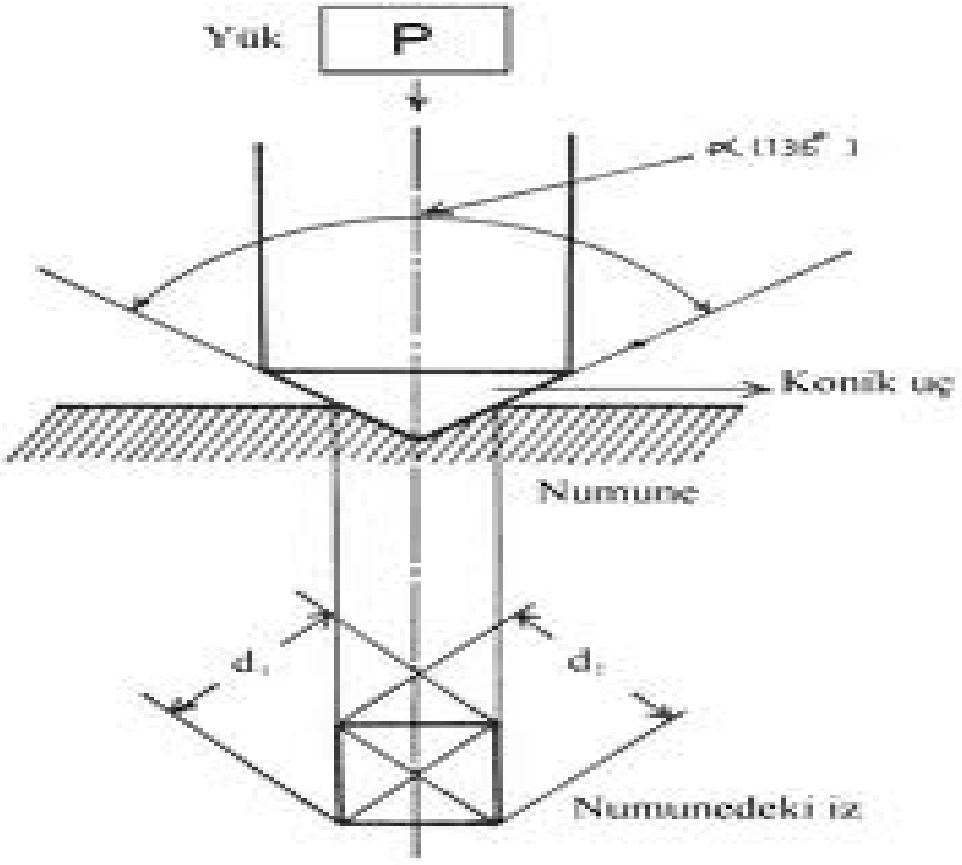
Deney 10°-35°C arasında olmalıdır. Yük darbesiz olarak yavaşça 2 ile 8 saniye arasında uygulanmalıdır ve 10-15 saniye arası uygulanmalıdır. Çelik, bakır ve bakır alaşımlarında izler arası ve izin kenardan uzaklığı iz köşegeninin üç katı, kurşun ve kalay alaşımları gibi yumuşak metallerde altı katı olmalıdır. (Can, 2006)

Yapılan test sonucu 3 numune incelenmiştir. Bununla birlikte silisyum karbürler üzerinde sertlik 2000 HV olduğu görülmüştür. Takviyesiz alaşımın sertliğinin 55 HV olduğu düşünüülürse 90 HV civarına gelen sertlik artışı önemli bir gelişmedir.

