

**AA 2014 İNGOT ALAŞIMINA İLAVE EDİLEN Al_4C_3 ' ÜN
MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Zemzem ALTUNOK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
METAL EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

EKİM 2012

ANKARA

Zemzem ALTUNOK tarafından hazırlanan AA 2014 İNGOT ALAŞIMINA İLAVE EDİLEN Al_4C_3 ' ÜN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylıyorum.

Doç. Dr. Bülent BOSTAN

Tez Danışmanı, Metalurji ve Malzeme Müh. Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Metal Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Ahmet DURGUTLU

Metalurji ve Malzeme Müh. Anabilim Dalı, G.Ü.



Doç. Dr. Bülent BOSTAN

Metalurji ve Malzeme Müh. Anabilim Dalı, G.Ü.



Yrd. Doç. Dr. Hakan DİLİPAK

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

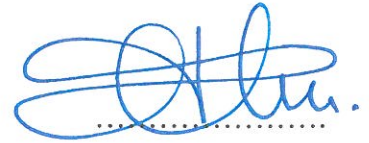


Tarih: 17/10/2012

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

Prof. Dr. Şeref SARIOĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü *y.*



**AA 2014 İNGOT ALAŞIMINA İLAVE EDİLEN Al_4C_3 ' ÜN
MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİLERİNİN
ARAŞTIRILMASI
(Yüksek Lisans Tezi)**

Zemzem ALTUNOK

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Ekim 2012**

ÖZET

Yapılan deneysel çalışmanın başında; karıştırma döküm işlemi için ticari AA 2014 alüminyum ingot malzeme, elektrikli ocakta grafit pota içerisinde $750^{\circ}C$ sıcaklıkta sıvı hale getirilmiştir. Sıvı haldeki alaşım içerisine sırasıyla ağırlıkça % 0,5, 1, 2 ve 4 oranlarında Al_4C_3 ilave edilmiştir. İçerisinde takviye bulunan sıvı metal, hareketini bir motordan alan Cu malzemedan hazırlanmış karıştırıcı uç ile karıştırılmıştır. Daha sonra mikro çekme numunesi profiline sahip metal kalıba döküm işlemi gerçekleştirilmiştir. Kalıptan çıkarılan numuneler 3 mm kalınlığında olacak şekilde kesilerek metalografik işlemlere hazırlanmıştır.

İnfiltrasyon yöntemi ile kompozit malzeme üretimi için paslanmaz çelik malzemedan 10 mm çapında 20 mm yüksekliğinde infiltrasyon boruları hazırlanmıştır. Borular içerisine konulmak üzere gaz atomize yöntemi ile üretilmiş AA 2014 alaşım tozu ve sırasıyla % 0,5, 1, 2 ve 4 takviye hacim oranlarında Al_4C_3 tozları 2 boyutlu karıştırılarak hazırlanmıştır. İnfiltrasyon işlemi için elektrikli ocakta grafit pota içerisinde matris malzemesi olan AA 2014 ingot alaşımı $750^{\circ}C$ sıcakta sıvı hale getirilmiştir. Vakum ünitesine bağlanan infiltrasyon boruları $750^{\circ}C$ sıcaklıktaki sıvı metale daldırılarak 3 dk

süre ile vakum işlemi uygulanmıştır. İşlem sonrasında borulardan çıkarılan malzemeler 10 mm yüksekliğinde olacak şekilde kesilmiştir. Numunelere 570 °C sıcaklıkta 1 saat süreyle sinterleme işlemi uygulanmıştır.

Karıştırma döküm sonrası ve infiltrasyon sonrası sinterlenmiş numunelere 1-8 saat süreler ile yaşlanma ısıl işlemi uygulanmıştır. Karıştırma döküm yöntemi sonrası yaşlanma ısıl işlemi uygulanan numunelerin çekme mukavemetleri incelenmiştir.

Her iki yöntemde de takviye oranlarına bağlı olarak yaşlanma sürelerinin sertliğe olan etkileri incelenmiştir. Isıl işlem uygulanan numunelerin Enerji Dağılım Spektrometresi (EDS) yapılmış ve yapı içerisinde Al_4C_3 dağılımı incelenmiştir. İşlem gören numunelerin optik mikroskop ve SEM görüntüleri alınarak mikro yapısal özellikler gözlemlenmiş ve ayrıca Al_4C_3 fazının malzeme sertliğine olan olumlu etkisi belirlenmiştir. Döküm numunelerinde, infiltrasyon numunelerine nispetle sertlik değerlerinde büyük farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Döküm numunelerinde mikro sertlik değerleri 180 HV olarak belirlenmiştir. Karıştırma döküm sonrası yaşlanma işlemi uygulanan numunelerin çekme dayanımları ölçülmüştür. Çekme test sonrası elde edilen sonuçlarda takviye miktarına bağlı olarak arttığı ve en yüksek çekme gerilmesinin 300Mpa değerlerine ulaştığı belirlenmiştir. Çekme % uzama 30 değerlerinde olduğu gözlemlenmiştir.

Bilim Kodu : 710.1.092

**Anahtar Kelimeler : Al_4C_3 , Metal Matrisli Kompozitler, Vakum İnfiltrasyon,
Karıştırma Döküm, Yaşlanma**

Sayfa Sayısı : 100

Tez Yöneticisi : Doç. Dr. Bülent BOSTAN

**THE RESEARCH INTO THE EFFECT OF Al_4C_3 ADDED TO THE ALLOY
OF AA 2014 ON THE MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL
PROPERTIES
(M. Sc. Thesis)**

Zemzem ALTUNOK

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

October 2012

ABSTRACT

At the start of the experimental study, for the process of spin casting, the commercial aluminum ingot material is liquefied at the temperature of $750^{\circ}C$ on the electric furnace inside a graphite crucible. Into the liquid alloy, in terms of weight, Al_4C_3 is added at the rates of %0,5, 1, 2 and 4 in turns. Liquid metal that involves some reinforcement is mixed by a mixer which obtains its energy from an engine, and which is prepared with Cu material. Then, die process is carried out by putting into a metal mould which is a sample of the micro tensile. The samples which are taken out of the mould are prepared for the metallography by being cut 3mm thick for each.

With the infiltration method, in order to produce composite material by using stainless steel materials at the diameter of 10mm and at the height of 20mm infiltration pipes are prepared. In order to be put into the pipes, produced with the gas atomizing method AA 2014 alloy powder is mixed with Al_4C_3 powder which is added at the rates of %0,5, 1, 2 and 4 reinforcement volumes, in turns, in a two-dimensional. For the process of infiltration, ingot alloy AA 2014, a matrix material, is liquefied on the electric furnace at $750^{\circ}C$. The infiltration pipes which are tied to vacuum unit are vacuumed for 3 minutes by being immersed into the liquid metal, liquefied at the temperature of $750^{\circ}C$. At the

end of the process, the materials taken out of the pipes are cut 10mm high for each. Sintering process is applied for an hour to the samples at 570°C.

Aging heat treatment is performed for hours changing from 1 to 8 on the samples which are sintered after spinn casting and infiltration. Following the spinn casting method, tensile resistance of the samples exposed to aging heat treatment is investigated. In both methods, depending on the rates of the reinforcement, the effects of aging process on the hardness are examined. Energy dispersion spectroscopy (EDS) of the samples having gone under the process of heat treatment is measured and the Al_4C_3 dispersion is observed in the composition.

By getting the image of the optical microscope and SEM of the samples, exposed to the process, microstructural properties are observed. Additionally, the positive effect of Al_4C_3 phase on the hardness of the material is defined. In addition to this, it has been found out that there is a huge difference between the hardness of the casting samples and the hardness of the infiltration samples. The micro hardness of casting samples is defined as 180 HV. The tensile strength of the samples which get through aging treatment following the spinn casting has been measured. The results of the tensile test have showed that the samples increase in accordance with the reinforcement amount and that the highest tensile tension reaches up to 300Mpa. Tensile % extension is observed to be at 30.

Science Code : 710.1.092

Key Words : Al_4C_3 , Metal Matrix Komposite, Vacuum Infiltration, , Aging

Page Number : 100

Adviser : Doç. Dr. Bülent BOSTAN

TEŞEKKÜR

Araştırma ve deneysel çalışmalarında desteklerinden ve engin bilgi birikimlerinden beni mahrum etmeyen ve devamlı olarak destekleyen tez danışmanım ve hocam Doç. Dr. Bülent BOSTAN' a teşekkür eder saygılarımı sunarım.

Çalışmalarında maddi ve manevi desteklerinden dolayı, Yrd.Doç.Dr. Ahmet GÜRAL hocama teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarında yardımlarından dolayı Prof. Dr. Süleyman TEKELİ'ye, yardımlarını esirgemeyen Kırıkkale Üniversitesi malzeme mühendisliğinden Doç. Dr. Recep Çalın'a teşekkürü bir borç bilirim. Çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen, imalat mühendisliğinden Yrd. Doç. Dr. Hakan GÜRÜN'e, Sinan AKSÖZ hocamıza teşekkürlerimi sunarım. Beni yalnız bırakmayan ve yardımlarını esirgemeyen sevgili dostlarım Elif ARSLAN ATEŞ, Aynur TOPUZ, Medine YİĞİT ve Alper Melih ATAÇ'a teşekkürlerimi iletirim. Tezimde yardımda bulunan ve bulunmayan tüm dostlarıma saygılarımı ve minnettarlığımı iletirim.

Yüksek lisans çalışmalarında maddi ve manevi olarak benden desteğini esirgemeyen anneme, babama, biricik kardeşime ve aile bireylerimin hepsine teşekkürü bir görev bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiii
RESİMLERİN LİSTESİ	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xix
1. GİRİŞ	1
2. KOMPOZİT MALZEMELER	4
2.1 Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	6
2.2. Polimer Matrisli Kompozitler (PMK)	6
2.3. Metal Matrisli Kompozitler (MMK)	7
2.4. Alüminyum Matrisli Kompozitler (AMK)	10
2.4.1. MMK'ler için matris malzemesi seçimi	11
2.4.2. Partikül takviyeli mmk'ler için takviye malzemesi seçimi	13
2.5. Alüminyum Karbür (Al_4C_3)	15
2.6. AMK Kompozit Üretim Yöntemleri	16
2.6.1. Katı hal üretim yöntemleri	17
2.6.2. Sıvı hal üretim yöntemleri	18
2.7. Karıştırma Yöntemi	18
2.8. İnfiltrasyon Yöntemi	20

	Sayfa
2.8.1. Vakum infiltrasyon	22
2.8.2. Basınçlı infiltrasyon	24
2.8.3. Basıncsız infiltrasyon	26
2.8.4. İnfiltrasyonu etkileyen faktörler	28
2.9. Yaşlanma Isıl İşlemi	37
2.9.1. Yaşlanmaya takviye malzemesinin etkisi	40
2.9.2. Solüsyona alma ısıl işlemi	41
2.9.3. Su verme	42
2.9.4. Çökeltme sertleşmesi (yaşlandırma)	43
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	46
3.1. Giriş	46
3.2. Karıştırılmalı Döküm Yöntemi İle Üretim	46
3.3. İnfiltrasyon Yöntemi	49
3.3.1. Sinterleme işlemleri	53
3.3.2. Yoğunluk hesapları	54
3.4. Numunelerin Hazırlanma İşlemi	55
3.5. Isıl İşlem	56
3.6. Metalografik İşlemler	57
3.7. Sertlik Ölçümleri	59
3.8. Çekme Testi	59
3.9. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Elektron Dağılım Spektrometrisi (EDS) İncelemeleri	60
4. DENEYSEL BULGULAR VE DEĞERLENDİRME	61

	Sayfa
4.1. Toz Karakterizasyonu	61
4.2. Mikroyapı Karakterizasyonu	62
4.2.1. Döküm yöntemi	62
4.2.2. İnfiltrasyon yöntemi	64
4.3. Yoğunluk Sonuçları	68
4.4. Isıl İşlem Sonrası EDS Sonuçları	69
4.5. Sertlik Sonuçları	80
4.6. Çekme Test Sonuçları	83
5. SONUÇ VE TARTIŞMA	88
KAYNAKLAR	92
ÖZGEÇMİŞ	100

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. MMK'lerin üretim teknikleri	9
Çizelge 2.2. AMK malzemelerde kullanılan başlıca matris malzemelerinin mekanik özellikleri	12
Çizelge 2.3. AMK'lerde kullanılan başlıca takviye malzemelerinin özellikleri	13
Çizelge 2.4. Otomotiv endüstrisinde metal matrisli kompozit malzeme kullanımına bazı örnekler	14
Çizelge 2.5. Takviye Malzemesi Al_4C_3 ' ün özellikleri	15
Çizelge 3.1. AA 2014 alaşım tozunun kimyasal bileşimi	51
Çizelge 3.2. AA 2014 alaşım tozu - Al_4C_3 toz karışım oranları (gram)	51
Çizelge 3.3. Keller dağılayıcı bileşimi (%)	58

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Şekil 2.1. Farklı Morfolojiye Sahip Al-MAK'ların Mikroyapı Görüntüleri a) Al- %30 SiC içerikli partikül takviyeli kompozit numune b) Kısa fiber morfolojisi c) Al6061- %50 Al ₂ O ₃ fiber takviyeli kompozit numunenin optik mikroskoptaki üç boyutlu görüntüsü	8
Şekil 2.2. Parçacık takviyesinin matris üzerindeki mikro sertliğe yaşlanma süresine bağlı olarak etkisi. (a) Al 6061 + SiC _p at 180 °C (81). (b) Al 2124 + SiC _w at 177 °C	11
Şekil 2.3. Karıştırma Döküm Sistemi	19
Şekil 2.4. Sıvı matrisin gözenekli bir yapıda şematik olarak yükselmesi	22
Şekil 2.5. Vakum infiltrasyon yöntemi	23
Şekil 2.6. Basınçlı infiltrasyon yöntemi	24
Şekil 2.7. Orta basınçlı infiltrasyon yöntemi	25
Şekil 2.8. Savurma basınçlı infiltrasyon tekniği	26
Şekil 2.9. Basınçsız infiltrasyon yöntemi	27
Şekil 2.10. Takviye tozlarının cam kap içerisinde oluşturdukları dolu hacim ve gözenekler	30
Şekil 2.11. Bir sıvı damlasının katı bir yüzeyle temasıyla oluşan yüzey gerilimleri ve temas açısı	33
Şekil 2.12. Kırılma tipleri	35
Şekil 2.13. Çapraz kırılma test düzeneği	37
Şekil 2.14. Takviyesiz Al 2014 alaşımının farklı sıcaklıklardaki yaşlanma Eğrileri	38
Şekil 2.15. SiC ile takviye edilmiş Al 2014 alaşımının farklı sıcaklıklardaki yaşlanma eğrileri	39
Şekil 2.16. Al içinde Cu' ın maksimum çözünürlüğü	40

Şekil	Sayfa
Şekil 2.17. 190°C’de Al-%3,5Cu alaşımı ve değişik miktarlarda SiC ile takviye edilmiş kompozitlere ait yaşlandırma (zaman-mikrosertlik) grafiği.....	41
Şekil 2.18. Çözündürme ve yaşlandırma aşamalarını içeren çökeltme sertleşmesini gösteren şekil	42
Şekil 2.19. Çözen atom içerisinde dağılan çözünen atom	43
Şekil 2.20. Kendisini çevreleyen matris ile uyumlu çökelti (ideal çökelti)	44
Şekil 2.21. Kendisini çevreleyen matris ile uyumsuz çökelti (aşırı yaşlanmış çökelti)	44
Şekil 2.22. Çökelti arasında oluşan yarım halka şeklindeki dislokasyonlar	45
Şekil 2.23. Aşırı büyük çökelti dislokasyonlar tarafından kesilmesi	45
Şekil 3.1. Mikro çekme test numunesinin boyutları	47
Şekil 3.2. Karıştırma döküm sistemi	49
Şekil 3.3. İnfiltrasyon İşleminde Kullanılan Boru Kesiti	52
Şekil 4.1. Takviye hacim miktarına bağlı olarak yoğunluk değişim	68
Şekil 4.2. Döküm sonrası AA 2014 alaşım numunesinin SEM görüntüsü spektrumu	70
Şekil 4.3. Döküm sonrası AA 2014 alaşım numunesinin SEM görüntüsü 1. analizi	70
Şekil 4.4. Döküm sonrası AA 2014 alaşım numunesinin SEM görüntüsü 2. analizi	71
Şekil 4.5. Döküm sonrası AA 2014 alaşım numunesinin SEM görüntüsü 3. analizi	71
Şekil 4.6. %0.5 Al ₄ C ₃ takviyeli döküm sonrası ısıtıl işlem uygulanmış numunenin SEM görüntüsündeki 1. analiz	73
Şekil 4.7. %0.5 Al ₄ C ₃ takviyeli döküm sonrası ısıtıl işlem uygulanmış numunenin SEM görüntüsündeki 2. analiz	73

Şekil	Sayfa
Şekil 4.8. %0.5 Al ₄ C ₃ takviyeli döküm sonrası ısıtma işlemi uygulanmış numunenin SEM görüntüsündeki 4. analiz	74
Şekil 4.9. %0.5 Al ₄ C ₃ takviyeli döküm sonrası ısıtma işlemi uygulanmış numunenin SEM görüntüsündeki 6. analiz	74
Şekil 4.10. %0.5 Al ₄ C ₃ takviyeli döküm sonrası ısıtma işlemi uygulanmış numunenin SEM görüntüsündeki 7. analiz	74
Şekil 4.11. % 1 Al ₄ C ₃ takviyeli döküm sonrası ısıtma işlemi uygulanmış numunenin SEM görüntüsündeki 1. analiz	75
Şekil 4.12. % 1 Al ₄ C ₃ takviyeli döküm sonrası ısıtma işlemi uygulanmış numunenin SEM görüntüsündeki 2. analiz	75
Şekil 4.13. % 1 Al ₄ C ₃ takviyeli döküm sonrası ısıtma işlemi uygulanmış numunenin SEM görüntüsündeki 4. analiz	76
Şekil 4.14. % 1 Al ₄ C ₃ takviyeli döküm sonrası ısıtma işlemi uygulanmış numunenin SEM görüntüsündeki 5. analiz	76
Şekil 4.15. % 2 Al ₄ C ₃ takviyeli döküm sonrası ısıtma işlemi uygulanmış numunenin SEM görüntüsündeki 1. analiz	77
Şekil 4.16. % 2 Al ₄ C ₃ takviyeli döküm sonrası ısıtma işlemi uygulanmış numunenin SEM görüntüsündeki 2. analiz	77
Şekil 4.17. % 2 Al ₄ C ₃ takviyeli döküm sonrası ısıtma işlemi uygulanmış numunenin SEM görüntüsündeki 3. analiz	78
Şekil 4.18. % 2 Al ₄ C ₃ takviyeli döküm sonrası ısıtma işlemi uygulanmış numunenin SEM görüntüsündeki 4. analiz	78
Şekil 4.19. % 2 Al ₄ C ₃ takviyeli döküm sonrası ısıtma işlemi uygulanmış numunenin SEM görüntüsündeki 5. analiz	78
Şekil 4.20. % 4 Al ₄ C ₃ takviyeli döküm sonrası ısıtma işlemi uygulanmış numunenin SEM görüntüsündeki 1. analiz	79
Şekil 4.21. % 4 Al ₄ C ₃ takviyeli döküm sonrası ısıtma işlemi uygulanmış numunenin SEM görüntüsündeki 3. analiz	79
Şekil 4.22. % 4 Al ₄ C ₃ takviyeli döküm sonrası ısıtma işlemi uygulanmış numunenin SEM görüntüsündeki 5. analiz	80

Şekil	Sayfa
Şekil 4.23. İnfiltrasyon işlemi ve sonrası uygulanan ısıt işlemlerin mikrosertlik değerleri (HV)	81
Şekil 4.24. Döküm sonrası yaşlanma süresine ve takviye oranına bağlı olarak sertlik sonuçları	82
Şekil 4.25. Takviye oranına bağlı olarak mühendislik çekme gerilme (%) değişimi	84
Şekil 4.26. Takviye oranına bağlı olarak mühendislik kopma yüzde grafiği	85

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Mikro çekme numunelerinin üretiminde kullanılan döküm kalıbı	47
Resim 3.2. Metal Kalıbın Üniteye Bağlanması	48
Resim 3.3. Sıvı metal akışını sağlayan yolluk sistemi	48
Resim 3.4. Düşey gaz atomizasyon ünitesi 1.Ergitme ünitesi 2.Atomizasyon kulesi 3.Toz toplama ünitesi 4.Siklon 5.Fan 6.Basınçlı gaz ünitesi 7.Sıcaklık kontrol ünitesi	50
Resim 3.5. Elek analizi için kullanılan cihaz	50
Resim 3.6. Vakum İnfiltasyon işleminin yapılışı	52
Resim 3.7. İnfiltasyon borularından çıkarılmış ve kesilmiş numuneler	53
Resim 3.8. Protherm marka ısı işlem fırını	54
Resim 3.9. Arşimet Yoğunluk Ölçüm Sistemi	55
Resim 3.10. Struers Accutom-5 marka hassas kesme cihazı	55
Resim 3.11. (a) Döküm sonrası elde edilen numune (b) Hassas kesme sonrası mikro çekme numunesi	56
Resim 3.12. Protherm marka ısı işlem fırını	57
Resim 3.13. Dap-7 marka zımparalama cihazı	57
Resim 3.14. Presi marka parlatma cihazı	58
Resim 3.15. SHIMADZU marka mikro sertlik cihazı	59
Resim 3.16. Çekme test cihazı	60
Resim 3.17. JOEL JSM-6060LV Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)	60
Resim 4.1. Toz numunelerin SEM görüntüleri a) İnfiltasyon işleminde kullanılan AA 2014 alaşım tozu b) Takviye malzemesi Al ₄ C ₃ tozu	62

Resim	Sayfa
Resim 4.2. Döküm sonrası SEM görüntüleri a) %0.5 Al ₄ C ₃ takviyeli, b) % 1 Al ₄ C ₃ takviyeli , c) % 2 Al ₄ C ₃ takviyeli, d) % 4 Al ₄ C ₃ takviyeli numune	64
Resim 4.3. Vakum İnfiltrasyon sonrası SEM görüntüleri a) Takviyesiz numune b) Ağırlıkça %0.5 Al ₄ C ₃ takviyeli, c) Ağırlıkça %1 Al ₄ C ₃ takviyeli, d) Ağırlıkça %2 Al ₄ C ₃ takviyeli	65
Resim 4.4. Sinterleme (560°C) ısıl işlemi uygulanmış vakum İnfiltrasyon numunelerin SEM görüntüleri a) Takviyesiz numune b) Ağırlıkça %0.5 Al ₄ C ₃ takviyeli, c) Ağırlıkça %1 Al ₄ C ₃ takviyeli, d) Ağırlıkça %2 Al ₄ C ₃ takviyeli	66
Resim 4.5. Yaşlanma (220°C) ısıl işlem uygulanmış numunelerin SEM görüntüleri a) Takviyesiz numune b) Ağırlıkça %0.5 Al ₄ C ₃ takviyeli, c) Ağırlıkça %1 Al ₄ C ₃ takviyeli, d) Ağırlıkça %2 Al ₄ C ₃ takviyeli	67
Resim 4.6. Döküm sonrası AA 2014 alaşım numunesi EDS için SEM görüntüsü	70
Resim 4.7. %0.5 Al ₄ C ₃ takviyeli döküm sonrası yaşlanma ısıl işlem uygulanmış numunenin EDS için SEM görüntüsü	73
Resim 4.8. % 1 Al ₄ C ₃ takviyeli döküm sonrası yaşlanma ısıl işlem uygulanmış numunenin EDS için SEM görüntüsü	75
Resim 4.9. % 2 Al ₄ C ₃ takviyeli döküm sonrası yaşlanma ısıl işlem uygulanmış numunenin EDS için SEM görüntüsü	77
Resim 4.10. % 4 Al ₄ C ₃ takviyeli döküm sonrası yaşlanma ısıl işlem uygulanmış numunenin EDS için SEM görüntüsü	79
Resim 4.11. Döküm sonrası numunelerin çekme testi sonrası kopma yüzeyleri a) Takviyesiz, b) %0,5 Al ₄ C ₃ , c)%1 Al ₄ C ₃ , d) %2 Al ₄ C ₃ , e) %4 Al ₄ C ₃	86
Resim 4.11. Döküm sonrası yaşlanma ısıl işlemi uygulanmış numunelerin çekme testi sonrası kopma yüzeyleri a) Takviyesiz, b) %0,5 Al ₄ C ₃ , c)%1 Al ₄ C ₃ , d) %2 Al ₄ C ₃ , e) %4 Al ₄ C ₃	87

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılan bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
Al	Alüminyum
AlCu	Alüminyum bakır
Al₂O₃	Alüminyum oksit
Al₄C₃	Alüminyum karbür
B	Bor
B₄C	Bor karbür
C	Karbon
Cu	Bakır
Fe	Demir
Mg	Magnezyum
Si	Silisyum
SiC	Silisyum karbür
Kısaltmalar	Açıklama
AMK	Alüminyum Matrisli Kompozit
EDS	Elektron Dispersion Spektrometre- Elektron Dağılım Spektrometrisi
G.Ü.T.E.F.	Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi
K.Ü.M.F.	Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
MA	Mekanik Alaşımlama
MMK	Metal Matrisli Kompozit
MPa	Megapaskal
PMK	Polimer Matrisli Kompozit

Kısaltmalar**Açıklama****SEM**Scanning Electron Microscope- Taramalı
Elektron Mikroskobu**TEM**

Geçirimli Elektron Mikroskobu

T- H

Takviye Hacim

TM

Toz Metalurjisi

1.GİRİŞ

Kompozit malzemeler mühendislik uygulamalarında XX. Yüzyılın ikinci yarısından beri kullanılmaktadır. Ancak matris malzemesi olarak çeşitli metallerin alaşımlarıyla birlikte kullanılması son yirmi yılda hızla artış göstermiştir. Bu artış, metal matrisli kompozit (MMK) malzemeler üzerinde yapılan araştırmaların yoğunlaşmasını da beraberinde getirmiştir [1].

Kompozit malzeme, belirli bir amaca yönelik olarak, en az iki farklı malzemenin bir araya getirilmesiyle meydana gelen malzeme gurubudur. Birbirlerinin zayıf yönünü düzelterek üstün özellikler elde etmek amacıyla bir araya getirilmiş değişik tür malzemelerden veya fazlardan oluşan malzeme sistemine kompozit malzeme denir [2]. Diğer bir deyişle, amaçlanan doğrultuda bileşenlerin daha üstün özelliklere sahip bir malzeme üretilmesi hedeflenmektedir.

Kompozit malzemelerin üretiminde matris malzemesi önemli rol oynar. MMK malzeme üretiminde alüminyum ve alüminyum alaşımları kompozit malzeme üretiminde en çok tercih edilen matris malzemelerindendir. Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının en belirgin avantajları hafifliği, sünekliği kolay işlenebilirliği, yüksek ısı ve elektrik iletkenliğidir.

Kompozit malzemelerde matrisin türü yanında takviye olarak kullanılan katkı malzemeleri de belirleyici rol oynar. Bunlar sürekli veya süreksiz fiberler ile parçacık takviyeleridir. Ancak farklı boyutlardaki parçacık takviyesi, üretim yöntemi olarak döküm tekniklerinin uygulanabilmesi nedeniyle üretim maliyetlerini düşürmekte ve işleme kolaylığı açısından, fiber takviyeli kompozitlere oranla daha çok tercih edilmektedir. Partikül takviyeli kompozitlerin en önemli özelliği, takviyenin hacim oranı ve tipinin istenilen değerlerde değiştirilerek fiziksel ve mekanik özelliklerinin rahatlıkla ayarlanabilmesidir. Bu değişkenleri kullanmak suretiyle uygulama için gerekli olan özelliklerde kompozit malzeme dizayn edilebilir [3]. Partikül takviyesi olarak da sıklıkla Al_2O_3 ve SiC kullanılarak sertlik, mukavemet, yorulma dayanımı, aşınma direnci gibi mekanik özellikleri ile ısıl direnç

ve iletkenlik gibi termal özellikleri iyileştirilmiş malzemeler elde edilir. Bu üstün özellikli malzemeler de özellikle havacılık ve otomotiv sanayinde yaygın olarak kullanılır [1].

Alüminyum matrisli kompozitlerin üretilmesinde SiC, Al₂O₃, C ve SiO₂ gibi farklı takviye elemanları kullanılmaktadır. Alüminyum matrisler kısa fiberler (viskerler), uzun (sürekli) fiberler ve parçacıklarla güçlendirilerek kompozit üretiminde kullanılmaktadırlar.

MMK'ler katı ve sıvı hal işlemleri uygulanarak bir çok üretim yöntemleriyle üretilirler. Bunlar toz metalurjisi gibi katı hal işlemleri ve infiltrasyon, döküm, sıkıştırılmalı döküm, karıştırmalı döküm ve püskürtme çökmesi gibi sıvı hal işlemleridir [4, 5].

Katı hal işlemleri MMK üretilmesinde oldukça başarılıdırlar. Ancak çok pahalıdırlar. Parçacık takviyeli MMK üretiminde toz metalurjisi yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Yöntemde presleme, ön şekil verme ve sinterleme gibi işlemler kullanılmaktadır [6]. Bazen ikincil işlemlere ihtiyaç duyulması yöntemin pahalı olmasına neden olmaktadır. Ayrıca seramiklerin sinterleme işlemlerinin yüksek sıcaklıklarda olması özellikle alüminyum ve magnezyum gibi metallerde yanma kayıplarına sebep olmaktadır [7].

Karıştırmalı döküm yönteminde takviye hacim oranında sınırlamalar vardır. % 30'un üzerinde takviye hacim oranlarında kompozitlerde gözenek miktarları artmaktadır [8]. Son yıllarda yüksek takviye hacim oranlarındaki MMK üretiminde farklı yöntemler geliştirilmiştir. MMK, savurma döküm tekniğinde yüksek basınç kullanılarak başarıyla üretilmektedir [9]. Karıştırma döküm yöntemi AMK malzeme üretimi için ekonomik ve kolay yollardan birisidir. Ancak bu yöntemle üretimde karşılaşılabilecek problemler de az değildir. İnfiltrasyon yöntemiyle MMK malzeme üretimi oldukça ekonomik bir yöntemdir. Yüksek teknolojilere ve pahalı gereçlere ihtiyaç duyulmamaktadır [10].

Literatürde çökelme sıcaklığı, partikül boyutu, cinsi gibi birçok parametreye ve döküm yöntemlerine ilişkin çalışma olduğu halde, yapılan ısı işlemlerin ve üretim şeklinin her birinin, mekanik özellikleri etkilemesi nedeniyle bu iki parametrenin de ayrıntılı olarak araştırılması gerekmektedir.

Bu çalışmada, farklı oranlarda Al_4C_3 takviyeli AA 2014 alaşım matrisli kompozit malzemeler için döküm yöntemi ve vakum infiltrasyon üretim yöntemi kullanılarak ekonomik bir üretim yöntemi araştırılmıştır. AA 2014 alaşımına % 0,5, 1, 2 ve 4 Al_4C_3 partikül takviyesinin, malzemenin yaşlanma özelliklerine ve mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. Döküm yöntemi ve vakum infiltrasyon üretim yöntemleri ile üretilen kompozit malzemelerin yaşlandırma özellikleri ve mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır.

2. KOMPOZİT MALZEMELER

Metallerin süneklik ve tokluğu, seramiklerin yüksek mukavemet ve yüksek elastik modül özellikleri ile birleştirilmeleri neticesinde son derece önemli mühendislik malzemeleri ortaya çıkmıştır. Metal matrisli kompozitlere bu özellikleri kazandırmak amacıyla en az biri metal ve metal alaşımı, diğeri sürekli fiber, kılcal kristal veya partikül şeklinde SiC, TiC, B₄C, Al₂O₃, SiO₂ gibi seramik takviyeler olmak üzere iki farklı sistemin birleşimi ile elde edilir [11, 12].

1980'li yılların başlarından beri geliştirilmeye çalışılan malzeme gruplarından biri olan MMK malzemeler özellikle otomotiv endüstrisi ile uzay ve havacılık sektöründe artış göstermiştir. MMK'lerin konvansiyonel malzemelere olan üstünlükleri; sahip oldukları yüksek mukavemet, elastik modül, tokluk, mükemmel sürünme, yorulma ve aşınma mukavemetleri ve düşük termal genleşme özellikleridir [11, 13].

Son yıllarda geliştirilen kaliteli ve ucuz partikül ve kısa fiberler sayesinde, MMK'ler ekonomik olarak üretilmeye başlanmıştır. Kullanım alanlarının çeşitliliğinden dolayı partikül takviyeli MMK malzemelerin üretimi ve özelliklerinin geliştirilmesi çalışmaları büyük önem arz etmektedir. MMK üretiminde Al ve alaşımları, kolay temin edilebilen SiC, TiC, B₄C, Al₂O₃, SiO₂ ve grafit gibi takviye malzemeleriyle kimyasal ve fiziksel olarak uygunluk gösterdiklerinden dolayı matris olarak daha çok tercih edilmektedirler. Birçok seramik takviye malzemesini kolay ıslatabilmeleri, düşük yoğunluk, yüksek ergime sıcaklığına sahip olmaları gibi özelliklerinden dolayı çok tercih edilirler. MMK'ler arasında en çok çalışılan seramik partikül takviyeli kompozitlerdir. Bu tür kompozitler gerek kullanım alanının genişlemesi ve yüksek üretim potansiyeli ve gerekse üretim ekonomisi açısından tercih edilmektedir. Ancak üretimde karşılaşılan problemler nedeniyle, özellik ve yöntem geliştirme çalışmaları devam etmektedir. Partikül takviyeli MMK üretimi için çok değişik metotlar olmasına rağmen, bu metotlardan en kolay ve en ucuz olanı seramik partiküllerin ergimiş sıvı metal içerisinde karıştırılması şeklinde olan sıvı metalürji metodudur. Bu metot MMK çalışmalarında yaygın olarak kullanılan metotlardan biridir. Sıvı metalürji metoduyla iyi nitelikli MMK malzeme elde edebilmek için karıştırma hızı,

karıştırıcı kabiliyeti, karıştırma sıcaklığı, takviye hızı gibi işlem parametrelerinin hassas olarak kontrol edilmesi gerekmektedir. Kontrolün sağlanamadığı sistemlerde, düşük partikül boyutu ve yüksek hacim oranlarında, özellikle partiküller etrafında porozite oluşmakta ve partikül yığılması görülmektedir. Öyle ki, porozite oranı %25-30'a kadar çıkabilmektedir. Bu metotta iki önemli problem görülmektedir: Birincisi, seramik partiküller genellikle sıvı metal tarafından ıslatılmamaktadır. İkincisi, partiküller sıvı metalin yoğunluğuna bağlı olarak sıvı metal içerisinde metalin yüzeyinde yüzme ya da dibe çökme eğilimi göstermektedirler. Islatmanın geliştirilmesi için:

- a) Katı yüzey enerjisinin arttırılması,
- b) Sıvı metal yüzey geriliminin azaltılması,
- c) Katı-sıvı ara yüzey enerjisinin azaltılması gibi tedbirler alınmaktadır.

Bu tedbirlerden; örneğin sıvı metalin sıcaklığının artırılması, partikül yüzeyinin kaplanması ya da partiküllerin ısı ile oksitlendirilmesi, matris sıvı yüzey geriliminin azaltılması için bileşim ayarlaması gibi yöntemler uygulanmaktadır [12].

Bir malzemenin kompozit olarak değerlendirilmesi için, kabaca şu özellikleri taşıması gerekmektedir:

- Kimyasal olarak birbirlerinden farklı en az iki bileşenin kombinasyonu ile üretilmesi,
- Kompozit malzemeyi oluşturan bileşenlerin üç boyutlu olarak birleşmeleri,
- Nihai malzemenin, bileşenlerinin tek başlarına sahip olamayacağı özellikleri göstermeleri. [14]

2.1. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler ile ilgili, metal-inorganik malzeme kombinasyonları; matris sitemleri, tabaka yapılar gibi bileşen fazların karakteristikleri; sürekli, süreksiz gibi bileşenlerin dağılımları; elektriksel, yapısal gibi fonksiyonlar ve özellikleri göz önünde bulundurularak çeşitli sınıflandırmalar yapılmıştır. Yapısal bileşenlerin şekline göre yapılan genel bir sıralama şöyledir:

1. Fiberli kompozitler
2. Levhasal kompozitler
3. Partikül kompozitler
4. Doldurulmuş (veya iskelet) kompozitler
5. Tabakalı kompozitler

Kompozit malzemeler üzerinde, kullanılan matris malzemesinin türüne göre sınıflandırmalar yapılmaktadır. Matris malzemesi üzerine yapılan sınıflandırmada kompozitler genel olarak, polimer, seramik ve metal matrisli kompozitler olmak üzere üç ana sınıfta incelenmektedir. [14]

2.2. Polimer Matrisli Kompozitler (PMK)

Polimerler, metal ve seramiklere göre daha karmaşıktırlar. Matris malzemesi olarak kullanılan polimerler, düşük maliyetli ve nispeten kolay çalışabilen malzemeler olmakla birlikte, bu malzemelerin düşük elastiklik modülü ve düşük kullanım sıcaklıklarına sahip olmaları, kullanım alanlarını sınırlamaktadır. PMK'lerde, matris yapısı termoset veya termoplastik polimerlerden oluşur. Kullanılan takviye malzemelerinin başlıcaları ise, cam fiber, kevlar fiber, bor ve karbon fiberlerdir. PMK'lerin üretiminde en çok kullanılan yöntemler, elle sıvama, tel sarma, kese kalıplama işlemi, pultrüzyon metodu, sıvı akış tekniği, takviyeli reaksiyon, enjeksiyon kalıplama, ekstrüzyon ve termo oluşum yöntemleridir [14].

PMK'lerin başlıca kullanım alanları ise, korozyon direnci sebebiyle denizcilik uygulamaları, hafifliği sebebiyle otomotiv ve diğer taşımacılık endüstrileri ile spor malzemeleri, yanmazlık özelliği istenen, otomotiv iç dekorasyonu gibi alanlar olarak gösterilebilir [15].

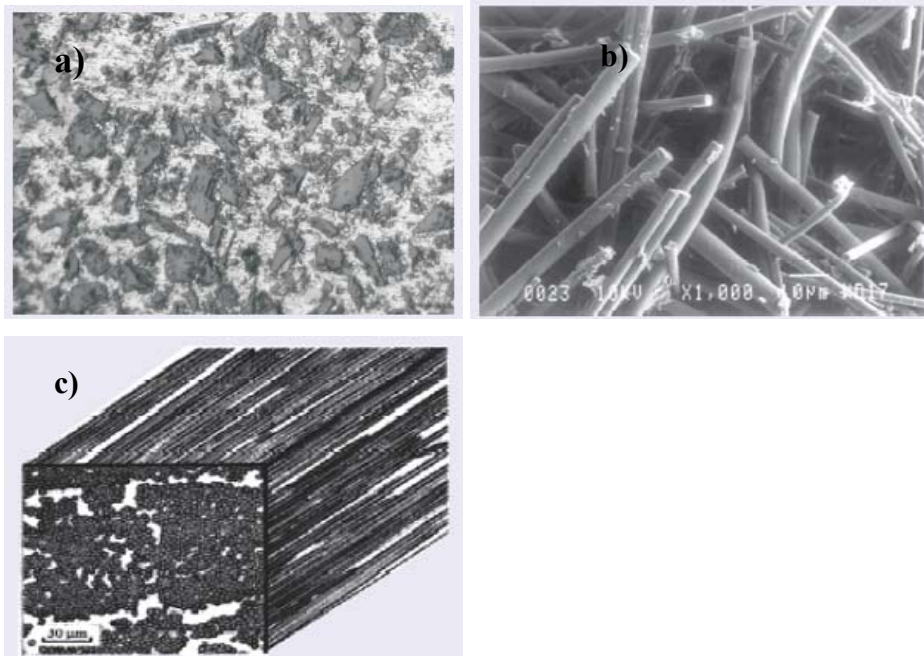
2.3. Metal Matrisli Kompozitler (MMK)

MMK, matris malzemeyi metalin oluşturduğu ve takviye elemanı olarak da seramik ya da refrakter bir takviye elemanın kullanıldığı kompozitlerdir. Bu malzemelerin seçiminde hemen hemen hiçbir sınırlama yoktur. Deneysel çalışmalara bakıldığında çok farklı takviye malzemesi kullanıldığı göze çarpar. Son 45-50 yıldır MMK'ler ile ilgili pek çok araştırma yapılmış ve literatürde olumlu şekilde yer almıştır. Ancak bunların optimum kullanım şartlarının belirlenmesinde ve pratikte kullanılmasında temel bazı şartlar aranır. Bunları şöyle sıralamak mümkündür [7].

- ✓ Yüksek elastikiyet modülü.
- ✓ Yüksek mukavemet.
- ✓ Yüksek tokluk ve darbe özellikleri.
- ✓ Yüksek elektrik ve termal iletkenlik.
- ✓ Isıl şoklar ve sıcaklık değişikliklerine karşı düşük hassasiyet ve iyi sürünme direnci.
- ✓ Sürekli mükemmel özellik.
- ✓ İyi yüzey dayanımı ve yüzey çatlaklarına karşı düşük hassasiyet.
- ✓ Tasarım, üretim, biçimlendirme, birleştirme ve son işleme bakımından mükemmel teknolojik birikim [16, 17].

MMK'ler yapısal olarak, tek bileşenli alaşımlarla elde edilemeyen özellikleri sağlamak üzere metal alaşımlı matris içinde sürekli veya süreksiz (kısa) fiber, visker veya parçacık şeklinde takviye fazı içerir (Şekil 2.1). Takviye fazına göre MMK'ler başlıca üç grupta incelenmektedir:

- ✓ Rijitliğin ve çoğunlukla da mukavemetin artmasıyla sonuçlanan, bir bağlayıcı matris içine tane şeklindeki takviyelerin ilavesi ile elde edilen partikül esaslı kompozitler,
- ✓ Yüksek uzunluk/çap oranı nedeniyle daha büyük yük iletimi yeteneğine sahip, dolayısıyla yüksek dayanımlı visker, kısa fiber veya lamel esaslı kompozitler,
- ✓ Fiberlerin yüksek yeterlikli tüm özelliklerini taşıyan sürekli fiber esaslı kompozitler.



Şekil 2.1. Farklı Morfolojiye Sahip Al-MAK'ların Mikroyapı Görüntüleri [18]

- a) Al- %30 SiC içerikli partikül takviyeli kompozit numune
- b) Kısa fiber morfolojisi
- c) Al6061- %50 Al₂O₃ fiber takviyeli kompozit numunenin optik mikroskoptaki üç boyutlu görüntüsü

Parçacık takviyeli MMK'ler, genellikle düşük dayanımlı bir matris yapı ile sert, kırılğan, yüksek dayanıklı seramik parçaların değişik yöntemlerle bir araya getirilmesi ile üretilen 2 ve/veya fazla malzemenin bileşimidir. Bu malzemelerin

özellikleri, bileşimi oluşturan bileşen özellikleri ile karşılaştırıldığında önemli derecede farklılıklar gözlemlenmektedir. Ana malzemeye göre akma, çekme ve bazı durumlarda da yorulma dayanımı oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıklarda önemli derecede artar [2]. Parçacık takviyeli MMK'ler ana yapıya göre yüksek modül, düşük ısıl genleşme katsayısı, yüksek aşınma direnci ve yüksek sertlik gibi fiziksel özelliklere sahiptir [19].

Bu malzemelerin seçiminde neredeyse hiçbir sınırlama yoktur. Deneysel çalışmalara bakıldığında çok farklı türlerin kullanıldığı görülmektedir. Ancak bunların optimum kullanım şartlarının belirlenmesinde ve pratikte kullanılmasında temel bazı şartlar aranır. Matris malzemesi, takviye elemanı ve / veya elemanlarını bir arada tutarken, aynı zamanda yük aktarımını, kayma, basma, akma, diaelektirik ve sürünme özellikleri gibi nitelikleri de bünyesinde toplar. Matris içerisindeki takviye elemanları, sertlik artışının yanı sıra, korozyon direnci, aşınma direnci ve yüksek sıcaklık performansı gibi özellikleri de iyileştirir [2]. MMK'lerin üretim teknikleri oldukça fazladır. Kısaca; bu kompozitlerin üretim teknikleri Çizelge 2.1'deki gibi sıralanabilir.

Çizelge 2.1. MMK'lerin üretim teknikleri [20].

Sıvı hal metotları	Katı hal metotları	In-situ metotları
İnfilitrasyon	Toz metalurjisi	Yönlü katılaştırma
Sıkıştırma döküm	Difüzyonla birleştirme	Tercihli yönlendirilmiş metal oksidasyonu
Basınçlı döküm	Sıcak haddeleme	
Yarı katı döküm		
Karıştırmalı döküm		
Püskürtme döküm		

MMK'leri kullanılan takviye malzemesine göre de kendi içinde fiber takviyeli ve partikül takviyeli olmak üzere ikiye ayırabiliriz. Bunlar içinde en çok kullanılan sürekli fiberler; karbon, alumina, silikon, karpit ve borondur. Süreksiz ve partikül

takviyeli olanlar genelde ucuz maliyet ve çeşitlilik açısından tercih edilir. Bunlara da en çok kullanılan SiC ve Al₂O₃'i örnek verebiliriz [21].

2.4. Alüminyum Matrisli Kompozitler (AMK)

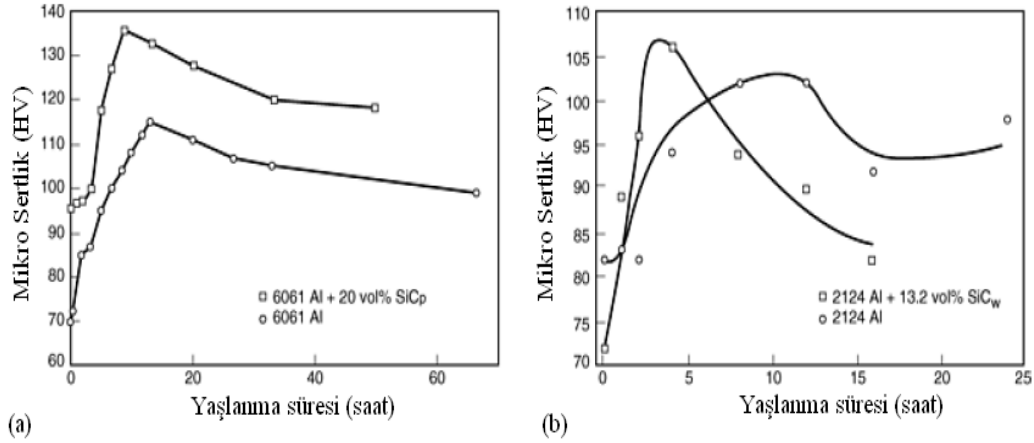
Alüminyum matrisli kompozitler, düşük ağırlık yüksek performanslı alüminyum merkezli malzeme sınıfında bulunmaktadır. Takviye malzemesi, alüminyum matrisli kompozitlerde sürekli/sürekli fiberler, whisker veya partiküller olarak %70'e varan hacim oranlarında bulunabilirler [22]. Alüminyum matrisli kompozitlerin özellikleri, endüstriyel uygulamalardaki pozisyonlarına göre uygun matris bileşiminin, takviye ve üretim yönteminin seçilmesi ile uygun hale getirilebilir. Son otuz yıl yapılan yoğun araştırmalar ile seramik takviyelerin dahili ve harici etkilerinin anlaşılmasında gelişme kaydedilmiştir. Son bir kaç yılda, alüminyum matrisli kompozitlerden uzay, otomotiv, savunma sanayi, termal yönetim alanları ve hatta spor ve eğlence alanlarında, yüksek teknoloji yapısal ve fonksiyonel uygulamalarda yararlanılmaktadır. Takviye edilmemiş malzemeye oranla alüminyum matrisli kompozitlerin başlıca avantajları şunlardır [3]:

- ✓ Yüksek dayanım
- ✓ Yüksek rijitlik (stiffness-bükülmezlik)
- ✓ Düşük yoğunluk (ağırlık)
- ✓ Geliştirilmiş yüksek sıcaklık özellikleri
- ✓ Kontrol altına alınmış ısıl genleşme katsayısı
- ✓ Termal/ısı yönetimi
- ✓ İyileştirilmiş elektriksel performans
- ✓ Yüksek aşınma direnci
- ✓ Yığın kontrolü (piston hareketli uygulamalarda)
- ✓ Yüksek sönmeme yeteneği.

Alüminyum matrisli kompozitler, demir alaşımlarının, titanyum alaşımlarının ve bazı uygulamalarda kullanılan polimer esaslı kompozitlerin yerini alması amacıyla geliştirilmiştir. Yüksek oranlarda bulunan alaşım elemanlarıyla alüminyum, metaller

arası bileşikler oluşturur. Bu bileşikler sert ve kırılımandır. Böylece sertlik ve mukavemet değerleri artarken, şekillendirilebilirlik kabiliyeti düşer [1].

Şekil 2.2’de Parçacık takviyesinin matris üzerindeki mikro sertliğe yaşlanma süresine bağlı olarak etkisi görülmektedir.



Şekil 2.2. Parçacık takviyesinin matris üzerindeki mikro sertliğe yaşlanma süresine bağlı olarak etkisi. (a) Al 6061 + SiC_p at 180 °C (81). (b) Al 2124 + SiC_w at 177 °C [24].

Jangg ve arkadaşları alüminyum alaşımlarının takviyesinde kullanılan parçacıkların etkinliği üzerinde araştırmalar yapmışlardır [23]. Bu alaşımlar için kullanılan klasik yöntemlerde (döküm, karıştırma v.b.) takviye olarak Al₂O₃ yüksek sıcaklıklarda büyümesi ve homojen bir dağılım elde edilememesi gibi sorunlarla karşılaşmaktadır. Bu sebepten alüminyuma karbon ilavesi sonucu oluşan Al₄C₃ parçacıklarının malzemeyi daha da geliştireceği düşünülerek çalışmalar yapılmaktadır. Elde edilen alaşımlarda sertliğinin arttığını, aşırı yaşlanmanın yavaşladığını ve dikkat çekici derecede aşınma direncinin arttığı gözlemlenmiştir.