Çizelge 4.9. Numunelerin Vickers sertliği

1.numune	92 HV
2.numune	90 HV
3.numne	89 HV

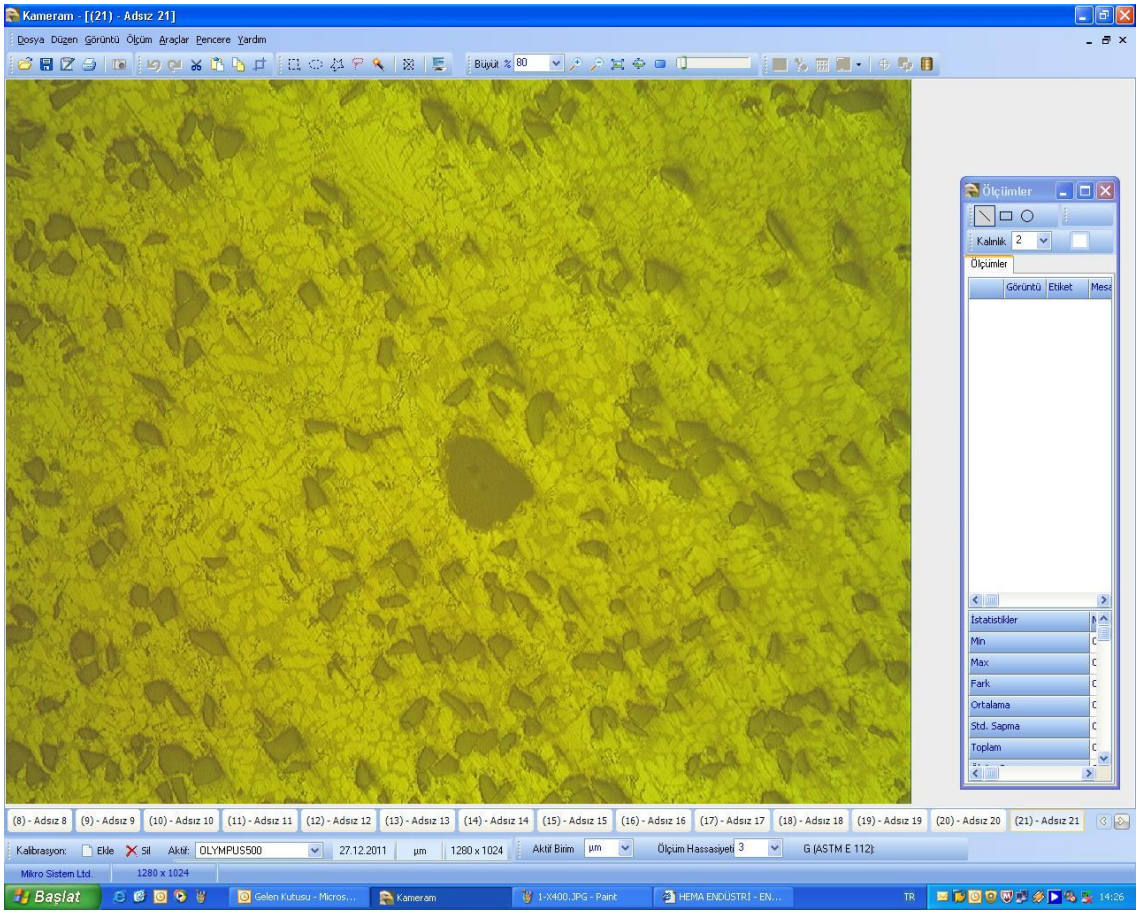
5754 alüminyum alaşımının sertliği ısıl işlemler ile 75 HV civarına getirilebilmektedir. Isıl işlem uygulanmamış numunenin 90 HV civarı sertliğe sahip olması ısıl işlem uygulanması ile birlikte sertlikte bir miktar daha artış görüleceği düşünülürse kompozit malzeme üretiminin gün geçtikçe neden arttığı anlaşılabilir.