2.4.1. MMK’ler için matris malzemesi seçimi.

Kompozit yapılarda matrisin üç temel fonksiyonu vardır. Bunlar, elyafları bir arada tutmak, yükü elyaflara dağıtmak ve elyafları çevresel etkilerden korumaktır. İdeal bir matris malzemesi başlangıçta düşük viskoziteli bir yapıda iken daha sonra

elyafları sağlam ve uygun şekilde çevreleyebilecek katı forma kolaylıkla geçebilmelidir. Matris malzemeleri takviye elemanlarını bir arada tutarak birkaç kritik fonksiyonu da yerine getirirler. Matris malzemeleri takviye elemanlarına yük aktarımı yaparlarken takviye elemanlarını aşınmaya ve korozyona karşı korurlar. Takviye elemanlarından kırılma çatlakların yayılmasını engeller. Matris malzemeleri kayma, basma, akma, sürünme, dielektrik ve termo mekanik özelliklerini de belirler [21]. Kompozit malzemelerde matristen beklenen özellikler hafiflik, korozyon direnci, kırılma tokluğu ve takviye elemanı ile uyumluluğudur.

Çizelge 2.2. AMK malzemelerde kullanılan başlıca matris malzemelerinin mekanik özellikleri [30].

Matris Malzemesi	Akma Mukavemeti (Mpa)	Maksimum Mukavemet (Mpa)	Kopmadaki Uzunama Miktarı (%)	Elastiklik Modülü (Gpa)
Saf Al (Ticari)	30	80	40	72
Al- 6 Fe	280	350	12,5	82
Al- 4,5 Cu- T6	107	182	17	71
Al- Cu- Mg- T6	319	345	1,20	72
Al 1100- T6	63	99	41	-
2014 Al- T6	414	409	10	72
2024 Al- T4	268	388	8,20	-
2014 Al- T4	350	479	12	-
A 356 Al- T6	200	275	6	69
6061 Al- T6	276	326	15	68
7010 Al- T6	490	550	10,5	70

MMK için neredeyse bütün mühendislik malzemeleri matris olarak kullanılabilir. Bunların başlıcaları Al, Ti, Mg, Cu, Fe, Co, Mo, ve Ni gibi metal malzemeler ile bunların alaşımlarıdır. Alüminyumun hafifliği, işleme kolaylığı, korozyon direnci ve takviye elemanı ile uyumluluğu, en yaygın kullanılan matris malzemesi olmasında etkili olmuştur. Alüminyumun düşük ergime sıcaklığı

yüksek sıcaklıklarda kullanımını sınırlandırmaktadır. Bu durumlarda titanyum ve alaşımları çok kullanılan matris malzemelerdir. Ayrıca özellikleri takviye elemanı sayesinde daha da geliştirerek, yüksek çekme mukavemeti, ergime sıcaklığı, termal kararlılık, kolay üretilebilirlik özelliklerinin artırılması söz konusudur [7].

2.4.2. Partikül takviyeli MMK'ler için malzemesi seçimi.

Kompozit malzemelerde takviye partikülün görevi yükü taşıyarak matrisin dayanımını artırmaktır. Kompozitlerde takviye elemanları tekflament, kısa fiberler (viskerler), uzun fiberler veya parçacıklar şeklinde bulunabilirler. Yüksek elastikiyet modülü, düşük yoğunluk, yüksek çekme mukavemeti, termal kararlılık, matris malzemesi ile uyumluluk takviye elemanlarından beklenen özelliklerdir [25-26]. Metal matrisli kompozitlerde kullanılan başlıca takviye elemanları Al_2O_3 , SiC, B_4C , TiB_2 , Ti C, WC, W ve C dir. Çizelge 2.3' de AMK malzemelerde kullanılan başlıca takviye malzemelerinin özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2.3. AMK'lerde kullanılan başlıca takviye malzemelerinin özellikleri [37]

Takviye Malzemesi	Yoğunluk ($\times 10^3 kgm^{-3}$)	Isıl Genleşme Katsayısı ($10^{-6}C^{-1}$)	Ergime Sıcaklığı ($^{\circ}C$)	Mukavemet (MPa)	Elastiklik Modülü (GPa)
B_4C	2,52	6,08	2420	2759 (24 $^{\circ}C$)	448(24 $^{\circ}C$)
Al_2O_3	3,98	7,92	2100	221 (1090 $^{\circ}C$)	379 (1090 $^{\circ}C$)
SiC	3,21	3,21	2750	-	324 (1090 $^{\circ}C$)
C	2,18	-1,44	-	-	690
AlN	3,26	4,84	2375	2069 (24 $^{\circ}C$)	310 (1090 $^{\circ}C$)
SiO_2	2,66	<1,08	1710	-	73

Çizelge 2.4' de Otomotiv endüstrisinde metal matrisli kompozit malzeme kullanımına bazı örnekler verilmiştir.

Çizelge 2.4. Otomotiv endüstrisinde metal matrisli kompozit malzeme kullanımına bazı örnekler [78].

Bileşen	Malzeme	Avantaj
Fren Pedalı	Al- SiCp	Hafiflik ve uzun ömür
Piston Kolu	Al- Al ₂ O _{3p}	Hafiflik, Yüksek Mukavemet ve Modül
Segman	Al- SiCp	Yüksek Aşınma Dayanımı
Pistonlar	Al- SiCp	Yüksek Aşınma Dayanımı
Pistonlar	Al- Al ₂ O _{3p}	Yüksek sıcaklık Mukavemeti
Kasnaklar	Al- SiCp	Yüksek Aşınma Dayanımı ve Hafiflik
Selektör Çatalları	Al- SiCp	Yüksek Aşınma Dayanımı ve Hafiflik

Xian-ging vd., çalışmaların da takviye elemanı olarak, matrisin infiltre olabileceği ağ yapıya sahip ağaç seramik kullanmışlardır [27]. Ağaç seramiklere ZK60A Mg alaşımı infiltre ederek kompozit malzemenin mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Deneysel çalışmaların sonuçlarında ZK60A alaşımının, iyi infiltre olarak gözeneklerin büyük çoğunluğunu doldurduğu gözlenmiş ve mekanik özelliklerde artış olduğu tespit edilmiştir.

Rogers vd., gözeneklerin yer değiştirerek doldurulması metodu ile yoğun seramik/metal kompozitler üretmişlerdir [28]. Mg taşıyan sıvıyı 900-1000°C'da ön şekillendirilmiş oksit (Al₂O₃ veya MgAl₂O₄) içeri sine basınçsız olarak infiltre etmişlerdir. İnfiltre sonrası sıvı içerisindeki Mg ön şekillendirilmiş parça içindeki oksit ile yer değiştirme reaksiyonuna uğramıştır. Sonuç oksit ürünü (MgO veya MgAl₂O₄) başlangıç oksidinden daha fazla hacim oluşturmuştur. Ön şekillendirilmiş Ni Al₂O₄ durumunda yer değiştiren nikel sıvıdaki Al ve katıdaki Fe ile reaksiyona girerek katı Fe-Ni-Al alaşımı oluşturmuştur (reaksiyon girişimli katılaşma). Bu reaksiyonlarla üretilen artan katı hacmi (yeni oksit veya yeni oksit ve metal) gözenekleri doldurarak, minimum boyutsal değişimli yoğun parçalar üretilmesini sağlamıştır (sinterlemesiz yoğunlaştırma). Sürekli MgAl₂O₄/Fe-Ni -Al kompozitler oda sıcaklığında, ortalama 398 MPa çekme mukavemeti ve 13,2 MPa kırılma tokluğu göstermişlerdir.

Rogers vd., çalışmalarında toz metalurjisi ve sıvı infiltrasyonu metotlarıyla $BaAl_2O_4$ - $MgAl_2O_4$ - ZrO_2 sisteminde kompozit üretimi gerçekleştirmişlerdir [29]. Toz metalurjisi işleminde, istenen stokiometride Ba, Mg, Al, Al_2O_3 ve ZrO_2 karışımı (% 50 sünek metal) yüksek enerji titreşimli bilye değirmenlerinde hazırlanmış. Öğütülen toz % 80 yoğunlukta tek yönlü olarak preslenmiş, oksidasyon ve oksit oluşumunu sağlamak için $100^\circ C$ 'tan $1650^\circ C$ 'a kadar O_2 ortamında tavlansmıştır. Sıvı infiltrasyon metodunda % 5 gözenekli Al_2O_3 - ZrO_2 kompaktlar % 5 H_2 -Ar atmosferinde eşit dağılımlı basınçta sıvı Mg ile infiltre edilmiştir. Katılaşma sonrası yoğun ham parçalar oksidasyon ve bileşik oluşmasını sağlamak için $425^\circ C$ 'tan $1650^\circ C$ 'a kadar O_2 içinde ısı işleme tabi tutulmuştur.

2.5. Alüminyum Karbür (Al_4C_3)

Literatürde partikül takviyeli AMK malzemelerde takviye malzemesi olarak Al_4C_3 pek fazla tercih edilmemiştir. Genel olarak kompozit malzemenin içinde oluşturmaya yönelik çalışmalar yapılmıştır. Matris içerisine C katı partikülü takviyesi ile Al_4C_3 oluşturularak malzemenin mukavemetini artırma amaçlı çalışmalar yapılmıştır.

Çizelge 2.5. Takviye Malzemesi Al_4C_3 ' ün özellikleri.

Erime Noktası ($^\circ C$)	2100-2800
Yoğunluk (g/cm ³)	2.99
Toz Boyutu (μm)	< 45

Bostan B., çalışmasında mekanik alaşımlama ve ekstrüzyon sonrası Al_4C_3 oluşumunu incelemiştir [31]. Saf Al-C tozlarını yatay attritörde MA işleme tabi tutmuştur. Su soğutmalı sistemde, tozlara 20:1 bilya toz oranında ve 600 dev/dak. öğütme hızında 2 saat MA uygulanmıştır. Daha sonra tozları 1200 MPa basınç altında presleyerek kütle numuneler elde etmiştir. 500 gram MA yapılmış tozlarda %11 oranında $475^\circ C$ 'de ekstrüzyon işleme tabi tutmuştur. Deney numunelerini 550

°C’de, 2-64 saat arasında ve argon atmosferinde sinterlemiştir. MA ve ısıl işlemler sonrası SEM, TEM ve EDAX analizi yapmıştır, Al_4C_3 oluşumu tespit edilmeye çalışmıştır. SEM TEM ve EDAX incelemeleri sonunda preslemenin ve ekstrüzyonun Al_4C_3 oluşumunda etkin parametreler olduğu tespit etmiştir. TEM sonuçları, sinterlenen malzemelerde Al_4C_3 dönüşümünün gerçekleştiğini gözlemlemiştir.

Aksöz S., çalışmasında Al_4C_3 fazının C ve AA 2014 tozlarından katı faz reaksiyon tekniği ile oluşturulması ve yaşlanmaya etkisini araştırmıştır [2]. Gaz atomizasyon yöntemiyle, ortalama boyutu 95,43 μm olan alaşım tozları üretmiştir. Daha sonra elde edilen bu tozlar düşey attritör’de, C ile mekanik alaşımlama (MA) yaparak katı faz reaksiyonu oluşturmuştur. İşlem sırasında, % 2 karbon tozuna ilaveten % 0,5 çinko stearat tozları da ilave etmiştir. MA işlemi; su soğutmalı, 20: 1 bilya toz oranında ve 500 devir/dakika hızında en fazla 8 saat sürede gerçekleştirmiştir. Katı faz reaksiyonu ile oluşturulmuş toz karışımı tane boyu analizleri yapıldıktan sonra, 800 MPa basınç altında soğuk olarak preslemiş ve sonra 550 °C’de (2–24 saat) ve 600 °C’de (2–196 saat) argon atmosferinde uzun süreli ısıl işlem uygulamıştır. MA süresinin tozların sertliğine olan etkileri incelemiştir. Isıl işlem uygulanan numunelerin Enerji Dağılım Spektrometresi (EDS) ve X ışınları kırınımı (XRD) analizi yapmış ve Al_4C_3 oluşumu tespit etmiştir. Isıl işlem gören numunelerin optik mikroskop ve SEM görüntüleri alınarak mikro yapısal özellikler gözlemlemiş ve ayrıca Al_4C_3 fazının malzeme sertliğine olan olumlu etkisi belirlemiştir.

2.6. AMK Kompozit Üretim Yöntemleri

Kompozit malzemelerin mekanik özellikleri matris ile takviye elemanı ikilisinin uyumlu ve iyi bir bağ oluşturmalarına bağlıdır. Bu bağların kalitesi matrisin takviye elemanını iyi ıslatabilmesinin yanısıra seçilen üretim yöntemi ile de yakından ilgilidir [7]. Kompozit üretimi için iki genel metod mevcuttur:

- ✓ Katı hal üretim yöntemi.
 - Toz Metalurjisi (TM)
- ✓ Sıvı hal üretim yöntemi.

- Karıştırma Döküm
- Yarı-katı döküm
- İnfiltrasyon Yöntemi
- Sprey çöktürme
- In-situ yöntemi

Sıvı üretim yöntemleri çoğu kez seramik partiküllerin sıvı alüminyuma ve alaşımına mekanik yöntemlerle karıştırılması şeklindedir. Ancak, takviye malzemesi olarak seçilen seramik bileşikler, alüminyum tarafından ıslatılmadığından, başarılı bir karıştırma her zaman mümkün değildir. Bunun için, ya sıvı alaşıma ya da seramik partiküllere ıslanma/ıslatmayı geliştirecek şekilde müdahale edilmesi gerekmektedir. Ancak, bu tür ilave işlemler, üretim maliyetlerine de yansımaktadır [37].

2.6.1. Katı hal üretim yöntemleri

Katı hal üretim yöntemlerinde matris malzemesinin ergime sıcaklığı altındaki bir sıcaklıkta farklı işlemler uygulanarak kompozit malzeme üretilir [7].

Toz metalürjisi yöntemi en yaygın kullanılan kompozit malzeme üretim tekniğidir. Bu yöntemle toz halindeki matris ve takviye elemanları birlikte karıştırılarak mekanik olarak alaşımlanır ve istenilen şekli oluşturmak için kalıba konularak preslenir. Preslemeden sonra sinterleme işlemi uygulanır. Sinterleme sonrasında püskürtme veya haddelme gibi ikincil işlemler son şekil verme için gerekli olabilir. Türker M. vd., % 15 Si C katkılı Al tozlarını MA yöntemiyle üretmişler ve Al-Si C tozlarının mekanik alaşımlama değirmeninde öğütme zamanının kompozit toz yapısına etkisini araştırmışlardır [33]. Artan alaşımlama süresi ile katmanlı bir yapı oluşmuş ve bu katmanlar arasına takviye SiC partikülleri giderek homojen bir yapı oluşturmuş ve kompozitlerin sertlik değerinde artış olduğu tespit edilmiştir. Optimum toz boyutuna erişilmediğinden daha uzun süreli MA işlemine ihtiyaç duyulduğunu belirtmişlerdir.

Arık vd., MA yöntemiyle Al matrisli alüminyum karbür (Al_4C_3) takviyeli kompozit malzeme üretmişlerdir. En fazla (Al_4C_3) dönüşümünün $600^\circ C$ sıcaklık ve 7,5 saat MA süresinde elde edildiğini belirtmişlerdir [34,35].

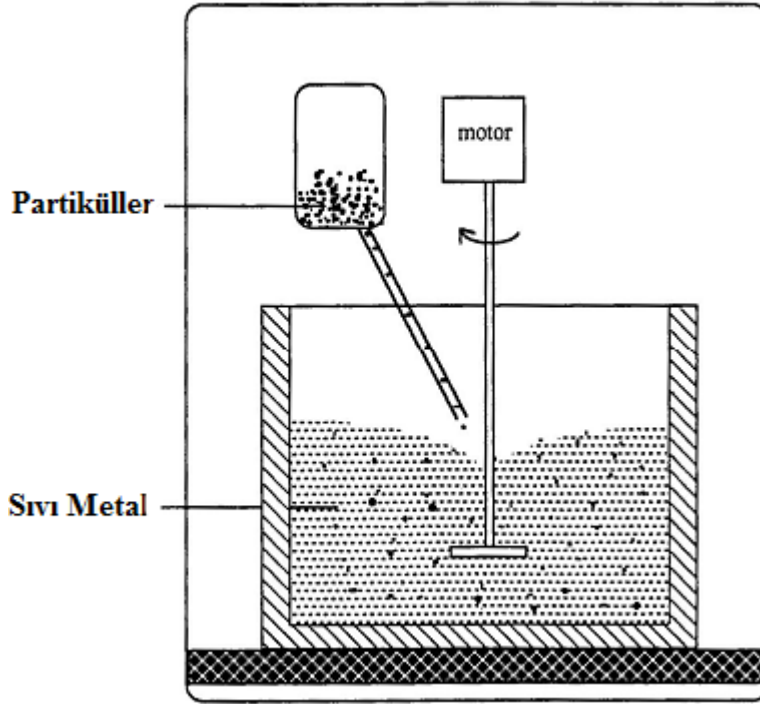
Hiçyılmaz vd., Gaz atomizasyonu ile üretilen 45, 63 ve 106 μm büyüklüğündeki Al tozlarına ağırlıkça % 1, 5, 10 oranlarında SiC ve alümina katarak 600 MPa basınçta preslemişlerdir. Azot gazı içerisinde $600^\circ C$ sıcaklıkta ve 30 dakika sürede sinterleme işlemiyle 55 mm boy ve 10x10 mm kesitte kompozitler üretmişlerdir. Mikroyapı incelemelerinde sert faz dışında % 10 gözenek tespit etmişlerdir. Toz boyutunun azalmasıyla kompozitlerin mekanik özelliklerinin iyileştiğini belirtmişlerdir [36].

2.6.2. Sıvı hal üretim yöntemleri

Sıvı hal üretim işlemleri, ergitilmiş matris malzemelerinin takviye elemanları ile herhangi bir şekilde temas geçirilerek aralarında bağ oluşturma işlemleridir [32]. Bu yöntemler basit ve ucuz olmaları, karmaşık parçaların üretimini olanaklı kılmaları açısından oldukça caziptir. Temel dökümhane teknikleri, süreksiz takviyeli alüminyum kompozitlerinin üretimine kolaylıkla uyarlanabilir. Sıvı üretim yöntemlerinin başlıca dezavantajları, takviyenin alüminyum tarafından düşük ısıtılması, son üründe, çekme, gaz boşlukları gibi döküm hatalarının görünmesi, takviye ile matris arasında tatmin edici dereceye ulaşmayan bağlanma ve/veya takviyenin aşırı reaksiyonla bozunması sayılabilir [18].

2.7. Karıştırma Yöntemi

Karıştırma yönteminde mekanik bir pervane yardımıyla yaratılan girdap (vorteks) etrafından partikül takviyelerin ergiyik metal içine ilave edilmesi söz konusudur. Şekil 2.3'de bu yöntemde kullanılan mekanik bir karıştırma sistemi gösterilmektedir.



Şekil 2.3. Karıştırma Döküm Sistemi.[79]

Mg gibi yüzey aktifleştirici elementlerin veya metal ile kaplanmış katı partiküllerin ilavesi yöntemin ilerleyişine yardımcı olmaktadır [3].

Bu yöntemin kullanılmasındaki sebeplerin başında tüm konvansiyonel metal imal ve işlem yöntemlerinin uygulanmasının mümkün oluşu ve dolayısıyla maliyetlerin düşmesidir. Bu yöntemde karşılaşılan problemler ise:

- Partikül ergiyik arasındaki reaktivite
- Partikül segregasyonu
- Takviye hacim oranının sınırlı olmasıdır [38].

Bu sorunların çözümü için uygulanabilecek yöntemleri şu şekilde sıralayabiliriz:

- ✓ Partiküllerin, bir karıştırıcı vasıtasıyla oluşturulan girdap (vortex) üzerinden eklenmesi,
- ✓ Partiküllerin yüzey işlemlerine tabi tutulması ya da matrisin alaşımlanması,
- ✓ Karıştırmadan önce partiküllerin ön ısıtılması,
- ✓ Ultrasonik ya da elektromanyetik titreşim kullanılması,
- ✓ Partikül ve metal matris tozlarının briket ya da pelet olarak katılması.

Vorteks metodu olarak da anılan, partiküllerin bir karıştırıcı vasıtasıyla oluşturulan girdap üzerinden eklendiği yöntemde, ergitilen metal matrisin içine daldırılan bir karıştırıcı yardımıyla oluşturulan girdap içine seramik takviye malzemeleri kontrollü olarak verilerek kompozit malzeme elde edilir. Bu yöntem, genelde partikül takviyeli AMK'ler için daha uygun olmasına karşın, kısa fiber veya visker takviyeli kompozitlerin üretilmesi de mümkündür. Bunun, AMK üretim yöntemleri içinde en ucuz ve en kolay yöntem olduğu belirtilmektedir. Ancak, azımsanmayacak ölçüde dezavantajları da bulunmaktadır. Öncelikle, karıştırma ve ilavelerin kontrollü atmosferde yapılmasına gerek duyulmaktadır. Proses değişkenlerinin iyi kontrol edilmediği durumlarda porozite oranı % 30'lara kadar çıkabilmektedir. Vorteks metodu içine kompozit döküm işlemini de almak mümkün olabilmektedir. Sıvı-katı aralığında şiddetli bir şekilde karıştırılan alaşım, bünyesinde % 60 kadar sıvı içerdiği durumda, karıştırma sebebiyle dendrit kolları kırılarak alaşımın akışkanlığı artmakta ve bu durumda seramik takviye elemanları alaşıma verilmektedir. Seramik fiber veya partiküllerin alaşıma ilave edilmesinden sonra alaşım ya yarı sıvı halde veya dökümde olduğu gibi geleneksel döküm sıcaklığına çıkarılıp döküm gerçekleştirilmektedir. Sistemin en önemli dezavantajı sıkıştırma dökümdeki gibi basınç altında katılaştırmaya gereksinim duymasıdır. Aksi halde yüksek oranlara varan poroziteli malzemeler elde edilmesi kaçınılmaz hale gelmektedir [30].

2.8. İnfiltrasyon Yöntemi

Sıvı matrisin gözenekli bir yapı içerisine infiltrasyonu basınç veya vakum yardımıyla elde edilir. Ayrıca sıvı damlacıkları katıyı ıslattığı zaman dışarıdan bir etki olmaksızın, gözenekli bir yapı içerisine sıvının kendi kendine infiltrasyonu gerçekleşir [39, 40-41].

Sıvı metal matrisin gözenekli seramik takviyeye infiltrasyonu, yüzeye sızma prensibine, kılcallık etkisine dayanmaktadır. Genellikle metal oksitlerde temas açısı 90°'den büyüktür. Bu nedenle, ıslatma kriteri olarak katı yüzeyde bulunan kılcal aralıklara ve pürüzlü yüzeylere metal sızmasını sağlamak için dış basıncı gerekli kılmaktadır [42, 43].

$$\Delta\rho = \frac{-2Df}{r} \quad (2.1)$$

Burada, r , kılcallık yarıçapı, $Df = \gamma_{sb} \cos \theta$, γ_{sb} , sıvı-buhar yüzey gerilimi ve θ , sıvı matris ile takviye arasındaki temas açısıdır.

Liplike-Young eşitliğinden Eş.2.2'de infiltrasyon için gerekli basınç;

$$\Delta\rho = \frac{2\gamma_{sb} \cdot \cos \theta}{r} \quad (2.2)$$

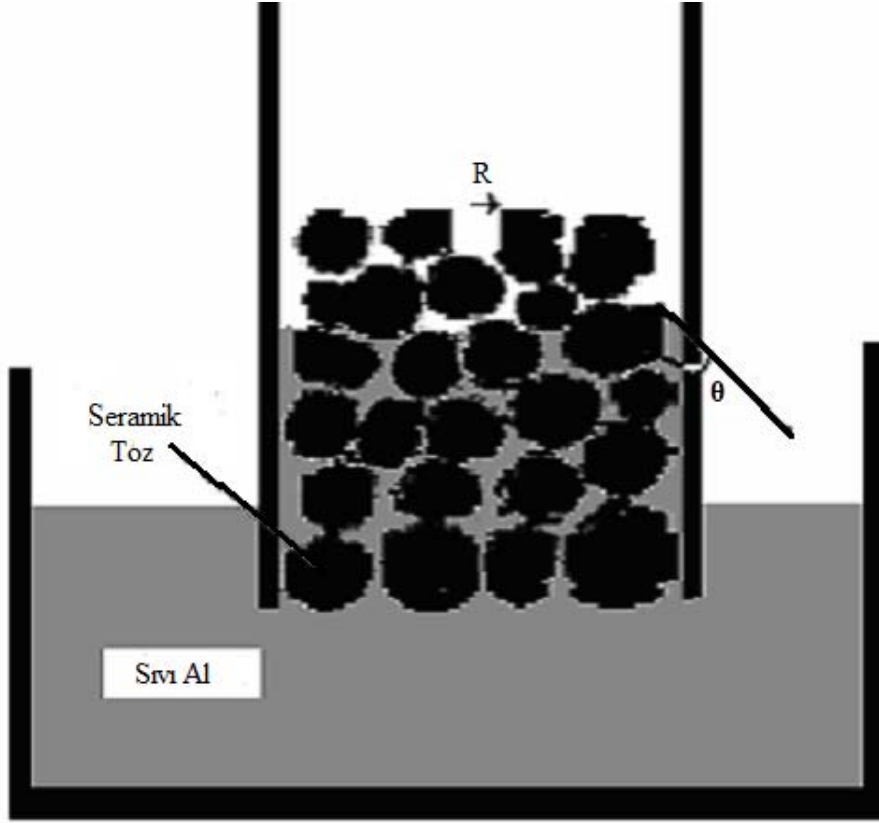
Burada r , kılcallık yarıçapıdır.