Şekil 4.12. Vickers sertlik deneyi yapılışı

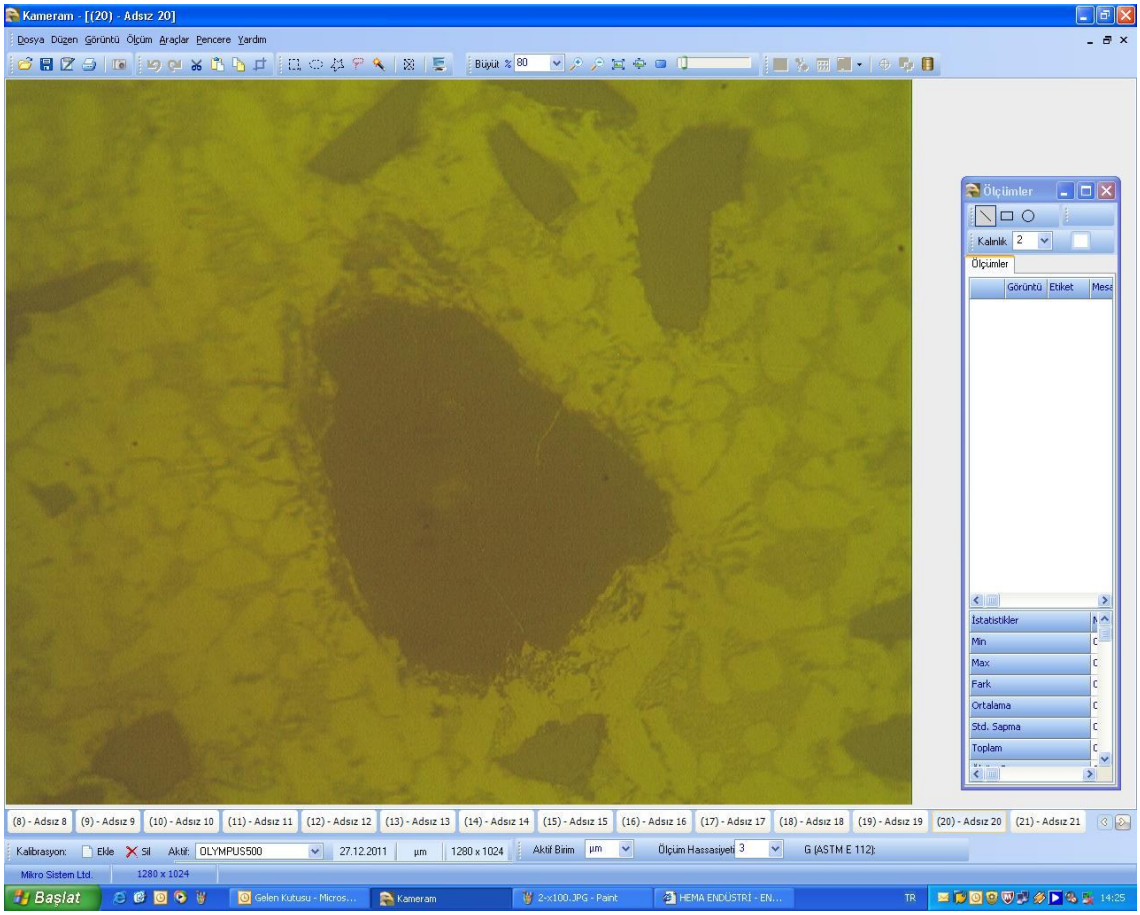
4.10. Mikroyapı

Üretilen numunelerin mikroskop altında X100 ve X400 büyütülerek mikroyapılarına bakılmıştır.