Belli takviye hacim oranında sıkıştırılmış tozlardan oluşan blok parçanın içerisine, sıvı matrisin infiltrasyonu için matematiksel ifade Eş.2.3'de verilmiştir.

$$\Delta\rho = \frac{6\lambda\gamma_{sb} \cdot \cos \theta (1 - w)}{d \cdot w} \quad (2.3)$$

Denklemler ile belirlenir. İnfiltrasyonun gerçekleşebilmesi için gerekli eşik basıncı $\Delta\rho$ dir. w , takviyedeki gözenek oranı, d , ortalama parçacık çapı, γ_{sb} ve θ sırasıyla, sıvı-buhar yüzey gerilimi ve sıvı matris ile takviye arasındaki temas açısıdır. λ ise geometri faktörüdür. Denklem, takviye hacim oranı ve ortalama parçacık boyutunun bir fonksiyonu olarak ifade edilmektedir [44, 45, 46, 47].

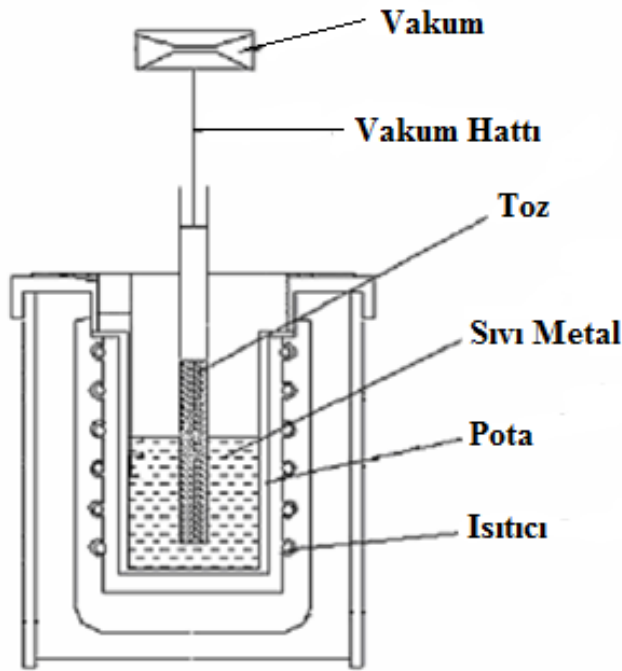
Şekil 2,4'de sıvı matrisin gözenekli bir yapıda, takviye parçacıklarının arasındaki kılcal boşluklarda ilerlemesi şematik olarak görülmektedir.



Şekil 2.4. Sıvı matrisin gözenekli bir yapıda şematik olarak yükselmesi [48].

2.8.1. Vakum infiltrasyon

Vakum infiltrasyon yönteminde sıvı matris, negatif bir basınç uygulanarak gözenekli takviye içerisine infiltre olmaktadır [44]. Yöntem basit ve oldukça ekonomiktir. Şekil 2.5'de şematik olarak vakum infiltrasyon yöntemi görülmektedir.



Şekil 2.5. Vakum infiltrasyon yöntemi [48].

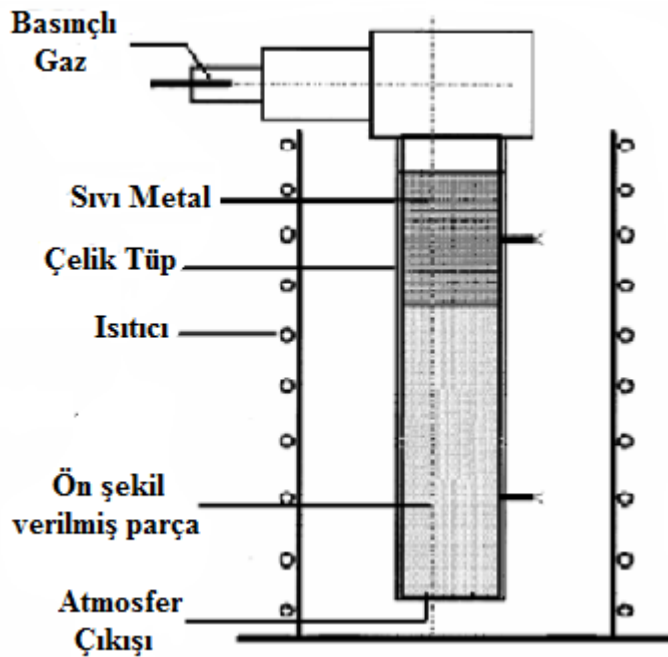
Özellikle Al alaşımlarında sıvı matrisin yüzeyinde oksit tabakası oluşması, takviyenin ıslatılmasını zorlaştırdığından infiltrasyonu olumsuz etkilemektedir. Bu durum sıvı matrise, takviyeyi ıslatma kabiliyetini artırıcı elementler ilavesiyle ve seramik takviyenin Cu ve Ni gibi elementlerle kaplanmasıyla aşılmaktadır [40, 53, 54,].

Acılar tarafından % 55'e varan takviye hacim oranına kadar SiC tozlara % 9,42 Si, % 0,36 Mg'lu alüminyum alaşımını vakum infiltrasyon yöntemi kullanarak başarı ile infiltre edilmiştir. İnfiltrasyon davranışı sıcaklık, süre, SiC tozların oksidasyonu, takviye hacim oranı gibi değişik parametrelerden etkilenmiştir [55].

Yüksek takviye hacim oranındaki SiC blok parçalara 400-500 mmHg vakum değerinde, düşük takviye hacim oranındaki tozlara ise 200 mmHg vakum değerinde tam infiltrasyon elde etmişlerdir. 640 ve 800 °C sıcaklıklarda 120-180 saniye optimum infiltrasyon süresi olarak belirlenmiştir. Artan sıcaklık ve sürelerde infiltrasyon oranının arttığı belirtilmiştir.

2.8.2. Basınçlı infiltrasyon

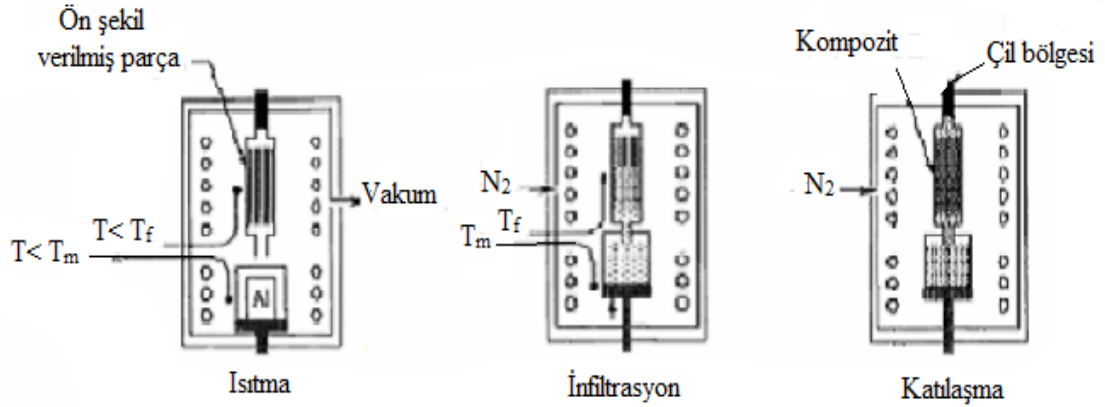
Basınçlı infiltrasyon yönteminde sıvı matris, ön şekillendirilmiş blok parça veya yatak içerisine basınçlı gaz ile iletilerek kompozit malzemeler üretilmektedir [41-55]. Şekil 2.6'de basınçlı infiltrasyon yöntemi şematik olarak gösterilmektedir. Şekilde çelik tüp içerisine yerleştirilen seramik takviyeye sıvı metal belirli basınçtaki gaz yardımı ile infiltre olmaktadır. İnfiltrasyonu kolaylaştırmak için kalıbın alt kısmında gaz çıkışı sağlayacak kanal bulunmaktadır. Basınçlı infiltrasyon yönteminde infiltrasyon basıncı, takviye hacim oranı, kalıp ön ısıtma sıcaklığı, takviye parçacık boyutu, infiltrasyon süresi ve sıvı metal sıcaklığı işlem parametreleri olarak ele alınmaktadır [41, 56].



Şekil 2.6. Basınçlı infiltrasyon yöntemi [58].

Bu yöntemde vakum destekli yüksek basınç kullanılarak sıvı matris fiber takviyelere başarı ile infiltre olmakta ve kompozitler basınç altında katılaşmaktadır. Ancak yüksek basınç uygulanmasının, zaman zaman fiberlerde deformasyona sebep olduğu belirtilmiştir [59].

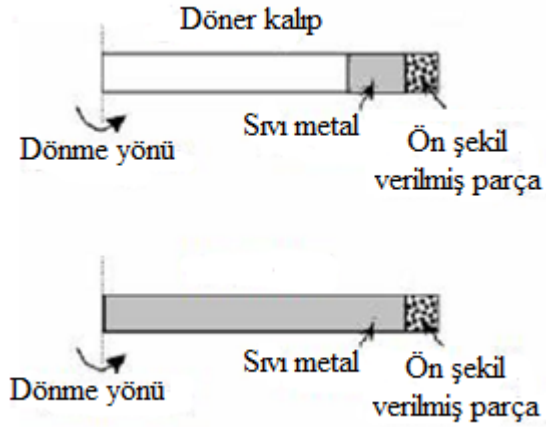
Bu durumu ortadan kaldırmak için orta basınçlı infiltrasyon tekniği geliştirilmiş ve fiber takviyelere sıvı Al matris başarı ile infiltre edilmiştir [60]. Şekil 2.7’de orta basınçlı infiltrasyon yöntemi şematik olarak görülmektedir.



Şekil 2.7. Orta basınçlı infiltrasyon yöntemi [60].

Şekil 2.7’de görüldüğü gibi infiltrasyon 3 aşamada gerçekleşmektedir. Birinci aşamada fiber takviye, sıvı matris sıcaklığının üzerinde bir sıcaklığa ısıtılmaktadır (T_f ve T_m sırasıyla 730 ve 700°C). İkinci aşamada 10 bar basıncındaki azot gazı yardımıyla sıvı alüminyum matris, 10 saniye süreyle alümina fiberlere infiltre olmaktadır. Son aşamada ikinci aşamanın hemen ardından gözeneklerin azaltılması için 90 bar basınçtaki azot gazı verilerek sıvı matrisin katılaşması sağlanmaktadır [60].

Basınçlı infiltrasyon yöntemi kullanılarak metal matrisli kompozit malzeme üretilmesinde farklı bir yöntem geliştirilmiştir [61]. Yöntemde metal matrisli kompozitler, yüksek basınç kullanılarak savurma tekniğiyle üretilmektedir. Şekil 2.8’de savurma basınçlı infiltrasyon tekniği görülmektedir.



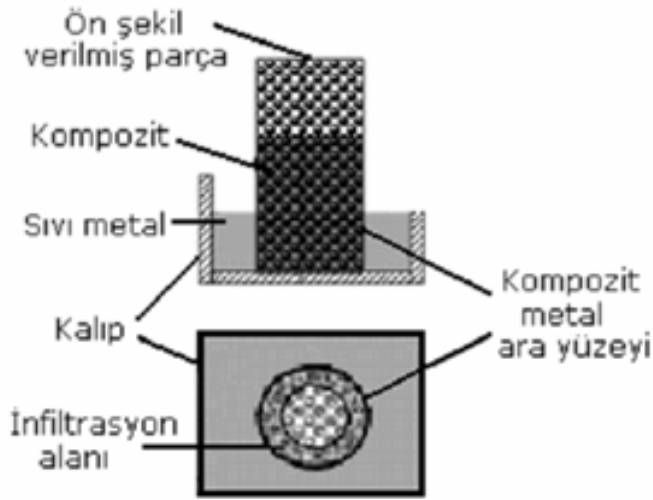
Şekil 2.8. Savurma basınçlı infiltrasyon tekniği [60].

Yöntemde döner kalıbın dip kısmına sıkıştırılan seramik tozlara, savurma basıncı uygulanarak sıvı matris infiltre edilmektedir. Kalıp dönme hızı, savurma kuvvetini etkilediğinden önemli işlem parametresidir [61].

2.8.3. Basınçsız infiltrasyon

Basınçsız infiltrasyon yönteminde sıvı metal parçacık takviye içerisine, basınç uygulanmaksızın kendi kendine infiltre olabilmektedir. Basınçsız infiltrasyonda sıvı matrise Mg ilavesi ve azot atmosferi infiltrasyonu kolaylaştırılmaktadır. Mg, sıvı alüminyumun seramik parçacıkları ıslatmasını geliştirerek infiltrasyonu sağlamaktadır [44, 62].

Şekil 2,9'de basınçsız infiltrasyon yöntemi şematik olarak görülmektedir. Yöntemde sıvı ingot yatak içerisine yerleştirilen blok parçaya azot atmosferinde sıvı matris infiltre olmaktadır. Sıcaklık, parçacık büyüklüğü, Mg içeriği, takviye hacim oranı, süre ve seramik takviyenin kaplanması işlem parametreleridir [41].

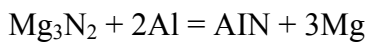


Şekil 2.9. Basıncsız infiltrasyon yöntemi [48].

Alaşım seramik sistemi 800-1000°C arasında ısıtılmaktadır ve infiltrasyonun gelişimini sağlayan reaksiyon denklemi;



İnfiltrasyon sırasındaki reaksiyon denklemi ise;



şeklinde yazılabilir [4].

İnfiltrasyon sıcaklığında Mg buharlaşır. Takviye yüzeyini kaplayan magnezyum nitrit (Mg_3N_2) oluşturmak üzere azot atmosferi ile Mg reaksiyona girer. (Mg_3N_2) sıvı matrisin takviye faza dışarıdan bir etki olmaksızın infiltrasyonuna imkan sağlayan bir bileşiktir [4].

Sıvı matrisin takviyeyi iyi ıslatabilmesi için uygun sıcaklık ve atmosfere ihtiyaç duyulur. 850-900 °C sıcaklık ve Ar ortamı Mg/TiC sisteminde kompozitlerin

basıncısız infiltrasyon yöntemi ile üretilmesinde optimum parametrelerdir. Yöntemde kompozitler son ölçüye yakın olarak üretilirler [63].

2.8.4. İnfiltrasyonu etkileyen faktörler

Takviye tane boyutu

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

İnfiltrasyon süresi

İnfiltrasyonun gerçekleşebilmesi için diğer işlem parameterelerine bağlı olmakla birlikte bir kuluçka süresine ihtiyaç duyulmaktadır [41].

Rodriques-Reyes (2003), Al-Si-Mg/ SiCp kompozitleri basınçsız infiltrasyon yöntemi ile üretmişler ve artan infiltrasyon sıcaklıklarında kuluçka süresinin azaldığını tespit etmişlerdir. Kuluçka süresinin sıcaklığa bağlı bir periyot olduğunu, ancak sıcaklık ve zaman parametrelerinin ortak etkisinin göz ardı edilebileceğini belirtmişlerdir [41].

Acılar (2002), % 55' e varan takviye hacim oranlarındaki SiC tozlara vakum infiltrasyon yöntemi ile % 9,42 Si, % 0,36 Mg' lu alüminyum alaşımını başarı ile infiltre etmişlerdir. Sıcaklığa bağlı olmakla birlikte, 120-180 saniye optimum infiltrasyon süresi olarak belirtilmiştir. İnfiltrasyon oranının artan infiltrasyon sürelerinde arttığını tespit etmiştir [51].

İnfiltrasyon sıcaklığı

Sıcaklık, infiltrasyon yönteminde en önemli üretim parametrelerinden biridir. Artan infiltrasyon sıcaklıklarında, sıvı matrisin, akıcılığı artarak, takviye taneleri arasındaki gözeneklerden infiltre olması kolaylaşmaktadır.

Rodriques-Reyes (2003), Al-Si-Mg / SiCp kompozitlerinin basınçsız infiltrasyon yöntemi ile üretilmesinde en önemli parametrenin sıcaklık olduğunu belirtmiştir. SiC blok parçaların infiltrasyonu artan sıcaklıkla, azalan kuluçka süresiyle gerçekleştirilmiş ve bu periyodun özellikle sıcaklığa bağlı olduğu belirtilmiştir [41].

Acılar ve Gül (2002) düşük hacim oranındaki SiCp/Al-10 Si kompozitlerinin vakum infiltrasyonunda, 660°C ve 180 saniyede 50 mm infiltrasyon elde ederken sıcaklığın 600°C sıcaklığa düşürülmesiyle infiltrasyonun zorlaştığını ve zayıf infiltrasyon meydana getirdiğini belirtmişlerdir [51].

Acılar (2002) % 55'e varan takviye hacim oranlarındaki SiCp tozlara vakum infiltrasyon yöntemi ile % 9,42 Si, % 0,36 Mg'lu alüminyum alaşımını infiltre etmişlerdir. Takviye hacim oranına bağlı olmakla birlikte 640-800 °C sıcaklıkları uygun değer infiltrasyon sıcaklığı olarak tespit edilmiştir [51].

Demir ve Altınok, (2004) Al-Al₂O₃/SiC kompozitleri basınçlı infiltrasyon yöntemiyle üretmişlerdir. Çalışmalar sonucunda, infiltrasyon sıcaklığının infiltrasyon için önemli bir parametre olduğunu belirtmişler ve artan infiltrasyon sıcaklıklarında kompozitlerin yoğunluğu artarak, kopma özelliklerinin arttığını tespit etmişlerdir. % 13 T-H oranında 800 °C sıcaklık ve 3 MPa infiltrasyon basıncında 558 MPa kopma gerilimi elde edildiğini belirtmişlerdir [51].

Arslan vd., (2000) B₄C-Al kompozitlerini basınçsız infiltrasyon yöntemiyle üretmişlerdir. 1000-1400°C sıcaklıkta ön şekillendirilmiş parçalara Al-Cu alaşımı infiltre edilmiş ve artan infiltrasyon sıcaklıklarında Al B₁₂ C₂ bileşiğinin oluştuğunu belirtmişlerdir [64].

Takviye hacim oranı

Kompozit malzeme, takviye malzemesinin matris malzemesi içerisinde dağılımıyla meydana gelir. Kompozit malzeme içerisinde, takviye malzemesinin hacimce miktarına, takviye hacim oranı ifadesi kullanılmaktadır. İnfiltrasyon yönteminde takviye-hacim oranı infiltrasyon davranışını ve kompozitlerin özelliklerini belirleyen parametrelerden biridir.

Kompozitlerin, gözeneklilik, sertlik, çekme dayanımı ve aşınma gibi özellikleri takviye hacim oranı ile doğrudan ilgilidir. Ayrıca infiltrasyon ile kompozit üretiminde T-H oranının önemli bir etkisi vardır. Şekil 2.10'de görüldüğü gibi takviye tozları cam kap içerisine yerleştirildiğinde oluşan hacim; Eş.2.4' de verilen takviye tozlarının hacmi ve gözenek hacminin toplamına eşittir:



Şekil 2.10. Takviye tozlarının cam kap içerisinde oluşturdukları dolu hacim ve gözenekler [59]

$$V = V_{\text{takviye}} + V_{\text{gözenek}} \quad (2.5)$$

Kompozit malzemelerde T-H oranları Eş.2.5 ve Eş.2.6' da ifade edildiği gibi hesaplanır. Takviye tozlarının oluşturduğu hacim ise Eş.2.5'de görüldüğü gibi takviye ağırlığının özgül ağırlığa bölünmesine eşittir:

$$V_{\text{takviye}} = m / d \quad (2.6)$$

T-H oranı ise Eş.2.6' da görüldüğü gibi takviyenin oluşturduğu hacmin toplam hacme oranına eşittir:

$$T-H \text{ oranı} = V_{\text{takviye}} / V_{\text{kompozit}} \quad (2.7)$$

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

Takviyenin kompozit içerisindeki oranı ise Eş.2.7'de görüldüğü gibi hesaplanır:

$$W_k = W_f \cdot V_f + W_m \cdot V_m \quad (2.8)$$

Burada;

W_k : Kompozitlerin ağırlığı W_f : Fiber ağırlığı V_f : Fiber hacmi

W_m : Matris ağırlığı V_m : Matris hacmi

Acılar (2002) Al-% 9,42 Si-% 0,36 Mg/SiC kompozitlerin vakum infiltrasyon yöntemiyle üretilmesinde kompozitlerin yoğunluklarının artan T-H oranıyla arttığını tespit etmiştir [51].

Acılar ve Gül (2002) Düşük hacim oranındaki SiCp/Al-10 Si MMK'leri vakum infiltrasyon yöntemiyle üretmişlerdir. Bu yöntemle düşük takviye hacim oranındaki kompozitlerin düşük sıcaklık ve sürede üretilmelerinin mümkün olabileceğini belirtmişlerdir. Kontrollü azot atmosferi blok parça içerisinde Mg tozu kullanımının, yöntemin gereksinimi olduğunu belirtmişlerdir. % 10 SiC içeren toz karışım için 600 °C sıcaklık ve 120 saniyelik infiltrasyon süresinin uygun şartlar olduğunu ve takviye hacim oranının artmasının infiltrasyon mesafesini önemli derecede azalttığını belirtmişlerdir [65].

İnfiltrasyon basıncı

İnfiltrasyon yönteminde basınç miktarı, sıvı matrisin blok parça içerisindeki kılcal boşluklardan ilerlemesini ve gözenekleri doldurmasını önemli ölçüde etkilemektedir. İnfiltrasyon, önceden belirtildiği gibi takviye parçacıkları arasında matrisin kılcal basınç ile ilerlemesiyle oluşmaktadır. Ancak bu işlemin olabilmesi için matris-takviye uyumu ve gözenek boyları etkili olmaktadır. Bu uygunluğun

olmadığı yerlerde kılcal basınca yardımcı olmak üzere infiltrasyona karşı kuvvetleri yenmek için dışardan basınç uygulanması gerekli olabilmektedir.

Elwahed ve Assar (1998) Al(Al_2O_3)p sisteminde basınçlı infiltrasyon yöntemiyle kompozit malzeme üretmişlerdir. Artan basınç değerlerinde infiltrasyon mesafesi artarken, kompozitlerin % gözenek miktarında azalma olduğunu tespit etmişlerdir. 63-90 μm boyutundaki alümina tozlarda 0,3 MPa basınçta gözenek miktarının maksimum % 2,4 değerine ulaştığı belirtilmiştir [52].

Acılar (2002) Al-% 9,42 Si-% 0,36 Mg/SiC kompozitleri vakum infiltrasyon yöntemiyle üretmişlerdir. Yüksek takviye hacim oranlarında 400-500 mmHg vakum değeri infiltrasyon için yeterli olurken, düşük T-H oranlarında gerekli vakum değerinin 200 mmHg değerinde olduğunu belirtmiştir [51].

Demir ve Altınkok (2004) Al- Al_2O_3 /SiC kompozitleri basınçlı infiltrasyon yöntemiyle üretmişlerdir. Sonuç olarak artan basınç değerlerinde kompozitlerin yoğunlukları ve dayanımlarının arttığını belirtmişlerdir [48].

Candan vd., (2000) SiC tozlara sıvı Al alaşımının basınçlı infiltrasyonun da, artan infiltrasyon basıncında infiltrasyon süresinin azaldığını belirtmişlerdir [68].

Alaşım

MMK'lerde takviye ile matris malzemesinin uyumu kompozitlerin özelliklerini etkileyen parametrelerden biridir. İnfiltrasyon yönteminde sıvı matrisin takviyeyi ıslatma kabiliyeti, infiltrasyon mesafesini önemli ölçüde etkilemektedir. Al matrisli kompozit malzemelerin infiltrasyonunda birçok araştırmada, sıvı matrisin Mg içeriğinin infiltrasyonu arttıran etki gösterdiği belirtilmiştir [51].

Islatma

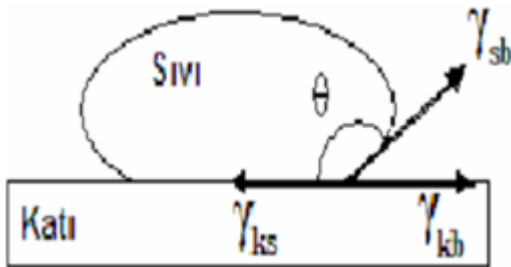
Islatma özelliği, sıvı matris ve takviyenin oluşturduğu serbest enerji değişimine bağlıdır. İki elektriksel yüzey birbirine yeteri kadar yaklaştığı zaman fiziksel çekim kuvveti mevcut olur ve bu durum katı bir yüzeyin sıvıyla ıslatılması halinde daha iyi anlaşılır [4].

İki yüzey fiziksel temas halinde olduğu zaman gerçek moleküsel temas, toplam yüzeyin sadece küçük bir kısmında meydana gelir. Ayrıca katı yüzeyindeki kirlilik ve oksitler kuvvetli bir yapışmaya engel olacaktır [55].

Takviye yüzeyinin etkili ıslanması için sıvı matris katı yüzeyinin her noktasına temas etmelidir. Bir sıvının katılaşması esnasında yapılan iş Eş.4.9'daki Püpre denklemi ile ifade edilir [42].

$$W_A = \gamma_{sb} + \gamma_{kb} - \gamma_{ks} \quad (2.9)$$

Burada; W_A , sıvının katılaşması esnasındaki yapılan iş, γ_{sb} , sıvının serbest enerjisi, γ_{kb} , katının serbest enerjisi, γ_{ks} , sıvı-katı arayüzeyi serbest enerjisidir. Şekil 2.11'da bir sıvı damlasının katı üzerine düşmesiyle oluşan yüzey gerilimleri ve temas açısı şematik olarak görülmektedir.



Şekil 2.11. Bir sıvı damlasının katı bir yüzeyle temasıyla oluşan yüzey gerilimleri ve temas açısı [48].

Bileşenler arasındaki maksimum bağ, arayüzey serbest enerjisi en aza indirildiğinde ortaya çıkar. Şekil 2.11'de görüldüğü gibi düzgün bir katı yüzey üzerine düşen sıvı damlasının fiziksel durumu Young denklemi ile ifade edilir [55, 47].

$$\gamma_{kb} = \gamma_{ks} + \gamma_{kb} \cos \theta \quad (2.10)$$

Eş 4.9 ve Eş 4.10 birleştirildiğinde sıvının katılaşma esnasında yapılan iş;

$$W_A = \gamma_{sb} + (1 + \cos \theta) \quad (2.11)$$

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

$\theta = 0^\circ$ tam ıslatma, $\theta = 180^\circ$ ıslatmanın olmadığını $\gamma_{kb} < \gamma_{ks}$ olursa θ , 90° den büyük olacağından ıslatma olmaz. $\theta < 90^\circ$ ise ıslanabilirliğin iyi olduğu söylenebilir [4, 57, 71]. Seramik takviyenin çeşitli metallerle kaplanması, sıvı matrisle alaşım elementi ilavesi, ısıl işlem uygulanması arayüzey enerjisini ve sıvı matrisin yüzey gerilimini düşürerek ıslatma özelliğini arttırmaktadır [56, 72].

Candan vd., (1997) 23 μm SiC tozlara basınçla Al, Mg alaşımı infiltre etmişlerdir. Sıvı matrisle Mg ilavesiyle sıvı matris ile takviye arasında ıslatma açısının düştüğünü tespit etmişlerdir [68].

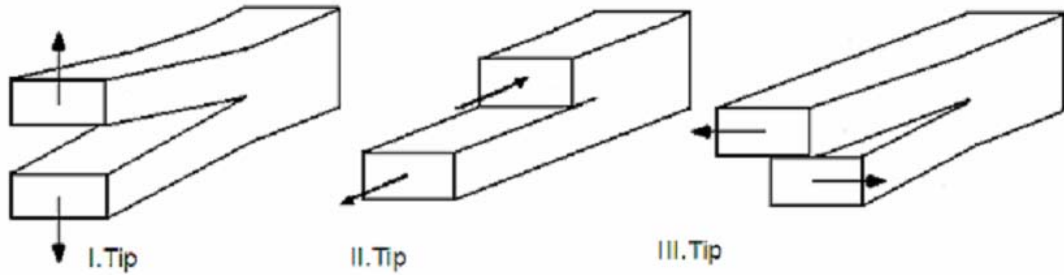
Branfenbrener (2005) B₄C, TiC, TiB₂ ve SiC tozlarla 15 MPa basınçta % 50-75 takviye hacim oranlarında blok parçalar elde etmişler. 800° C sıcaklıkta basınçsız infiltrasyon yöntemiyle blok parçalara argon ve magnezyum buharı atmosferinde Mg ve alaşımı infiltre etmişlerdir. Islatma açısını 15°-20° arasında tespit etmişlerdir. B₄C parçacıklarda, arayüzeyde MgO ve Mg₂C₃ oluştuğunu belirtmişlerdir [67].

Kompozitlerde kırılma

Malzemelerin yapılarında boşluklar ve çatlaklar olduğunda, çekme dayanımı, akma dayanımı ve eğilme dayanımı gerçek değerlerinde değildirler. Başka bir ifadeyle malzemelerin gerçek dayanımlarını vermezler. Bu durum farklı kırılma mekaniği gelişmesine yol açmıştır. Bu yaklaşım malzemede fiziksel hataların olması durumunda klasik yöntemlerin yerini almıştır. Kırılma mekaniğinde ana temalardan birisi çatlak başlamasına bağlı iyi belirlenmiş parametreler sağlamaktır.

Gerinim enerjisi salınım oranı, gerilim yoğunlaşma faktörü, çatlak dibi ilerlemesi ve J integrali gibi parametreler özel durumlarda çatlak dibi şartlarının karakterizasyonunda kullanılmaktadırlar. Bu parametrelerin kritik değerlerinin elde edilmesi çatlak başlangıcı için uygun şartların belirlenmesini sağlar.

Katı bir yapı içerisindeki çatlak üç farklı şekilde bulunabilir (Şekil 2.12). Normal gerilmeler açılma türü (I.tip), düzlem kayması ya da kayma türü (II. tip) ve yırtılma türü (III. tip) çatlaklara neden olur. Birçok uygulamada çatlak herhangi ikisinin veya üçünün bileşimi şeklinde olabilir.



Şekil 2.12. Kırılma tipleri [66].

Parçacık takviyeli MMK'lerde kırılma mekanizmalarının tanımlanması malzemeler için üretim, mikroyapı ve özelliklerinin ilişkileri bakımından önemlidir. Bazı araştırmacılar, MMK'lerde kırılma mekanizmaları üzerinde çalışmışlar ve genel yaklaşım MMK'lerde kırılmanın, çatlak dibinde yoğunlaşan boşlukların sünek deformasyon mekanizması ile oluştuğunu ifade etmişlerdir.

Düzensiz şekillenmiş parçacıklar MMK'lerde yüksek gerilmeye ve bu nedenle plastik akmalara neden olur. Bunun sonucunda arayüzey bağ kuvvetlerine bağlı olarak, parçacıkların çatlamasına veya ayrılmalarına, sonuç olarak boşluk oluşumuna ve bunların birleşerek kırılmaya neden olacak şekilde çatlak dibine akmalarına neden olurlar.

Tsangrakis ve diğerleri yanal çentikli çarpma gerilme numuneleri kullanarak % 30 SiC takviyeli 6061 ve 7055 Al alaşımlı matrisler için şarta bağımlı kırılma toklukları belirlemişlerdir. Ayrıca kırılma tokluğunun yöne bağımlı olmadığını belirlemişlerdir [81].

Demir ve Altınkok Al/SiC kompozitlerde artan infiltrasyon sıcaklıklarında kompozitlerin yoğunluklarının da artarak kopma dayanımının arttığını belirlemişlerdir [66]. Kompozitlerin kırılma dayanımları Eş.4.11'deki formülle hesaplanır. Uygulamalarda kullanılan çapraz kırılma aparatı Şekil 2.13'de şematik olarak verilmiştir.

$$\text{ÇKM} = \frac{3 \cdot P \cdot I}{2 \cdot b \cdot h^2} \text{ MPa} \quad (2.12)$$

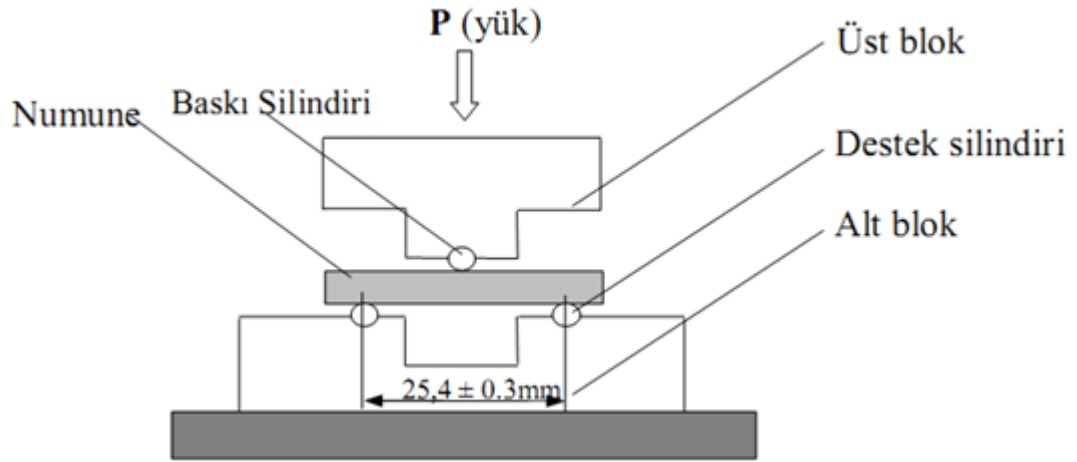
ÇKM: Çapraz kırılma mukavemeti (MPa)

P: Deney parçasının kırıldığı anda ölçülen yük (N)

I: Destekler arası uzaklık ($25,4 \pm 3$ mm)

b: Deney parçasının genişliği (mm)

h: Deney parçasının yüksekliği (mm)



Şekil 2.13. Çapraz kırılma test düzeneği [66].

2.9. Yaşlanma Isıl İşlemi

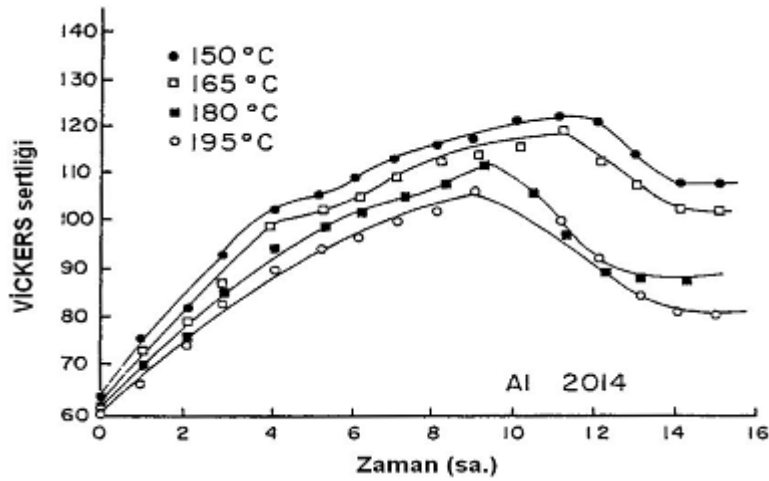
Faz denge diyagramları, bileşim ve sıcaklığa bağlı olarak oluşan kararlı fazları ve faz dönüşüm sıcaklıklarını gösterir. Bu durumda soğutma işlemi süresince faz dönüşümleri zorlayıcı etki olmaksızın kendiliğinden tamamlanır. Ancak kontrollü ısıtma ve soğutma işlemleri ile sağlanan denge hali faz dönüşümleri, su verme işlemi gibi aşırı şartlar altında kısmen veya tamamen önlenemez. Bu gibi durumlarda elde edilecek denge dışı yarı kararlı fazlar üstün özelliklere sahip olabilirler [72].

Bu prensipten yola çıkarak çeliklerde su verme işleminde olduğu gibi, bazı alüminyum ve alaşımlarında da çökeltme sertleşmesi yani yaşlandırma gibi ısı işlemleri yapılabilir. Bir ana faz içinde çok küçük parçacıklar halinde çökeltmeyi sağlayan ve dolayısıyla sertlik ve mukavemet özelliklerini arttıran bu yöntem, en çok Al-Cu ve Al-Mg-Si alaşımlarına uygulanır [1].

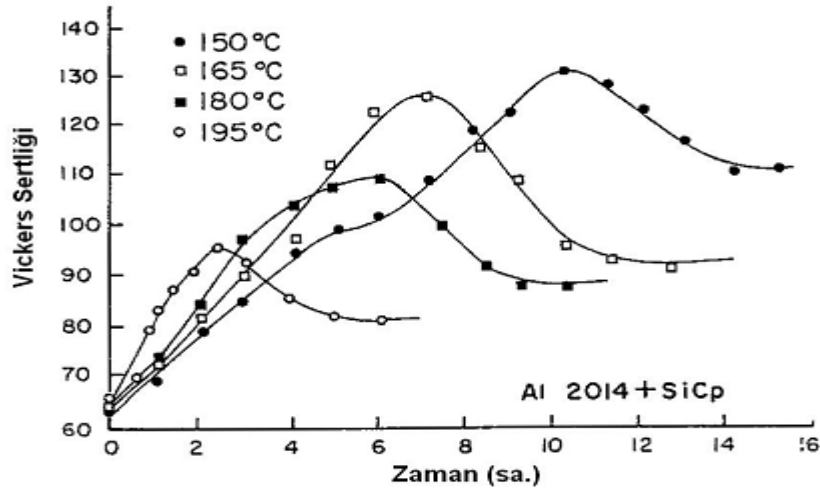
Yaşlandırma ısı işlemi, yumuşak ve sünek matriste ince, sert ve matriste uyumlu çökeltilerin oluşumunu sağlamak için uygulanır [73]. Matris içinde uygun şekilde dağılan çökeltiler, dislokasyon hareketlerini engelleyerek, alaşımların mukavemet değerlerinde artışa neden olurlar. Yaşlandırma ısı işlemi ile, bakır alaşımlarının, martenzitik paslanmaz çeliklerin ve ısı işlem uygulanabilen alüminyum alaşımlarının (Ör: 2xxx, 6xxx ve 7xxx alaşım serisi), sertleşmesi sağlanarak

dayanımları artırılabilir. Yaşlandırma ısıl işlemi, üç aşamadan meydana gelmektedir. Bunlar; solüsyona alma, su verme, yaşlandırma işlemleridir [73].

Chawla vd., dört farklı yaşlandırma sıcaklığının etkilerini SiC ve Al₂O₃ partikül takviyeli 2014 alüminyum matrisli döküm kompozit malzeme üzerinde denemiştir [79]. 2014 alüminyum matrisi için farklı sıcaklıklardaki yaşlanma eğrilerinin özdeş olduğu görülmüştür. Ancak, farklı yaşlanma sıcaklığında seramik takviyelerin bulunuşu ile çökelme kinetiği üzerinde önemli etkisi olduğu görülmüştür. Şekil 2.14, takviye edilmemiş 2014 alüminyum alaşımına ait farklı sıcaklıklardaki yaşlanma eğrisini vermektedir. Şekil 2.15 ise değişik oranlarda SiC partikülü ile takviye edilmiş alaşıma ait yaşlanma grafiğini vermektedir.



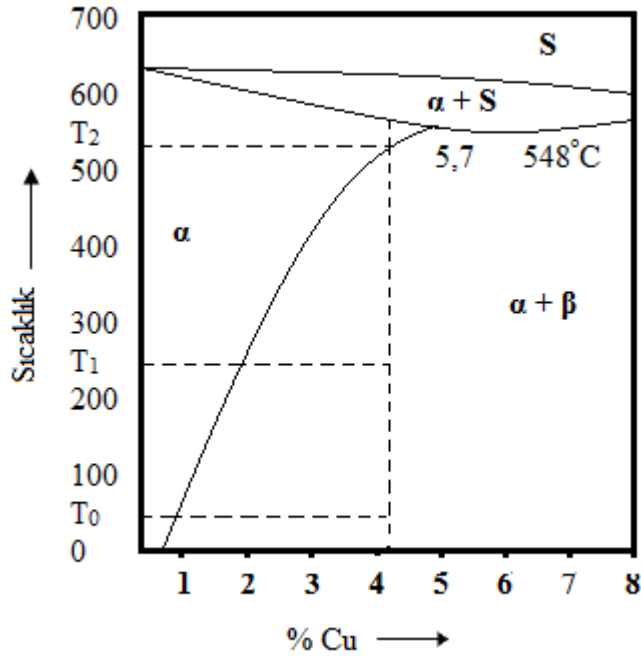
Şekil 2.14. Takviyesiz AA2014 alaşımının farklı sıcaklıklardaki yaşlanma eğrileri [79]



Şekil 2.15. SiC ile takviye edilmiş Al 2014 alaşımının farklı sıcaklıklardaki yaşlanma eğrileri [79]

Görüldüğü gibi, artan yaşlanma zamanı ile pik noktaya kompozit malzemede çok daha hızlı gelinmiştir. 195°C’de, takviye edilen malzemede pik sertliğe yaklaşık 2,5 saatte gelirken, takviyesiz alaşımda bu süre 9,5 saat kadardır. 150°C’de ise her iki malzeme hemen hemen aynı sürede pik sertliğe ulaşmıştır. Bu durum, düşük sıcaklıklarda GP sonlarının oluşumunun oldukça homojen olmasından kaynaklanır. Yüksek sıcaklıklarda ise çökeltiler heterojen bir çekirdeklenme göstererek gelişirler. Çünkü kompozit malzemeler oldukça fazla sayıda heterojen merkezlere sahiptirler.

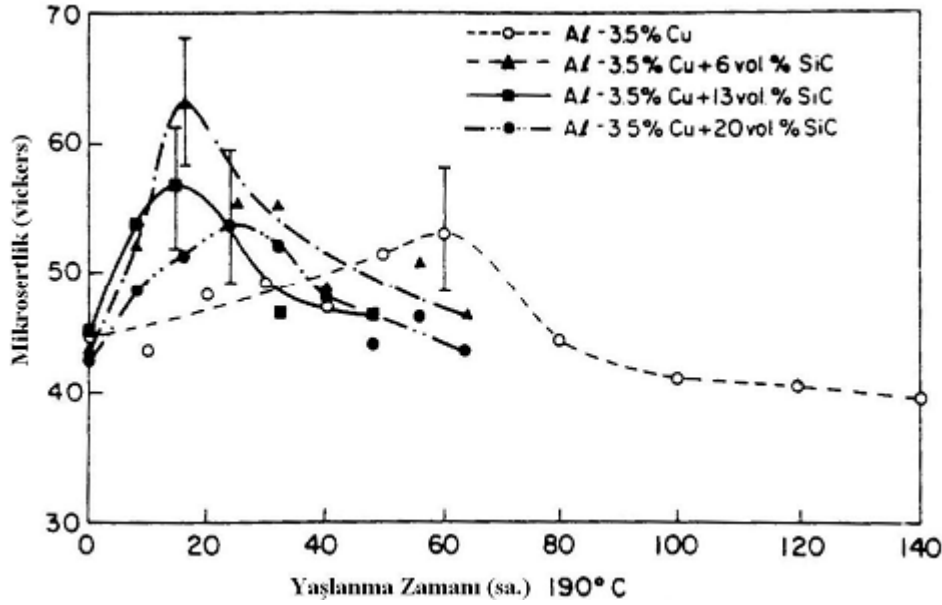
Deneysel çalışmada matris malzemesi olan AA 2014 alaşımı ağırlıkça % 4,03 Cu içerir (Şekil 2.16). 540 °C de ötektik sıcaklığa sahiptir. Bu sebeple çözündürme ısıl işlemi 520- 540 °C sıcaklık aralığında gerçekleştirilecektir.



Şekil 2.16. Al içinde Cu' in maksimum çözünürlüğü.

2.9.1. Yaşlanmaya takviye malzemesinin etkisi

Suresh vd., Al-%3,5Cu döküm alaşımının yapay olarak yaşlandırılması (190°C'de) suretiyle matris mikroyapısına takviye hacim oranının etkisini araştırmışlardır [80]. Matris alaşımına, %6, 13, 20 hacim oranlarında SiC partikül ilavesi ile yaşlanmaya olan etkisi malzemenin mikrosertliği ölçülerek ortaya konmuştur. Kompozitlerin yaşlanma karakteristiği takviye edilmemiş Al-%3,5Cu alaşımı ile karşılaştırılmıştır (Şekil 6.18).



Şekil 2.17. 190°C'de Al-%3,5Cu alaşımı ve değişik miktarlarda SiC ile takviye edilmiş kompozitlere ait yaşlandırma (zaman-mikrosertlik) grafiği [80]

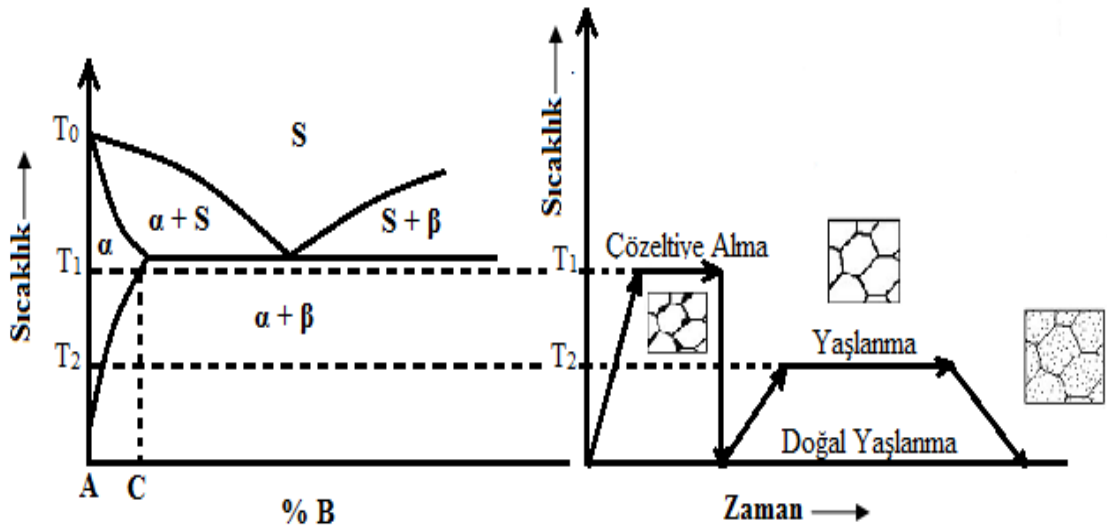
Şekil 2.17'da görüldüğü gibi, Al-Cu alaşımı için pik yaşlanma zamanına yaklaşık 60. saatlerde ulaşılmıştır. Kompozitlerde ise bu süre 16-24 saat aralığındadır. Bu sonuçlar, kritik dislokasyon yoğunluğunun küçük takviye içeriğinde dahi meydana geldiğini ve dolayısıyla güçlendirici çökeltiler için yeterli heterojen çekirdeklenme bölgelerini oluşturduğunu göstermektedir. Bu durum, kompozit malzemelerin yaşlanmasını hızlandırıcı etkiye yol açmaktadır.

2.9.2. Solüsyona alma ısıl işlemi

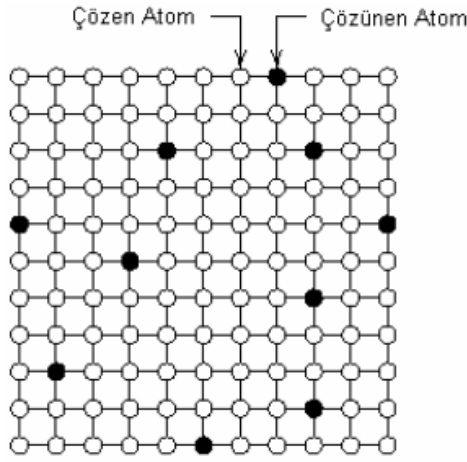
Sıvı durumda her oranda, katı durumda ise kısmen çözünen yapıya sahip bir alaşım, tek fazlı bir yapı (α) elde etmek amacıyla, alaşımın faz diyagramında belirtilen solvüs sıcaklığının üzerinde T1 sıcaklığına kadar ısıtılır (Şekil 2.18). Bu sıcaklıkta alaşımdaki bütün fazların (α ve β) tek faz içinde çözünmesi sağlanıncaya kadar bekletilir. Bekleme süresi, alaşımların yapısına göre değişiklik gösterir. Alaşımlara uygulanan bu işleme çözündürme uygulaması veya solüsyona alma ısıl işlemi denir [74].

2.9.3. Su verme

Su verme işlemi, solüsyona alma ısıl işlemi ile elde edilen tek fazlı (α) katı çözeltilisini, çökeltilerin oluşmasına izin vermeyecek şekilde, T_1 sıcaklığından süratle soğutmaktan ibarettir (Sekil 2.17). T_1 sıcaklığındaki malzemenin, ani olarak uygun bir sıvı içerisinde soğutulması nedeni ile aşırı doymuş (supersaturated) bir yapı elde edilir. Aşırı doymuş yapı, malzeme içinde bulunan çözenin (Sekil 2.18) (örneğin alüminyum alaşımlarında alüminyum, magnezyum alaşımlarında magnezyum), denge koşullarında, alaşım elementinin çözebileceği miktardan daha fazla madde çözmesi anlamına gelir ve kararsız bir durumdur. Kararlı bir yapının oluşması, orta dereceli dayanıma ve önemli oranda sünekliğe sahip bu yapının yaşlandırılması ile mümkündür. Su verme işleminden sonra ısıtılarak gerçekleştirilen yaşlandırmaya yapay yaşlandırma, oda sıcaklığında kendiliğinden olan yaşlandırmaya ise doğal yaşlandırma adı verilir [74].