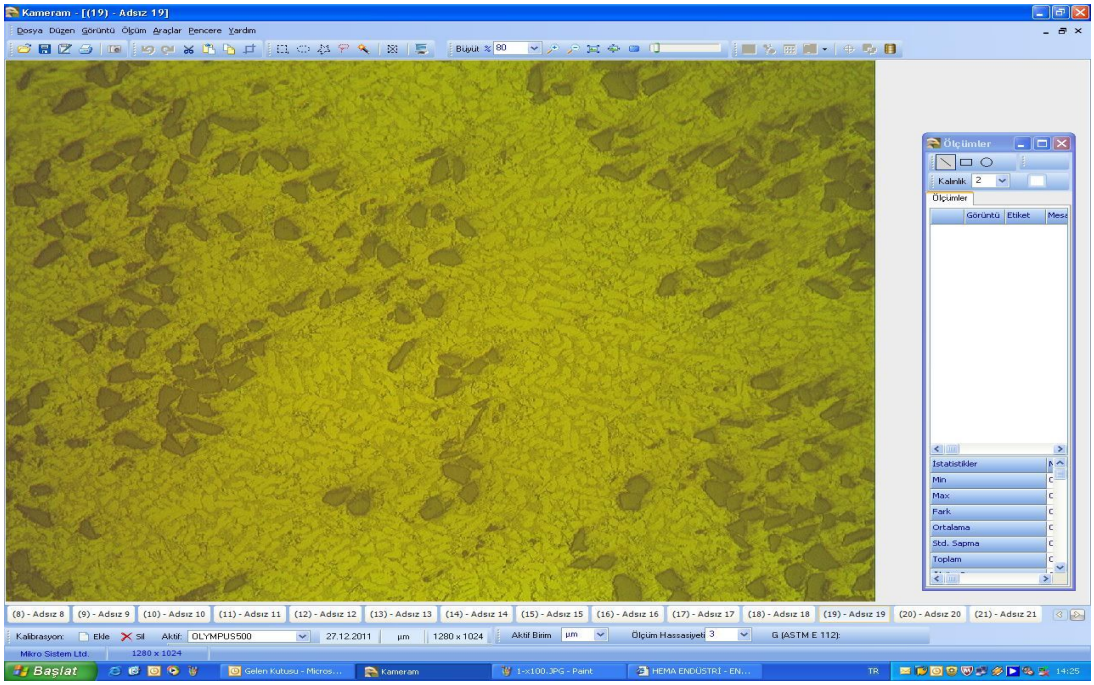
Şekil 4.13. 1.numunenin X100 büyütmede mikroyapısı

Mikroyapı incelemelerinde malzeme çeşitli büyüklükteki zımparalardan geçirildikten sonra çeşitli büyüklükteki keçeler ile parlatılır ve uygun sıvının üstüne damlatılması ile mikroskop altında incelenir.