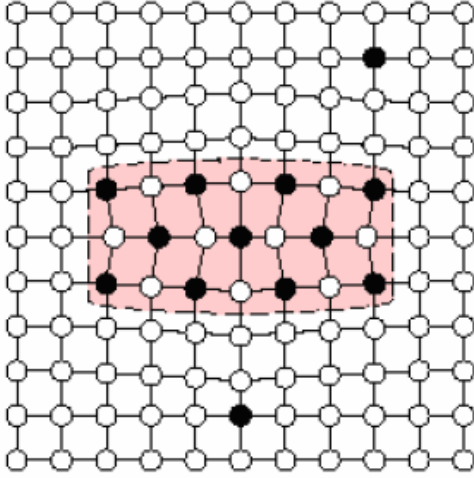
Şekil 2.18. Çözündürme ve yaşlandırma aşamalarını içeren çökelme sertleşmesini gösteren şekil.



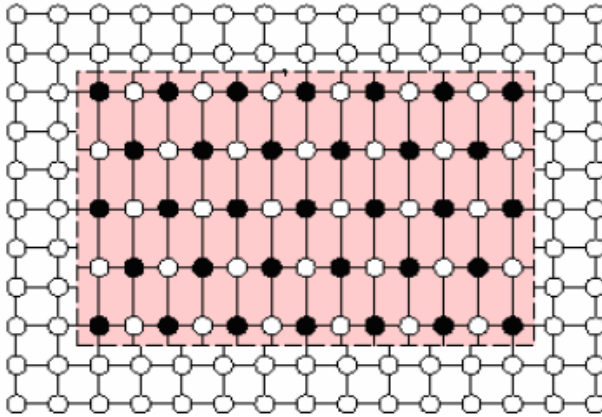
Şekil 2.19. Çözen atom içerisinde dağılan çözünen atom

2.9.4. Çökeltme sertleşmesi (yaşlandırma)

Solüsyona alma ısıl işleminde elde edilen, orta dereceli dayanıma ve önemli oranda süneklığe sahip aşırı doymuş yapının mukavemet değerleri, çökeltme sertleşmesi ile daha da arttırılabilir. Yaslandırmanın ilk aşamasında, aşırı doymuş yapı içerisindeki fazlalık atomları kümeleşir ve ilerleyen aşamalarda, çekirdekleşme mekanizmasının etkin hale gelmesiyle, β fazının (çökelti) çekirdeklerini oluşturur (Şekil 2.18) [74]. Çökeltme sertleşmesinin oluşumu, matris içinde, çözünen atomların meydana getirdiği uyumlu çökelti oluşmasına bağlıdır (Şekil 2.20). Uyumlu bir çökelti oluştuğunda, çökelti kafesinin atom düzlemleri ile matris kafesinin düzlemleri arasında süreklilik oluşur. Süreklilik oluşumu, çökelti etrafında geniş bir gerilme alanı oluşturur ve bu alan içerisinde geçen dislokasyonların hareketleri zorlaşır [73]. Alaşımın matris yapısı ile uyumlu çökelti, dislokasyon hareketlerine engel olarak, alaşımın sertliğini ve mukavemetini önemli ölçüde arttırırlar. Ancak, aşırı yaşlandırma durumunda, çökelti daha da büyüyerek, matristen bağımsız olarak kendi kristal yapılarını oluşturur ve kendisini çevreleyen matris ile uyumsuz bir yapı meydana getirirler (Şekil 2.21). Bu durumda malzemenin mukavemet değerlerinde düşüş görülür.

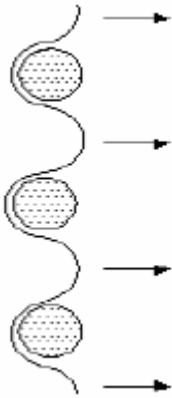


Şekil 2.20. Kendisini çevreleyen matris ile uyumlu çökelti (ideal çökelti).

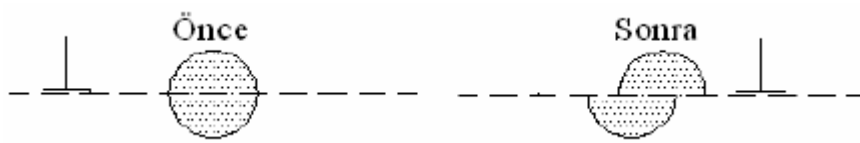


Şekil 2.21. Kendisini çevreleyen matris ile uyumsuz çökelti (aşırı yaşlanmış çökelti).

Buna ilave olarak, çökeltme sertleşmesinde, alaşımın sertliğini ve dayanımı arttıran bir diğer etken ise, çökelti boyutlarıdır. Yaşlandırma zamanı arttırıldığında, çökelti boyutları büyüyerek aralarındaki mesafe azalır ve bu ise dislokasyon hareketlerini engelleyerek sertlikte artışa neden olurlar (Şekil 2.21). Çökelti boyutları aşırı derecede artar ise, dislokasyonlar çökeltiyi kesebilir (Şekil 2.22) ve bu durum sertlikte düşüşe neden olur.



Şekil 2.22. Çökeltiiler arasında oluşun yarım halka şeklindeki dislokasyonlar [75].



Şekil 2.23. Aşırı büyük çökeltiilerin dislokasyonlar tarafından kesilmesi [75].

3.DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Giriş

Yapılan tez çalışmasında AA 2014 alaşımına sırasıyla ağırlıkça % 0,5 , % 1 ,% 2 ve % 4 oranlarında Al_4C_3 takviye edilerek karıştırmalı döküm yöntemi ve infiltrasyon yöntemiyle kompozit malzeme üretilmeye çalışılmıştır. Kullanılan her iki yöntemde de oluşturulan kompozit malzemede farklı oranlarda ilave edilen Al_4C_3 takviyesinin mekanik dayanımı artırılması amaçlanmaktadır. Yapılan deneysel çalışmaların her iki yönteminde mikroyapı, yaşlandırma ısıl işlemi sonrası sertlik değerleri karşılaştırılmış, döküm numunelerin çekme test sonuçları incelenmiştir. Yapılan tüm döküm çalışmaları ve metalografik işlemler G.Ü.T.E.F. Döküm A.B.D. laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

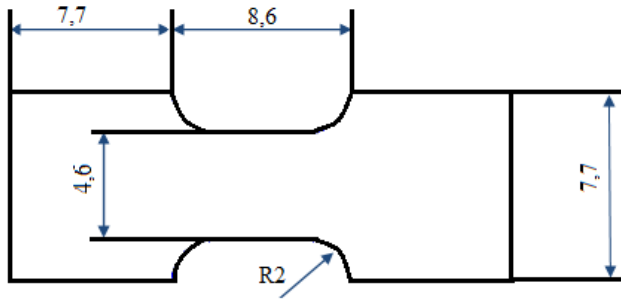
3.2. Karıştırmalı Döküm Yöntemi İle Üretim

Karıştırmalı döküm yöntemi için elektrikli ocak kullanılmıştır. Silindirik hadde halinde bulunan AA 2014 alaşımı büyük bir potada ergitilerek küçük külçeler halinde hazırlanmıştır. Küçük külçeler halinde hazırlanan AA 2014 alaşımı hassas terazide tartılarak kütleleri belirlenmiş, dökümde kullanılacak külçelerin ağırlıklarına göre potaya eklenecek takviye edilecek Al_4C_3 miktarları hesaplanmıştır. Al_4C_3 katı partiküllerinin tartımı için Precisa XB200h marka 1/10000 hassasiyetteki elektronik hassas terazi kullanılmıştır.

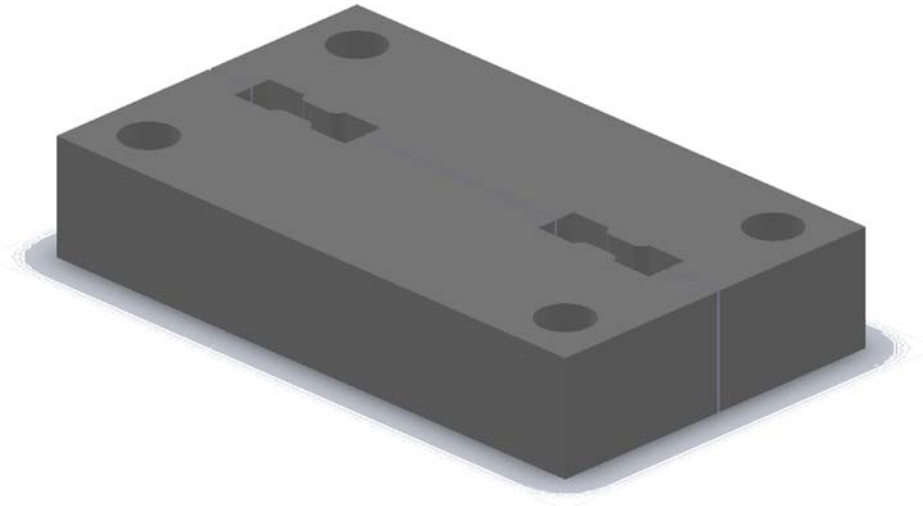
Elektrikli ocak içerisine yerleştirilen grafit potaya AA 2014 alaşım külçeleri yerleştirilmiştir. Pota içerisinde bulunan sıvı AA 2014 alaşımının 750 °C sıcaklığa çıkması beklenerek sıvı metal sıcaklığı ± 5 °C'da sabit tutulmuştur. Sıvı alaşım 750 °C sıcaklıkta iken grafit pota içerisine sırası ile % 0,5 , % 1 ,% 2 ve % 4 oranlarında Al_4C_3 ilave edilmiştir. Takviye malzemenin matris içerisinde homojen dağılımını sağlayabilmek için matkaba karıştırıcı bakır uç takılarak pota içerisinde ortalama 2 dk karıştırma işlemi yapılmıştır. Karıştırma işlemi sonrasında Al_4C_3 ün sıvı metal

üzerinde topaklanarak yüzdüğü gözlemlenmiştir. Bu sebeple karıştırma işleminin hemen ardından bir çelik kepçe yardımı ile döküm işlemi gerçekleştirilmiştir.

Karıştırmalı döküm yöntemi için G.Ü.T.E.F. Talaşlı imalat bölümünde bulunan tel erozyon cihazı kullanılarak metal döküm kalıbı hazırlanmıştır. Döküm için hazırlanan metal kalıp mikro çekme numunesi geometrisinde oluşturulmuştur. Numune ölçüleri Şekil 3.1’de verilmiştir. Kalıp tasarımı Resim 3.1’de gösterildiği gibi hazırlanmıştır.



Şekil 3.1. Mikro çekme test numunesinin boyutları



Resim 3.1. Mikro çekme numunelerinin üretiminde kullanılan döküm kalıbı

Hazırlanan kalıp Resim 3.2’de verildiği gibi yanlardan mengene ile sıkıştırılmıştır. Kalıp altına bir plaka yerleştirilmiş ve bu plaka küçük ebatlardaki işkence ile sıkıştırılarak üniteye yerleştirilmiştir. Kalıp yerleştirildikten sonra döküm işlemi başlamadan hemen önce maden rahat ilerlesin diye kalıp alevle ısıtılarak 250- 300 °C sıcaklığa çıkarılmıştır.



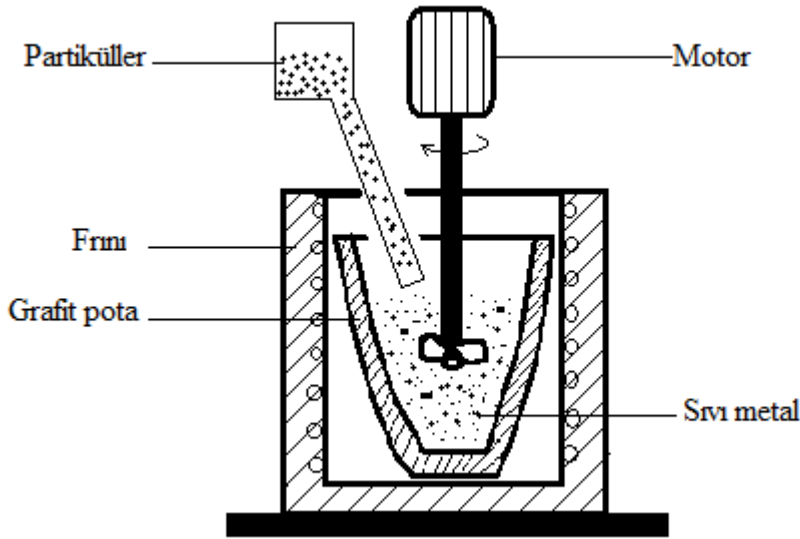
Resim 3.2. Metal Kalıbın Üniteye Bağlanması

Döküm işlemi sırasında sıvı metalin kalıp içerisinde yürümesini sağlamak amacıyla shell maçadan hazırlanmış havşa kullanılmıştır. Havşaların metal kalıp üzerinde yerleşimi Resim 3.3 de gösterildiği gibidir.



Resim 3.3. Sıvı metal akışını sağlayan yolluk sistemi.

Pota içerisinde bulunan sıvı metal sıcaklığı 750 °C' de iken içerisine hiçbir takviye kullanılmadan bir döküm işlemi gerçekleştirilmiştir. İlk döküm işlemleri takviye malzemesi kullanılmadan yapılmıştır. Daha sonraki işlemlerde her takviye oranı için matris malzemesi olan AA 2014 alaşımı 750 °C sıcaklıkta ergitilerek sırası ile ağırlıkça % 0,5 , % 1 ,% 2 ve % 4 oranlarında Al_4C_3 katı partikülü ilave edilmiştir. Takviye işlemi yapılırken 2 dk süre ile karıştırma işlemi uygulanarak (Şekil 3.2) önceden ısıtılmış metal kalıba döküm işlemleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.2. Karıştırma döküm sistemi

3.3. İnfiltrasyon Yöntemi

Vakum infiltrasyon işlemi Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi (K.Ü.M.F.) makine mühendisliği bölümünde bulunan malzeme laboratuvarında bulunan vakum infiltrasyon ünitesinde yapılmıştır. Vakum infiltrasyon işlemi için sıvı metal sıcaklığı 750 °C olarak ayarlanmıştır. Vakum infiltrasyon işlemi 3 dk sürede gerçekleştirilmiştir.

Vakum infiltrasyon yöntemi ile üretim için kullanılan AA 2014 alaşım tozları gaz atomizasyon ünitesinde üretilmiştir (Resim 3.4). Üretilen tozların kimyasal bileşim analizleri SEM ve EDS cihazları kullanılarak kontrol edilmiştir.



Resim 3.4. Düşey gaz atomizasyon ünitesi

- 1.Ergitme ünitesi 2.Atomizasyon kulesi 3.Toz toplama ünitesi 4.Siklon
5.Fan 6.Basınçlı gaz ünitesi 7.Sıcaklık kontrol ünitesi

Gaz atomizasyon ünitesinde üretilen AA 2014 alaşım tozlarında elek analizi ile boyutlandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. (Resim 3.5). Vakum infiltrasyon işlemi için toz boyutu olarak 100- 140 mikron aralığındaki alaşım tozları kullanılmıştır.



Resim 3.5. Elek analizi için kullanılan cihaz

Vakum infiltrasyon işleminde kullanılan gaz atomizasyon yöntemi ile üretilen tozların kimyasal bileşimi Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. AA 2014 alaşım tozunun kimyasal bileşimi

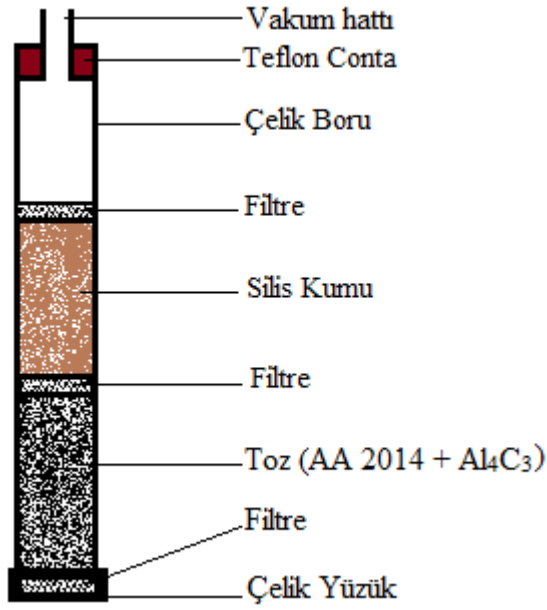
İçerik	Al	Cu	Si	Mn	Mg	Fe	Zn	Cr	Ti
% Oran	93,5	4,06	0,6	0,57	0,56	0,47	0,106	0,03	0,01

Vakum infiltrasyon işleminde kullanılacak olan AA 2014 alaşım tozu- Al_4C_3 toz karışımı Precisa XB200h marka 1/10000 hassasiyetteki elektronik terazi kullanılarak hazırlanmıştır. İnfiltrasyon borusu, infiltrasyon işleminden hemen önce hazırlanmıştır. Çizelge 3.2’de İnfiltrasyon boruları içerisine konulan toz karışımının miktarları verilmiştir.

Çizelge 3.2. AA 2014 alaşım tozu - Al_4C_3 toz karışım oranları (gram)

Oranları	AA 2014	%0.5 Al_4C_3	%1 Al_4C_3	%2 Al_4C_3	%4 Al_4C_3
AA 2014 (toz alaşım)	6 gr	5,83	5,66	5,32	4,64
Al_4C_3	0	0,17	0,34	0,68	1,36

Vakumlu infiltrasyon deneyinde, 10 mm çapında, AISI 304 kalitesinde paslanmaz çelik boru kullanılmıştır. Bu boruların kullanılması yapılan infiltrasyon işlemi esnasında oluşabilecek reaksiyonları engellemek ve böylece çok yüksek kalitede parça elde edebilmektir. AA 2014 Alüminyum alaşım tozu ve %0, 0,5, 1, 2 ve 4 takviye hacim oranlarında Al_4C_3 toz karışımları hazırlanmış, 50 mm yükseklik oluşturacak şekilde boru içerisine serbest halde doldurulmuş, deney borusunun alttan ve üstten sızdırmazlığı sağlanmıştır (Şekil 3.3). Deney borularının vakum ünitesi ile irtibatı bakır boruyla sağlanarak, vakumlu infiltrasyon deneylerine geçilmiştir.



Şekil 3.3. İnfiltasyon İşleminde Kullanılan Boru Kesiti

Pota içerisindeki sıvı AA 2014 alaşım sıcaklığının $750\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'a çıkması beklenerek sıvı metal sıcaklığı $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'da sabit tutulmuştur. Deneylerde gerekli olan vakum elde edilerek, $550\text{ mmHg} \pm 10\text{ mmHg}$ vakum değeri aralığında sabit tutulmuştur. İnfiltasyon için hazırlanan ve içerisi doldurulmuş deney boruları, pota içerisindeki sıvı metale daldırılarak 3 dakika süreyle vakumlu infiltasyon işlemi uygulanmıştır (Resim 3.6).



Resim 3.6. Vakum infiltasyon işleminin yapılışı.

Soğuduktan sonra açılan deney boruları içerisinde malzeme çıkarılmıştır. Çıkarılan malzeme hassas kesme cihazından numuneler 10 mm yüksekliğinde olacak şekilde kesilmiştir (Resim 3.7).



Resim 3.7. İnfiltasyon borularından çıkarılmış ve kesilmiş numuneler.

İnfiltasyon işlemi sonrasında elde edilen numuneler makro incelendiğinde gözenekliliğin az olması ve takviyenin yapı içerisinde homojen dağıldığı gözlemlenmiştir.

3.3.1 Sinterleme işlemleri

Vakum İnfiltasyon işlemi ile elde edilen numunelerin sinterleme ısıl işlemi G.Ü.T.E.F. Malzeme Laboratuvarında bulunan Protherm marka ısıl işlem fırınında yapılmıştır (Resim 3.8).

Sinterleme işlemi 560°C sıcaklıkta 1 saat süre ile yapılmıştır. Kapalı fırın ortamında oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra numuneler ısıl işlem fırınından alınmıştır.



Resim 3.8. Protherm marka ısıtım fırını.

3.3.2. Yoğunluk hesapları

Sinterleme öncesi ve sinterleme sonrası numunelerin yoğunluk hesapları arşimet prensibi ile ölçülmüştür. Numunelerin yoğunluk ölçümleri G.Ü.T.E.F. Malzeme Laboratuvarında bulunan Sartorius marka hassa terazi cihazı içerisinde arşimet prensibiyle oluşturulmuş sistemde yoğunluk ölçümü gerçekleştirilmiştir (Resim 3.9). Her orandan numunelerin yoğunlukları hesaplanarak ortalama yoğunluk değerleri esas alınmıştır.



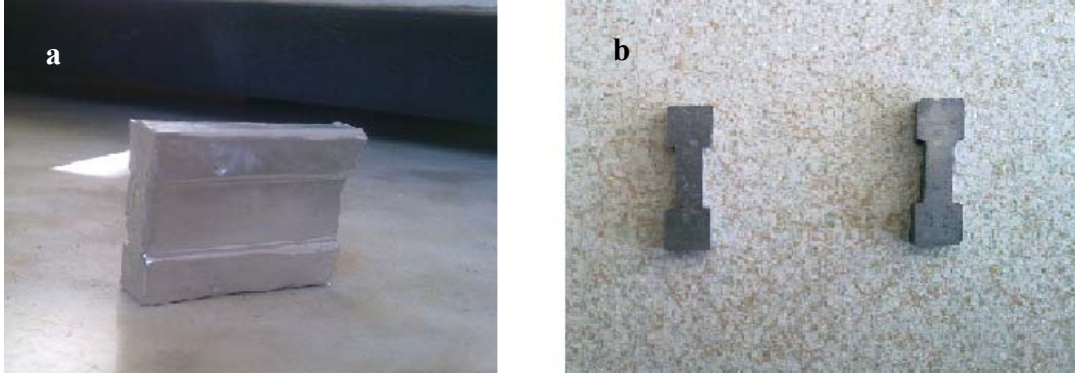
Resim 3.9. Arşimet yoğunluk ölçüm sistemi

3.4. Numunelerin Hazırlanma İşlemi

Kalıptan çıkarılan döküm malzemeler öncelikle yollukları kesilerek kesme işlemi için hazır hale getirilmiştir. Karıştırma Döküm yöntemi ile hazırlanmış numuneler, standartları önceden belirlenmiş mikro çekme numunesi boyutlarına getirmek için bulunan Struers Accutom-5 marka hassas kesme cihazında (Resim 3.10) her bir numune 3 mm kalınlığında olacak şekilde kesilmiştir (Resim 3.11).



Resim 3.10. Struers Accutom-5 marka hassas kesme cihazı



Resim 3.11. (a) Döküm sonrası elde edilen numune
(b) Hassas kesme sonrası mikro çekme numunesi

3.5. Isıl İşlem

Isıl işlem için Protherm marka ısıl işlem fırını kullanılmıştır (Resim 3.12). Yaşlandırma ısıl işlemi Karıştırma Döküm yöntemi ile üretilen numunelere uygulanmıştır. Karıştırma Döküm yöntemi ile üretilen numunelere 2, 7 ve 10 saat süreler ile 520°C sıcaklıkta çözündürme işlemi yapılmıştır. Çözündürme süresi sonunda fırından alınan numuneler hemen suya daldırılmış ve 5- 7 sn suda bekletilmiştir. Sudan çıkarılan numuneler alkol ile temizlenerek kurutulmuştur. Çözündürme işlemi sonrasında numunelere 1, 2, 4, 6, 8, 10 saat süreler ile 200°C sıcaklıkta yapay yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmıştır. Yaşlandırma süreleri sonrasında fırından çıkarılan numuneler hemen suya daldırılarak hızla soğutulmuş, böylece yaşlanma işleminin devam etmesi engellenmeye çalışılmıştır.



Resim 3.12. Protherm marka ısıtım fırını

Her yaşlandırma işlemi sonrasında numunelerin mikro ve makro sertlik değerleri SHIMADZU marka mikro sertlik cihazında ölçülmüştür. Sertlik ölçümleri sonrası numuneler soğutucuya yerleştirilerek doğal yaşlanma sürecine girmesi engellenmeye çalışılmıştır.

3.6.Metalografik İşlemler

Mikroyapı incelemeleri için numuneler öncelikle metalografik işlemlerden geçirilmiştir. Zımparalama işleminde Struers Dap-7 marka zımparalama cihazında (Resim 3.13) 800 ve 1200 mesh lik zımparalar kullanılmıştır.



Resim 3.13. Dap-7 marka zımparalama cihazı.