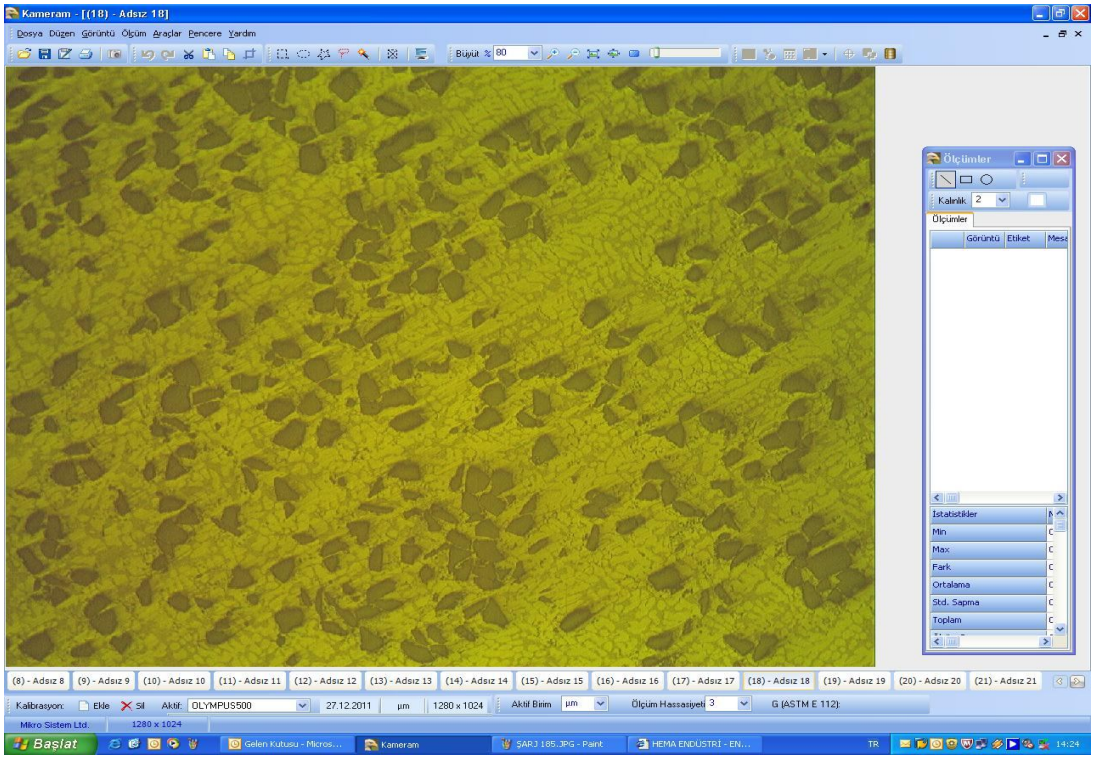


Şekil 4.14. 1.numunenin X400 büyütmede mikroyapısı

Malzemenin büyütme oranın artması ile birlikte fotoğraf üzerinde daha fazla detay bulmak mümkündür. Fotoğrafa bakıldığında alüminyum içine eklenen 44 mikron çapındaki SiC takviyenin nasıl dağıldığını görmek mümkündür. Takviyenin üretim aşamasında matris içinde mümkün olabildiğince homojen karıştırılması önemlidir. Malzemenin karıştırılması esnasında dibe çökme meydana gelmesi ve silisyum karbürün karışmaması malzeme üzerinde beklenen mekanik özellik artışlarının sağlanmaması ile sonuçlanır. Üretim sırasında topaklanma olmaması önemlidir. Fotoğraflarda gri renkli olarak eklenen silisyum karbürler gözükmektedir.



Şekil 4.15. 2. numuneden alınan görüntü



Şekil 4.16. 3. numuneden alınan görüntü

Endüstriyel uygulamalarda üretim aşamasında malzemeler birçok sürece maruz kalmaktadır. Bu aşamalar malzemenin iç yapısında değişikler meydana getirmiş olabilir. Bu değişikliklerin tolerans boyutunu aşması durumunda üretimin kalitesi düşer. Bu durumun anlaşılabilmesi için malzemenin iç yapısı incelenmelidir. Malzemenin iç yapısının kontrolü malzeme üretiminden sonra bazı gruplardaki numunelere uygulanmalıdır.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Kompozit malzemeler, üstün özelliklere her geçen gün daha fazla ihtiyaç duymaya başlayan endüstri dünyası için önemini sürekli olarak arttırmaktadır. Metal matrisli kompozit malzemeler, üstün dayanımları sayesinde birçok uygulamada birçok alaşımın yerini almaya başlamıştır.

Alüminyum ve alaşımları dayanım ve hafiflik yönünden sağladıkları avantaj açısından metal matrisli kompozitler içinde önemli bir yere sahiptir. Hafiflik ve dayanım bir arada bulunması çok kolay olan özellikler değildir. Üretimi çeşitli metotlarla mümkün olan alüminyum matrisli kompozit malzemelerin içine eklenen takviyeler ile birlikte mekanik özelliklerde artış meydana gelmiştir.

Bu tez çalışmasında %10 SiC takviyesi ile 5754 alüminyum alaşımının mekanik özelliklerinde ve mikroyapısında ne gibi değişiklikler meydana geldiği araştırılmıştır. Üretim yöntemi olarak sıkıştırma döküm yöntemi kullanılmıştır. Üretim sonucunda malzemenin mikroyapısı ile beraber çekme dayanımı ve sertlik açısından ne gibi bir değişime uğradığı araştırılmıştır. Bununla beraber üretimde kullanılan potanın dibi, ortası ve üst kısmından üretilen malzemelerin kimyasal analizi yapılmıştır. Üretim sonucunda aşağıdaki gelişmeler gözlemlenmiştir.

1) Kullanılan sıkıştırma döküm yöntemi ile geleneksel döküm yöntemlerine oranla malzeme üretimi daha verimli olmuştur. Yüksek basınç sayesinde daha iyi bir matris takviye uyumu sağlanmıştır.

2) Karıştırma esnasında matris ile takviyenin birbirini ıslatması sağlanmış, alüminyum yarı katı durumda iken takviye ile birleşmesi sağlanmıştır. Karışımın içine eklenen silisyum ile birlikte akışkanlık arttırılmıştır. Karıştırma esnasında matris ve takviye arasında görülen dibe çökme, topaklanma gibi problemlerin yaşanmamasına dikkat edilmiştir.

3) Malzeme üretildikten sonra mikroskop altında bazı numunelerin mikroyapısı incelenmiş, bu incelemeler sonucunda silisyum karbür ile alüminyumun homojen bir şekilde karıştığı gözlemlenmiştir.

4) Malzemelerin kimyasal bileşimleri incelenmiş, potanın dibi, ortası ve üst bölümünden üretilen malzemenin kimyasal bileşimi incelenmiş, potanın dibine doğru gidildikçe alüminyum miktarında düşüş, silisyum miktarında artış gözlemlenmiştir.

5) Üretilen numunelerin bir kısmına Vickers sertlik testleri uygulanmıştır. Bunun sonucunda malzemenin numunesiz alaşıma oranla sertliğinde artış gözlemlenmiştir. Alüminyum alaşımının 55 HV civarı olan sertliği 90 HV civarına çıkmıştır.

6) Silindir numuneler ile birlikte çekme çubukları üretilmiş, bu numuneler çekilerek çekme dayanımları incelenmiştir. Genelde çekme dayanımı 180 MPa civarı veya altında olan 5754 alüminyum alaşımına, takviye eklendikten sonra bu değer 260 MPa civarına çıkarak kayda değer bir artış sağlanmıştır.

KAYNAKLAR

Chawla K., 1998, " Composite Materials : Science and Engineering ", Springer science, 2.baskı, 133-145

Cheremisinoff N., 1998, " Advanced Polymer Processing Operations ", Noyas Publications, 126-135

Kayran A., Alemdaroğlu N., Turgut T., Ceylan M., 2007, " Vakum Torbalama Yöntemi ile Kompozit Malzemeden Yapı Üretimi Örnek Bir Havacılık Uygulaması ", National Journal Paper, 48, 566, 14-16

Kia H., 1993, " Sheet Moulding Compounds : Science and Technology " , Hanser/ Gardner Publications, 10-20

Akdoğan A., 2008, " Polimer Matrisli Kompozitler "

Pıhtılı H., Tosun N., 2002, " Effect of Load and Speed on the Wear Behaviour of Woven Glass Fabrics and Aramid Fibre Reinforced Composites ", Wear, 252, 979-984

Gordon D., Kukureka S., 2008, " The Wear and Friction of Polyamid 46 / Aramid Fibre Composites in Sliding-Roling Contact ", Wear, 267, 669-678

Solmaz M., Muratoğlu M., Eroğlu M., 2011, " Al_2O_3 Partikülleriyle Takviyelendirilmiş Polyester Matrisli Kompozitinin Abrasiv Aşınma Davranışının İncelenmesi ", 6th Advanced Technologies Symposium, 579-582

Okada A., 2003, " Handbook of Advanced Ceranmics ", 417-443

Chawla K., 2003, " Ceramic Matrix Composites ", Kluwer Academic Publishers, 254

Wei G., Becker F., 1985, " Development of SiC Whisker Reinforced Ceramics ", American Ceramic Society, 64, 298-304