Zımpara sonrası parlatma işlemi için yine aynı bölümde bulunan Presi marka parlatma cihazı kullanılmıştır (Resim 3.14). Parlatma işleminde 3 mikronluk keçe ve yağlayıcı kullanılmıştır. Parlatma işleminin devamında numuneler Kellers dağılayıcı kullanılarak dağılanmışlardır. Çizelge 3.3' de kellers dağılayıcı bileşimi verilmiştir.



Resim 3.14. Presi marka parlatma cihazı

Çizelge 3.3. Keller dağılayıcı bileşimi.(%)

Bileşim Malzemesi	Oran (%)
HF	1
HCl	1,5
HNO ₃	2,5
H ₂ O	95

3.7.Sertlik Ölçümleri

Sertlik ölçümleri SHIMADZU marka mikro sertlik (vickers) cihazında yapılmıştır (Resim 3.15). Mikro sertlik değerleri 10 g (HV 0,1) olarak ve makro sertlik değerleri 2 kg (HV 2) olarak iki farklı yükte uygulanmıştır. Mikro sertlik için 10 farklı noktadan, makro sertlik içinse 5 farklı noktadan sertlik alınmıştır ve bunların ortalamaları sertlik değeri olarak belirlenmiştir. Karıştırmalı döküm numuneleri için her aşamada sertlik değerleri alınırken Vakum İnfiltasyon numuneleri için infiltasyon sonrası ve sinterleme sonrası sertlik değerleri alınmıştır.



Resim 3.15. SHIMADZU marka mikro sertlik cihazı

3.8. Çekme Testi

Standartlarına göre hazırlanmış çekme deney numuneleri SHIMADZU 50 kN kapasiteli çekme test cihazında, 2mm /dk çekme hızında oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. (Resim 3.16) Çekme deneyi verileri gerçek gerilme (MPa)- Gerçek uzama (%) oranı olarak belirlenmiştir.



Resim 3.16. Çekme test cihazı

3.9. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Elektron Dağılım Spektrometrisi (EDS) İncelemeleri

Mikroyapı incelemeleri G.Ü. T.E.F. Metal Eğitimi Bölümü Malzeme Anabilim Dalı laboratuvarında bulunan JOEL JSM-6060LV marka Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. (Resim 3.17) Numunelerin her aşama mikroyapı görüntüleri alınmıştır. Mikroyapı içerisinde takviye malzemesi Al_4C_3 ' ün dağılımı incelenerek EDS ile elementel dağılım analiz edilmiştir.



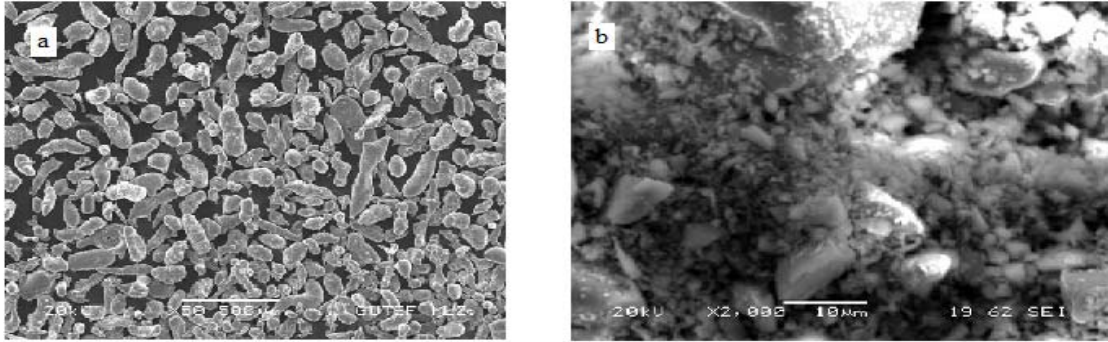
Resim 3.17. JOEL JSM-6060LV Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

4. DENEYSEL BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

4.1. Toz Karakterizasyonu

Çalışmaların yürütülmesi sırasında matris malzemesi olarak kullanılan AA 2014 alaşım tozu ve takviye malzemesi olarak kullanılan Al_4C_3 tozlarının mikroyapı görüntüleri Resim 4.1' de verilmiştir. Resim 4.1 a' da 140 μm ortalama toz boyutuna sahip AA 2014 matris malzemesi ve Resim 4.1 b' de ise $<10\mu m$ ortalama toz boyutuna sahip Al_4C_3 takviye malzemesi kompozit malzeme üretimlerine yönelik olarak mikroyapıları gösterilmiştir ve deneysel çalışmalarda başlangıç malzemesi olarak kullanılmıştır. Gaz atomizasyon yöntemi ile üretilen AA 2014 matris malzemesinin mikroyapısı incelendiğinde genellikle gözyaşı damlası ve küresel şekle sahip olduğu görülmektedir. Burada kullanılan tozların karmaşık şekil ve boyuta sahip olması infiltrasyon işleminin daha homojen olmasını sağlamaktadır. Ayrıca çalışmalar sırasında infiltrasyon yöntemi ile kompozit malzeme üretiminde daha iri taneli tozların kullanımı öncelikle tercih sebebi olmaktadır. Çalın R., takviye malzemenin tane boyutundaki artışın infiltrasyon mesafesini artırdığını tespit etmiştir [7]. Büyük tane boyutuna sahip numunelerde taneler arasında kalan infiltrasyon öncesi boşlukların daha büyük olmasından dolayı bu numunelerde infiltre olan matris boşlukları daha iyi doldurmuş ve daha fazla infiltrasyon mesafeleri elde etmiş ve bu büyük taneler kılcal basıncı azaltarak sıvı Al'un ilerlemesini kolaylaştırarak infiltrasyona yardımcı etkide bulunduğunu söylemektedir.

Çalışmaların başlangıcında kullanılacak olan matris malzemesinin yapılan EDS analizi ile birlikte oluşması muhtemel elementlerin yüzde değerlerinin olması gereken aralıklarda olup olmadığının mukayesesi yapılmıştır. Gaz atomizasyonu ile üretilen AA 2014 matris malzemesinin analiz sonuçları incelendiğinde ise elde edilen değerler açısından tozların yüksek saflıkta olduğunu göstermektedir.



Resim 4.1. Toz numunelerin SEM görüntüleri

- a) İnfiltasyon işleminde kullanılan AA 2014 alaşım tozu
b) Takviye malzemesi Al_4C_3 tozu

4.2. Mikroyapı Karakterizasyonu

Metal matrisli kompozit malzemelerinin üretilmesi için iki farklı yöntem tercih edilmiştir. Bu işlem için, döküm yöntemi ve infiltasyon yöntemi kullanılmıştır. Her iki yöntem ile birlikte metal matrisli kompozit malzemelerinin üretilmesi ve devamında SEM ve EDS incelemeleri ile mikro yapısal karakterizasyonu yerine getirilerek, mekanik özelliklerin tespiti açısından sertlik değerlerinin ölçümü yapılarak çalışmalar tamamlanmıştır.

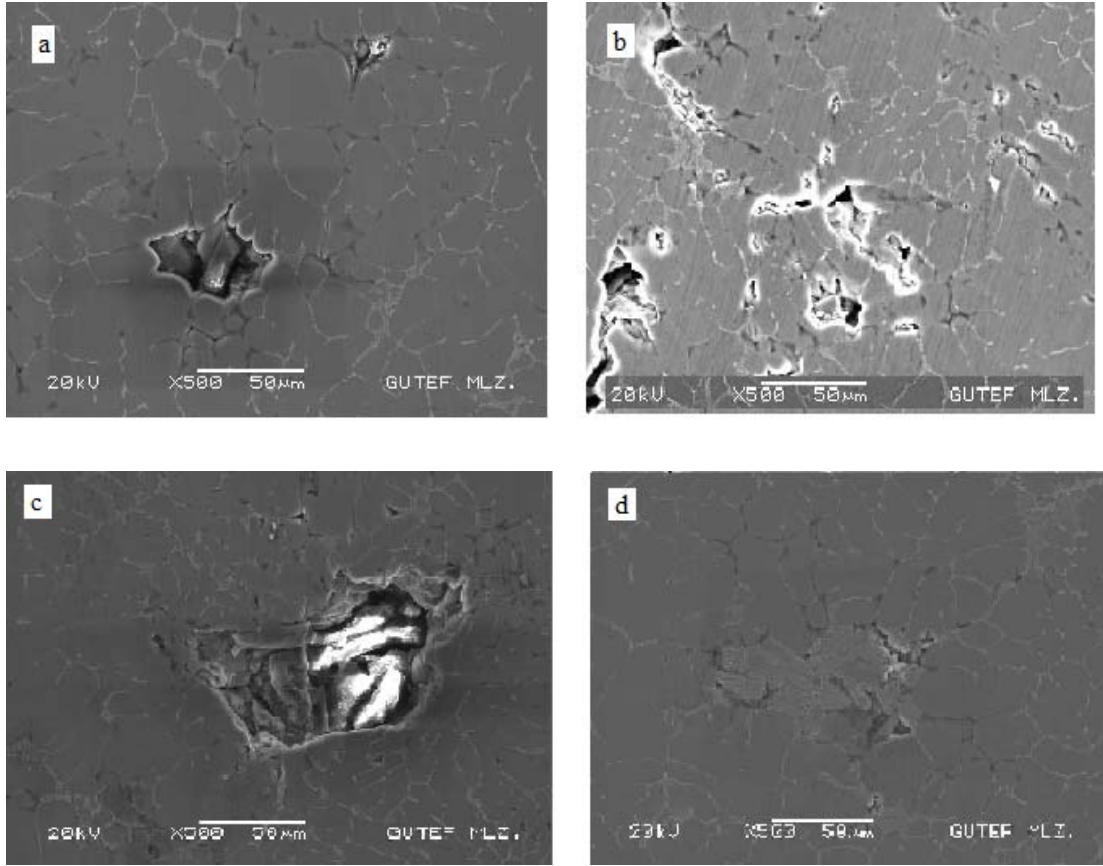
4.2.1. Döküm yöntemi

Resim 4.2 de döküm yöntemi ile üretimi gerçekleştirilen AA 2014 matrisli Al_4C_3 takviyeli kompozit malzemelerinin mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Resim 4.2 mikro yapıları incelendiğinde özellikle artan takviye malzemesi artışına bağlı olarak takviye malzemesinin yapı içerisinde homojen bir dağılım sergilemediği tespit edilmiştir. Mikroyapı incelemelerinde takviye malzemesinin genellikle tane sınırlarında bulunduğu ve az miktarda da olsa tanecik topaklanmasının meydana geldiği görülmüştür. Bu durum ayrıca takviye-matris ara yüzey etkileşimi açısından istenmeyen bir davranış sergilediği şeklinde tespit edilmiştir. Bu durumun oluşmasının muhtemel sebeplerinden bir tanesi takviye olarak kullanılan Al_4C_3 yapısının topaklanmaya olan eğilimi ve yeterli miktarda yapılmayan karıştırma işleminden kaynaklandığı düşünülmektedir. Yapılan diğer çalışmalarda Al_4C_3

yapısının oksitlenme ve topaklanma eğilimi gösterdiği, ıslatabilirliği olumsuz olarak etkilediği sonucunu desteklemektedir. Dolayısıyla uygun karıştırma ekipmanı ve karıştırma hızlarından yararlanılarak, takviye-matris ara yüzey ıslatılabilirliği ve kompozit malzeme üretilebilirliği geliştirilebilir.

Diğer bir durum ise özellikle döküm yöntemi kullanılarak kompozit malzeme üretilmesinde takviye malzemesinin partikül şeklinde olduğu durumlarda porozite sorunu etkili bir şekilde gözlemlenmiştir. Özellikle tane sınırlarında takviye malzemesinin topaklanma eğiliminde olduğu tespit edilmiştir.

SEM ile elde edilen görüntülerde açık renkli kısımların bakırca (Cu) yoğun bölgeler olduğu ve koyu bölgelerde de diğer alaşım elementlerinin bulunduğu EDS analizleri ile tespit edilmiştir. SEM görüntüleri incelendiğinde mikroyapı içerisindeki elementel dağılımın alışılmış alaşım görüntüsü sergilediği gözlemlenmiştir. Resimlerde görüldüğü gibi döküm sırasında topaklanmanın homojen bir dağılım elde etmede en etkin parametre olduğu açıktır. İlave edilen Al_4C_3 miktarı arttıkça topaklanma artıyor ve dağılım heterojen bir hal alıyor. Bu topaklanmanın oluşmadığı Resim 4.2 b de olduğu gibi daha homojen dağılımların olduğu bölgelere de rastlanmaktadır.



Resim 4.2. Döküm sonrası SEM görüntüleri

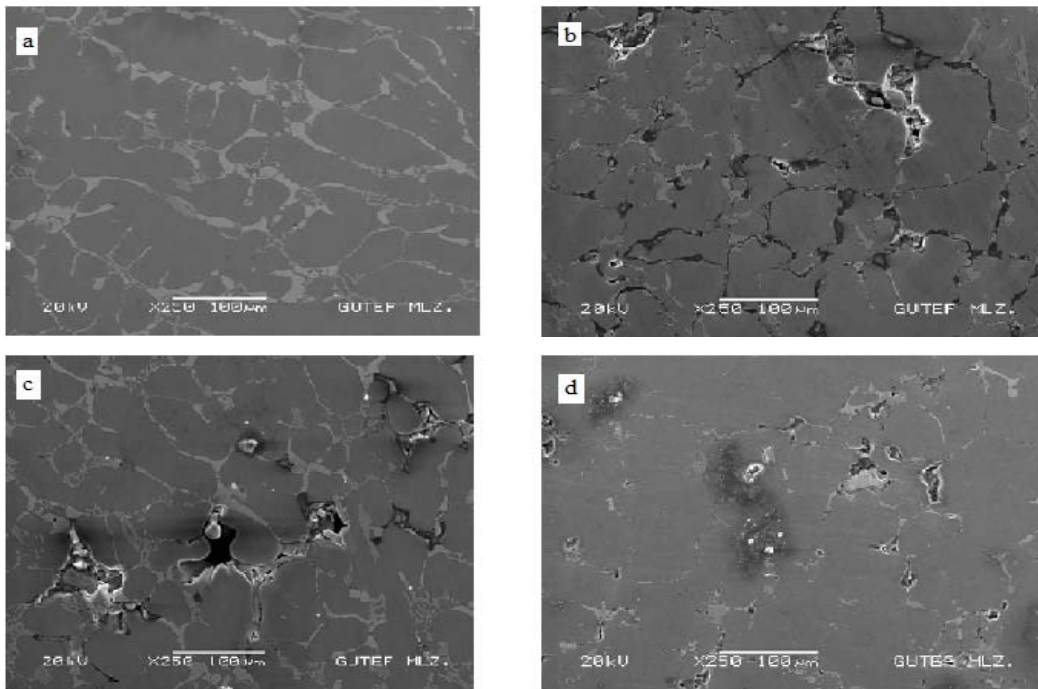
- a) %0.5 Al₄C₃ takviyeli, b) % 1 Al₄C₃ takviyeli ,
c) % 2 Al₄C₃ takviyeli, d) % 4 Al₄C₃ takviyeli numune

4.2.2. İnfiltrasyon yöntemi

Resim 4.3' de infiltrasyon yöntemi kullanılarak, AA 2014 matris malzemesine %0,5, 1 ve 2 Al₄C₃ takviye hacim oranı ile üretimi gerçekleştirilen metal matrisli kompozit malzemelerinin mikroyapı görüntüleri verilmiştir.

Resim 4.3 mikroyapıları incelendiğinde artan takviye-hacim oranına bağlı olarak Al₄C₃' ün yapı içerisinde homojen bir dağılım sergilemediği görülmektedir. Takviye malzemesinin özellikle tane sınırlarında topaklanma eğilimi gösterdiği ve yapının bütününde uygun bir dağılım göstermediği gözlenmiştir. Bu durumun ortaya çıkmasında takviye-matris toz boyutlarının birbirinden çok farklı olması ve ara yüzey etkileşimi açısından olumsuz bir davranış sergilediği şeklinde düşünülmüştür. Ayrıca

infiltrasyon çalışmalarında kullanılan matris malzemesinin küresel ve küresele yakın toz şekline sahip olması ve takviye malzemesinin de köşeli/açısal bir yapıda bulunması sebebiyle ara yüzey etkileşimi açısından pek fazla uyumlu olmamıştır. AA 2014 matris malzemesinin etrafında oksit oluşumu ve dolayısıyla bu bölgelerde infiltrasyonun yetersiz olabildiği ve gözenekli bir yapı oluşumunun sergilendiği takviye-ara yüzey etkileşimi açısından gözlemlenmiştir. Ancak döküm numunelerde takviye dağılımı topaklanma sebebiyle heterojen iken infiltrasyon numunelerinde homojen dağılım olduğu gözlemlenmiştir. İnfiltrasyon sonrası elde edilen numunelerde takviye malzemesinde oksitlenme gözlemlenirken döküm numunelerinde bu duruma rastlanmaktadır.

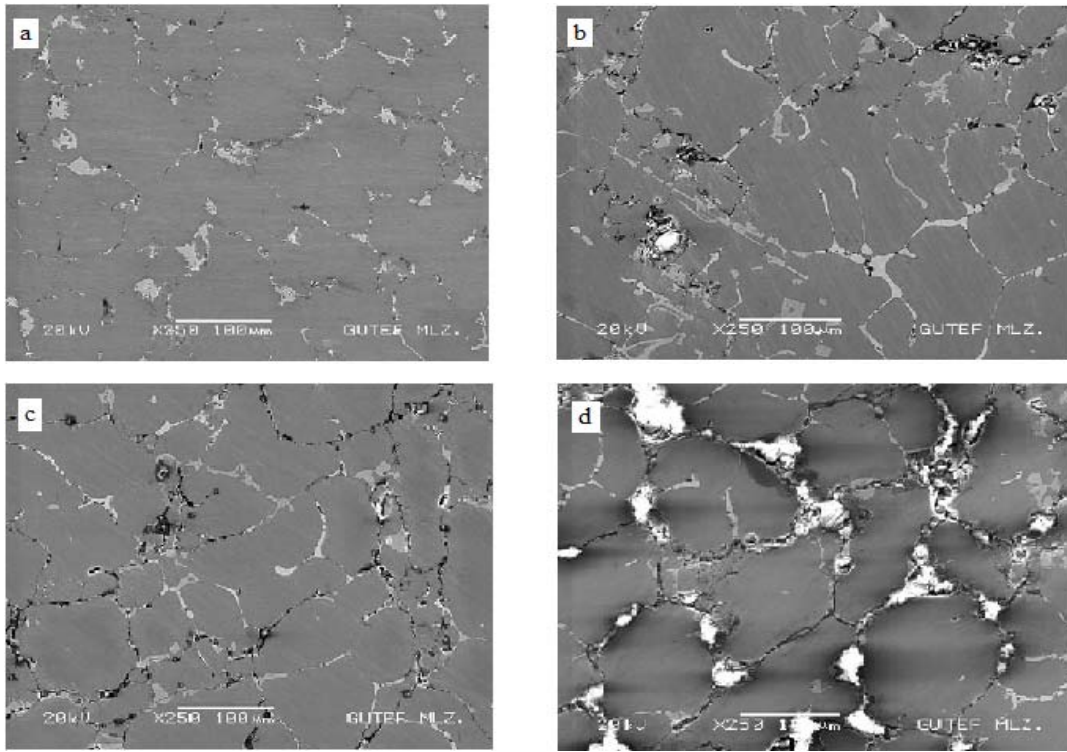


Resim 4.3. Vakum İnfiltrasyon sonrası SEM görüntüleri

- a) Takviyesiz numune b) Ağırılıkça %0.5 Al_4C_3 takviyeli,
c) Ağırılıkça %1 Al_4C_3 takviyeli, d) Ağırılıkça %2 Al_4C_3 takviyeli

İnfiltrasyon sonrası $560^\circ C$ sıcaklıkta sinterleme ısıl işlemi uygulanan numunelerin taramalı elektron mikroskobunda alınan görüntüleri Resim 4.4'de verilmiştir. Sinterleme işlemi sonrasında numunelerde takviye oranının artışına bağlı olarak gözenek miktarında artış meydana geldiği gözlemlenmiştir. Gözenekliliğin olduğu

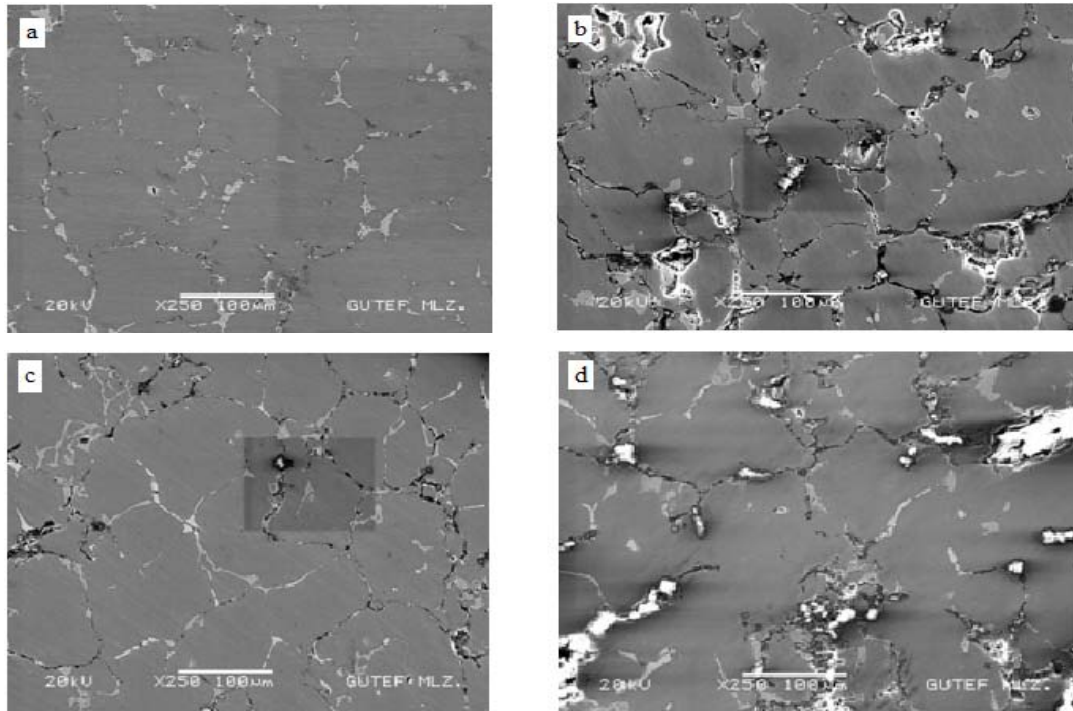
bölgelerde takviye malzemesinin topaklanma eğiliminin devam ettiği tespit edilmiş ve takviye malzeme üzerinde oksitlenme miktarında bir artış meydana geldiği gözlemlenmiştir. Bu durumun takviye malzemesi olarak kullanılan Al_4C_3 'ün bulunduğu bölgelerde izole atmosferde oksitlenme eğiliminin yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Resim 4.4.a'da takviyesiz olarak üretilmiş malzemeye ait SEM görüntüsü çekilmiştir. Takviye malzemesi bulunmadığı halde elde edilen infiltrasyon ürününün sinterlemesi sonrası gözeneklilik miktarında az miktarda değişim meydana geldiği gözlemlenmiştir. Meydana gelen bu değişimin fırın ortamında matris tozları üzerinde oluşmuş olan oksit tabakanın sebep olduğu düşünülmektedir



Resim 4.4. Sinterleme ($560^{\circ}C$) ısı işlemi uygulanmış vakum İnfiltrasyon numunelerin SEM görüntüleri

- a) Takviyesiz numune b) Ağırlıkça %0.5 Al_4C_3 takviyeli,
c) Ağırlıkça %1 Al_4C_3 takviyeli, d) Ağırlıkça %2 Al_4C_3 takviyeli

Resim 4.5'de 520°C de 7 saat çözündürme işlemi sonrasında 220°C'de 8 saat yaşlanma ısıl işlemi uygulanmış numunelerin sem görüntüleri verilmiştir. Yaşlanma ısıl işlemi sonrasında takviye malzemesi bulunmayan numunenin (Resim 4.5 a) gözenekliliğinin daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bunun sebebinin uzun süreli uygulana yüksek sıcaklığın matris tozu üzerinde oluşmuş olan oksit tabakayı kırarak gözeneksiz bir yapı oluşturduğu söylenebilir. Resim 4.5 b'de % 0,5 Al₄C₃ takviyeli numunede gözeneklilik miktarının ve takviye üzerinde oksit miktarının artmış olduğu gözlemlenmektedir. Resim 4.5'c de % 1 Al₄C₃ takviyeli numunede gözenek miktarında azalma olduğu ve oksitlenmede pek fazla bir değişimin olmadığı söylenebilir. Resim 4.5'd de % 2 Al₄C₃ takviyeli numunede mikroyapısal olarak gözle görülür bir değişim olmadığı söylenebilir. Ancak azda olsa artan takviye oranı ile birlikte uzun ısıl işlem sürelerinde oksitlenme eğiliminde bir artış olduğu açıktır.