Buljan S., 1987, " Si_3N_4 – SiC Composites ", Journal of American Sociey, 66, 347-302

Lee P., Mizro S., Vera A., 1996, " Dielectric Constant Stability of Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition in SiO_2 ", Electrochemistry Society, 143, 215

Akdoğan A., 2008, " Seramik Matrisli Kompozitler "

Chermant J., Boltier G., Darzens S., Fairzy G., Vicens J. Sangleboeuf J., 2002, " Creep Mechanism of Ceramic Matrix Composites at Low Temperature and Stress ", Journal of European Ceramic Society, 22, 2443-2460

Yang J., Ohji T., Sekino T., Chun Y., Niihara K. 2001, " Phase Formation Microstructure and Mechanical Properties of Si_3N_4 – SiC Composite ", Journal of European Ceramic Society, 21, 2179-2183

Liu H., Cheng H., Wang J., Tang G., 2010, " Effect of Single Layer CVD SiC Interphases on the Mechanical Properies of SiC / SiC Composites, Ceramics International, 36, 2033-2037

Levi C., Yang J., Dalgleish B., Zok F., Evans A., 1998, " Processing and Performance of an All-Oxide Ceramic Composite ", Journal of American Society, 81, 2077-2086

Kumar S., Deviah M., Seshu Bai V., Rajasekharan T., 2011, " Mechanical Properties of SiC / Al_2O_3 Ceramic Matrix Composites Prepared by Directed Oxidation of an Aluminium Alloy ", Ceramics International, 38, 1139-1147

Nilhan Ürkmez Taşkın Metal Matrisli Kompozit Malzemeler Ders Notları

Akdoğan A., 2008, " Metal Matrisli Kompozitler "

Altınkök N., Demir A., Özsert İ., 2002, " Processing Of Al_2O_3 / SiC Ceramic Cake Preforms and Their Liquid Al Metal Infiltration ", Composites, 34, 577-582

Giu M., Kang S., 2000, " 6061 Al / Al-SiC_P Bi-Layered Composites Produced by Plasma Spraying Process " Materials Letters, 46, 296-302

Wittig D., Glauche A., Aneziris C., Minghetti T., Schele C., Graule T., Kuebler J., " Activated Presureless Melt Infiltration of Zirconia Based Metal Matrix Composites ", Materials, Science and Engineering, 488, 580-585

Ramesh C., Ahamed A., 2010, " Friction and Wear Behaviour of Cast Al 6063 Based In Situ Metal matrix Composites ", Wear, 271, 1928-1939

Can A., 2006, " Tasarımcı Mühendisler İçin Malzeme Bilgisi " , 256-260

Taha M., 2000, " Practicalization of Cast Metal Matrix Composites ", Materials and Design, 22, 431-441

Wei Y., 2001, " Particulate Size Effects in the Particle Reinforced Metal Matrix Composites ", The Chinese Society of Theoretical and Applied Mechanics, 17, 45-58

Ünver H. M., " Enerji Verimliliği ve İndüksiyon Ocaklarının Değerlendirilmesi "

Sukumeran K., Ravikumar K., Pillai S., Rajan T., Ravi M., Pillai R., Pai B., 2007, " Studies on Squeeze Casting of Al 2124 alloy and 2124-10% SiC_p Metal Matrix Composite ", Materials,Science and Engineering, 490, 235-241

ÖZGEÇMİŞ

Can Güler, 1985 yılında Edirne'de doğdu. İlkokul, ortaokul ve lise eğitimini Edirne' de tamamladıktan sonra üniversite eğitimi için Manisa'ya gitti ve 2009 yılımda Celal Bayar Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünden mezun oldu. Mezuniyetin ardından Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı. Halen yüksek lisans eğitimini sürdürmektedir.