Resim 4.5. Yaşlanma (220°C) ısıl işlem uygulanmış numunelerin SEM görüntüleri

- a) Takviyesiz numune b) Ağırlıkça %0.5 Al₄C₃ takviyeli,
c) Ağırlıkça %1 Al₄C₃ takviyeli, d) Ağırlıkça %2 Al₄C₃ takviyeli

4.3. Yoğunluk Sonuçları

Şekil 4.1’de gözlemlendiği gibi yapılan yoğunluk ölçümlerinde artan takviye oranı yoğunluğu düşürmektedir. Bu da kullanılan takviye malzemesinin ana faz içerisinde dağılımı ve yapının ıslatabilirliğinin iyi olmamasından kaynaklanmaktadır.

Sinterleme sonrası yoğunluklar artan takviye oranı ile arttığı tespit edilmiştir. Bunun nedeni ise sinterleme sonrası SEM görüntüleri incelendiğinde (Resim 4.4) oluşan gözeneklilik ve ilave takviye oranından kaynaklandığı belirlenmiştir. İnfiltrasyon sonrası (Resim 4.3) numuneler incelendiğinde takviyesiz (Resim 4.3.a) numunede gözeneklilik yokken takviye ile gözeneklilik artmaktadır.

Sinterleme sonrası yapılan yaşlandırma ısıl işlemi (Şekil 4.5) incelendiğinde yapıdaki gözeneklilikte farklılığın olmadığı gösterilmiştir. Ayrıca takviye malzeme üzerinde oluşan oksitlenmenin malzemenin yoğunluğunu düşürücü etki yapmış olabileceği tahmin edilmektedir.



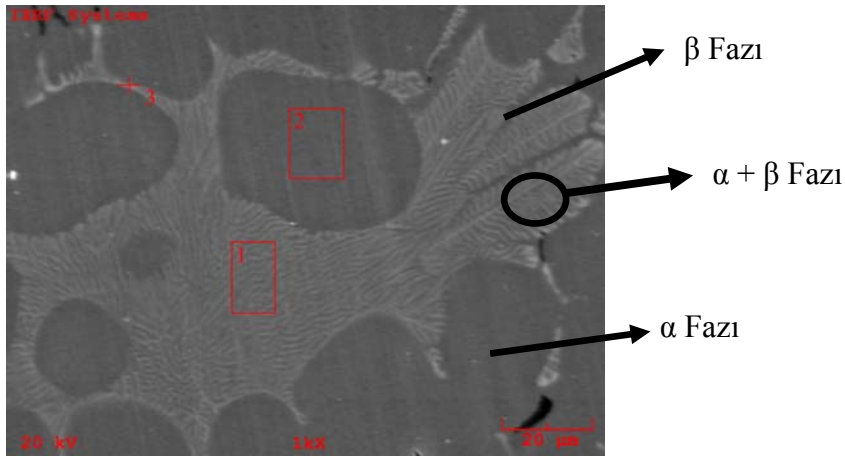
Şekil 4.1. Takviye hacim miktarına bağlı olarak yoğunluk değişim

4.4. Isıl İşlem Sonrası EDS Sonuçları

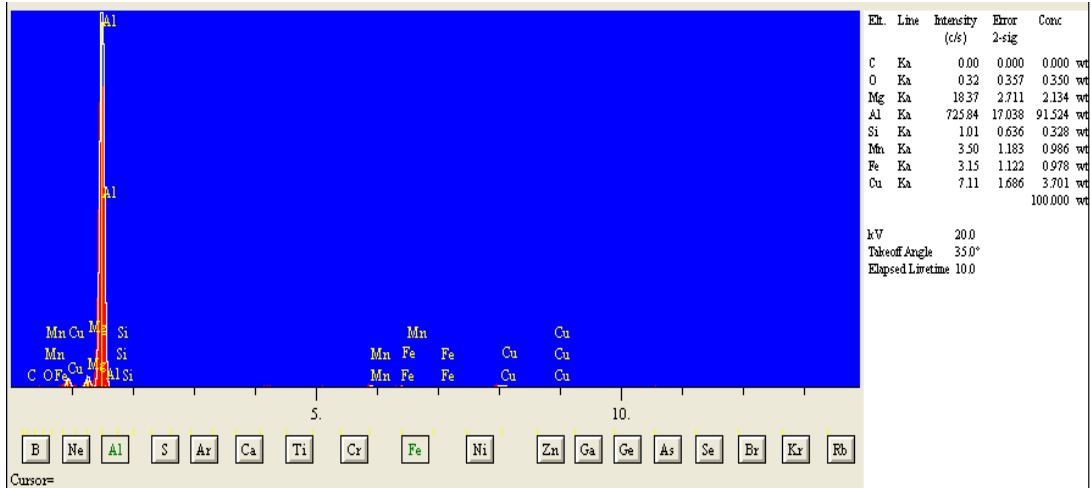
Element Dağılım Haritalaması (EDH) analizleri karıştırma döküm, vakum infiltrasyon, sinterleme ısıtma işlemi ve yaşlandırma ısıtma işlemi uygulanan numunelerden alınmıştır. SEM görüntüsü üzerinden farklı bölgelerde yapılan EDS analizleri sayesinde numune içerisinde fazlardaki farklılıklar tespit edilmeye çalışılmıştır.

EDS analizi yapılırken numuneler içerisinde belli elementler araştırılmıştır (Al, Cu, C, O v.b.). Yapılan EDS çalışmalarında belli bir atom çapının altındaki elementlerin (O, C, H v.b.) analizleri tam olarak cihaz tarafından yapılamamaktadır. Bu sebepten, bazı analizler sırasında bu elementlerin bulunamaması durumunda, var olmadıkları var sayılarak, göz ardı edilmişlerdir.

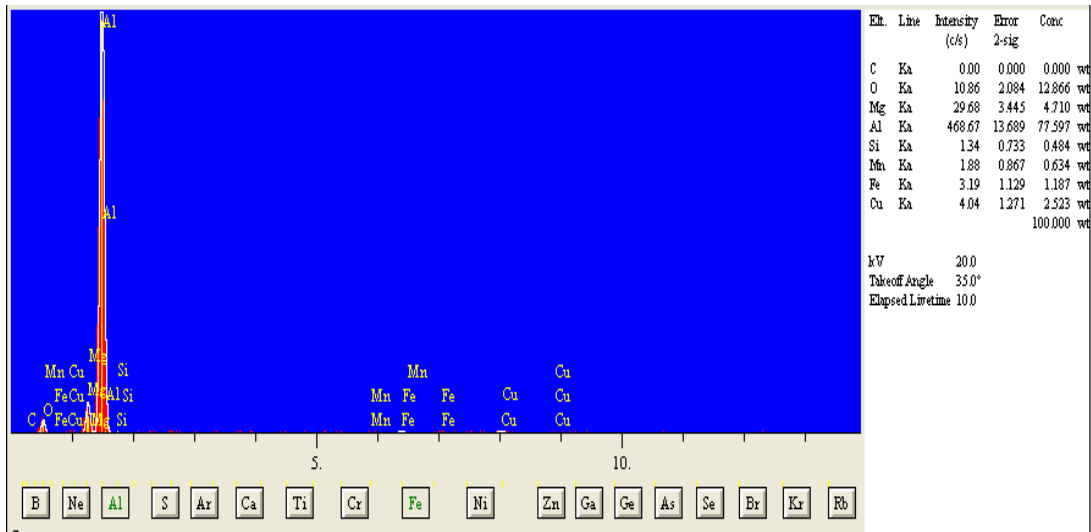
Resim 4.6' da takviyesiz olarak dökülmüş işlemsiz AA 2014 alaşım numunesi SEM görüntüsü verilmiştir. Şekil 4.2'de verilen EDS analizi sonucu elde edilen spektrumda kimyasal bileşimin AA 2014 ingot alaşımının kimyasal bileşimi ile yaklaşık olarak aynı olduğu görülmektedir. Şekil 4.3'de verilen EDS analizi yapılmış olan 1. bölgede bulunan gri dentritik şekilli yapıların bakırca zengin β fazı görülmektedir. EDS 1.analizin kimyasal kompozisyonuna bakıldığında bu bölgenin Al-Cu bileşiği olabileceği tahmin edilmektedir. Analizdeki kimyasal kompozisyonda Fe elementi malzeme içerisinde kirliliğin oluştuğunu göstermektedir. O elementi faz içerisinde yüksek miktarda oksijenle oluştuğunu göstermektedir. Şekil 4.4'deki EDS analizinde koyu gri bölgenin kimyasal kompozisyonu incelendiğinde, bu bölgenin Al bakımından zengin α fazı olduğu görülmektedir. Şekil 4.5'deki EDS analizi $\alpha + \beta$ fazının bulunduğu bölgeden alınmıştır. Al bakımından zengin olan bu bölgede %3 oranında Fe elementi analiz edilmiştir. Malzeme içerisinde analiz edilen Fe elementinin sıvı metal oluşturmada kullanılan grafit potadan kaynaklandığı tahmin edilmektedir.



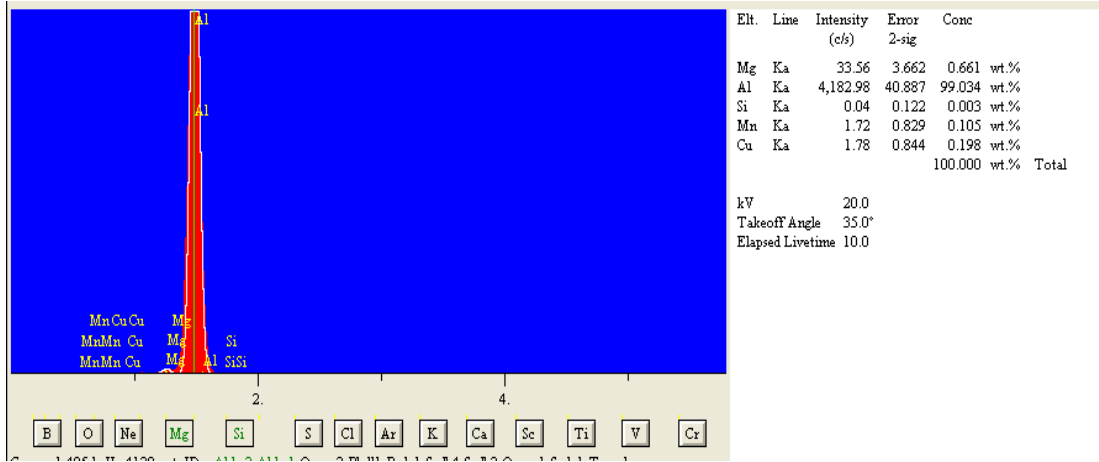
Resim 4.6. Döküm sonrası AA 2014 alaşım numunesi EDS için SEM görüntüsü



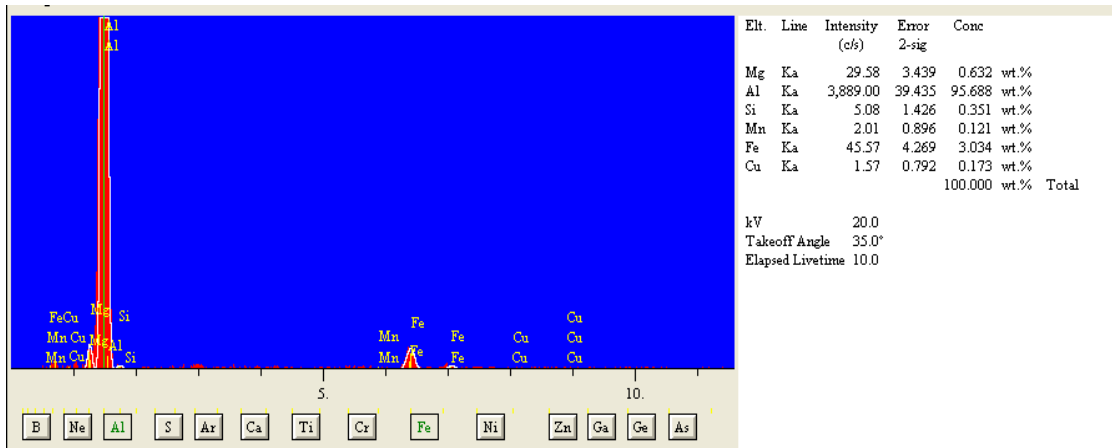
Şekil 4.2. Döküm sonrası AA 2014 alaşım numunesinin SEM görüntüsü spektrumu.



Şekil 4.3. Döküm sonrası AA 2014 alaşım numunesinin SEM görüntüsü 1. analizi



Şekil 4.4. Döküm sonrası AA 2014 alaşım numunesinin SEM görüntüsü 2. analizi



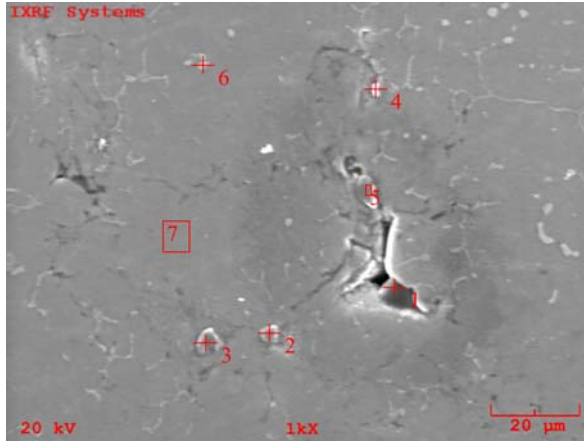
Şekil 4.5. Döküm sonrası AA 2014 alaşım numunesinin SEM görüntüsü 3. analizi

Takviye malzemesi bulunan numunelerin EDS analizlerinde, C miktarına bakılarak bu elementin nerelerde yoğunlaştığı ve böylece takviye malzemesi olan Al_4C_3 'ün bulunduğu bölgeler tespit edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca O miktarı kontrollü olarak yapılarak oksit oluşabilecek bölgeler de belirlenmeye çalışılmıştır.

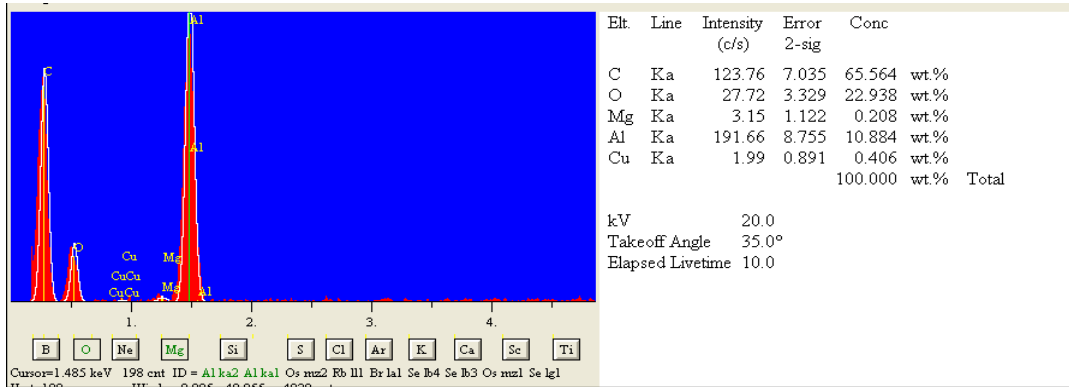
EDS incelemeleri, numuneler üzerinden çekilen resimler üzerinde farklılıklar gösteren bölgelerde yapılarak, resmi çekilen numuneler üzerinde oluşması muhtemel yapılar tespit edilmeye çalışılmıştır. Resim 4.7' de % 0,5 Al_4C_3 takviyeli döküm sonrası yaşlanma ısıl işlem uygulanmış AA 2014 - Al_4C_3 kompozit numunesi SEM görüntüsü verilmiştir. Analiz sonuçları incelendiğinde SEM üzerindeki 1. noktanın EDS sonuçlarına bakıldığında koyu gri kısmın Al ve C bakımından zengin bir bölge

olduğu tespit edilmiştir. Analiz sonucu bu bölgede takviye malzemesinin bulunduğunu göstermektedir (Şekil 4.6). Bu noktada oksitlenmenin de olduğu gözlemlenmektedir. SEM üzerindeki 2. noktanın inceleme sonuçlarında (Şekil 4.7), Si miktarının yüksek olduğu görülmektedir. Bu sonuç bize Si'un belli bölgelerde yoğunlaştığını ve/veya bileşik oluşturması sonucunda cihaz tarafından tespit edilemediği şeklinde değerlendirilebilir. Yapılan EDS çalışmasında 4. noktadan alınan sonuçlar incelendiğinde Al miktarının arttığı görülmektedir (Şekil 4.8). Bu da Al'un belli bölgelerde O ile bileşik oluşturmuş olabileceğini göstermektedir. Yapılan 6. analiz noktası EDS sonuçları incelendiğinde ise %7 oranında Cu tespit edilmesi gereken miktardan (%4,06) yüksek olduğunu göstermektedir (Şekil 4.9). Bu noktada Al ve Cu bakımından zengin bir bölgenin olduğu söylenebilir. Matris üzerinden alınan 7 bölgesinin EDS analizi sonuçları incelendiğinde ise Cu miktarının yüzde olarak 2,594 olmasından dolayı, olması gereken miktardan (%4,06) düşük olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 4.10). bu sonuç bakırın matris yapı içerisinde homojen olarak dağılmadığını ve belirli bölgelerde Cu yapısının yoğunlaştığı tespit edilmiştir.

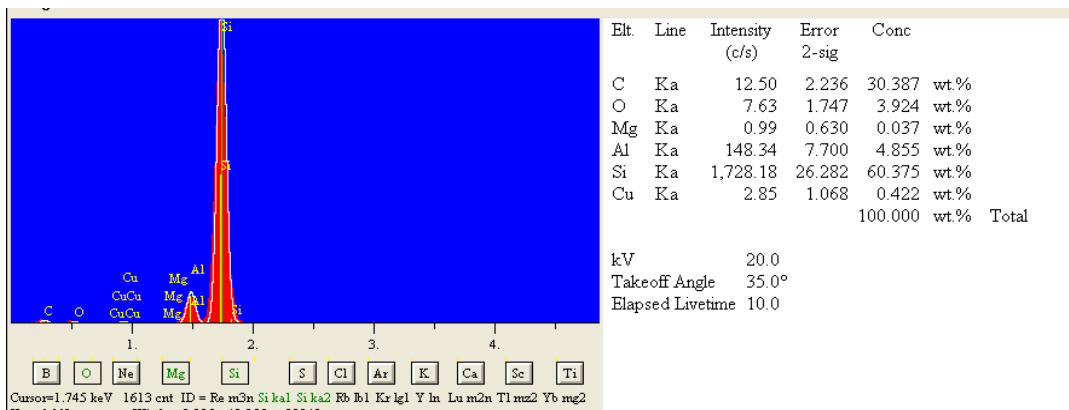
EDS incelemeleri yapılırken, Al, Cu, C ve O analizlerine ağırlık verilmiştir. Al ve Cu ana matris olarak, C ve O'da yapıdaki takviye malzemesini gösterebilmektedir. EDS resimleri incelendiğinde, artan takviye oranı ile (Resim 4.7, Resim 4.8 ve Resim 4.9) ve 7 saat çözündürme işlemi sonrasında yapılan 8 saat yaşlandırma ile birlikte Al_4C_3 yapı içerisinde genellikle gözenekler içerisinde konumunu koruduğu yer yer topaklanma şeklinde dağıldığı gözlemlenmektedir (Resim 4.9, Resim 4.10)



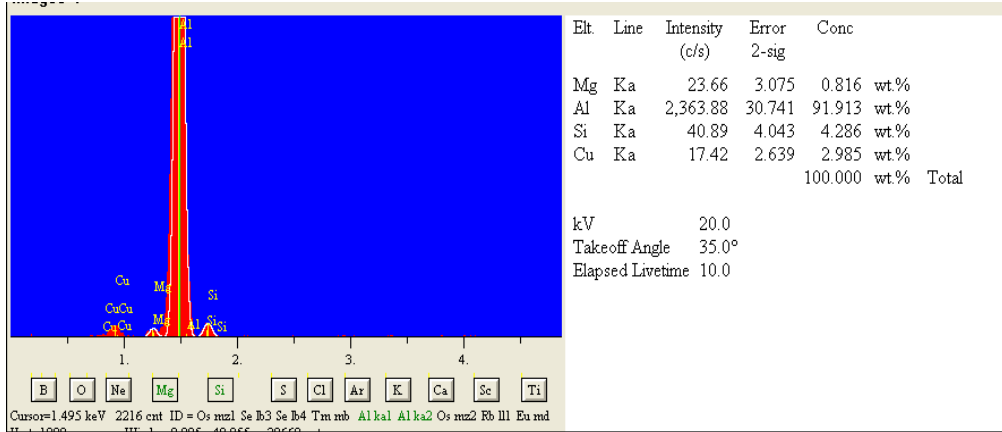
Resim 4.7. %0.5 Al_4C_3 takviyeli döküm sonrası yaşlanma ısıl işlem uygulanmış numunenin EDS için SEM görüntüsü



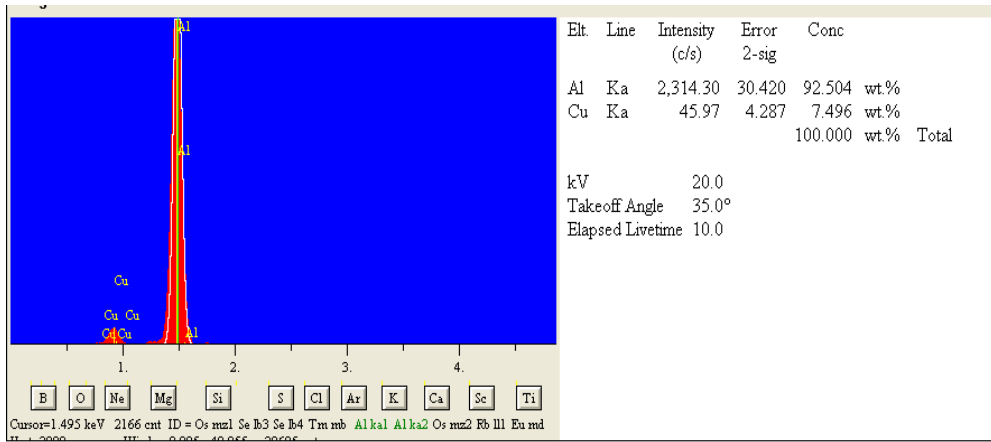
Şekil 4.6. %0.5 Al_4C_3 takviyeli döküm sonrası ısıl işlem uygulanmış numunenin SEM görüntüsündeki 1. Analiz



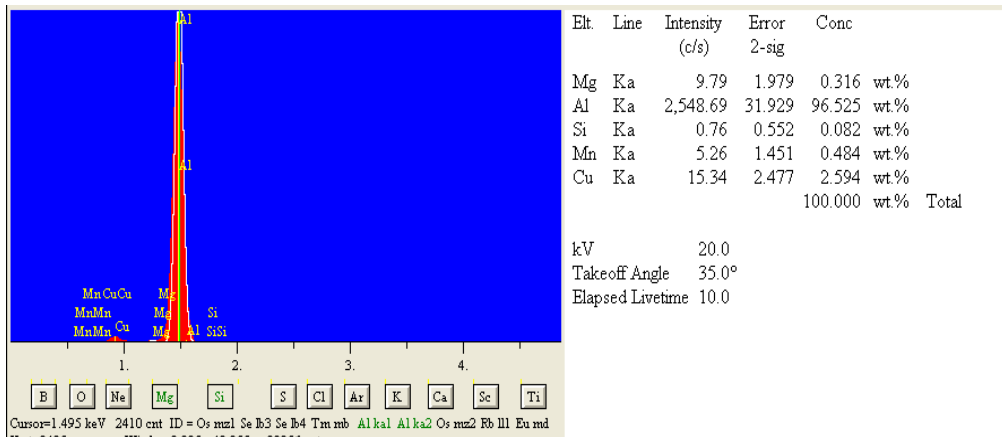
Şekil 4.7. %0.5 Al_4C_3 takviyeli döküm sonrası ısıl işlem uygulanmış numunenin SEM görüntüsündeki 2. Analiz



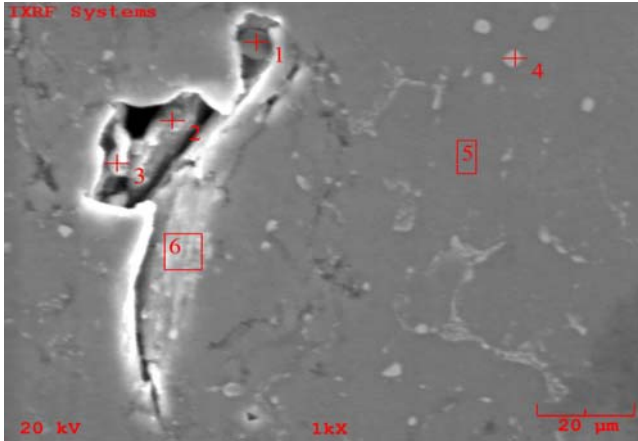
Şekil 4.8. %0.5 Al₄C₃ takviyeli döküm sonrası ısıtım uygulanmış numunenin SEM görüntüsündeki 4. analiz



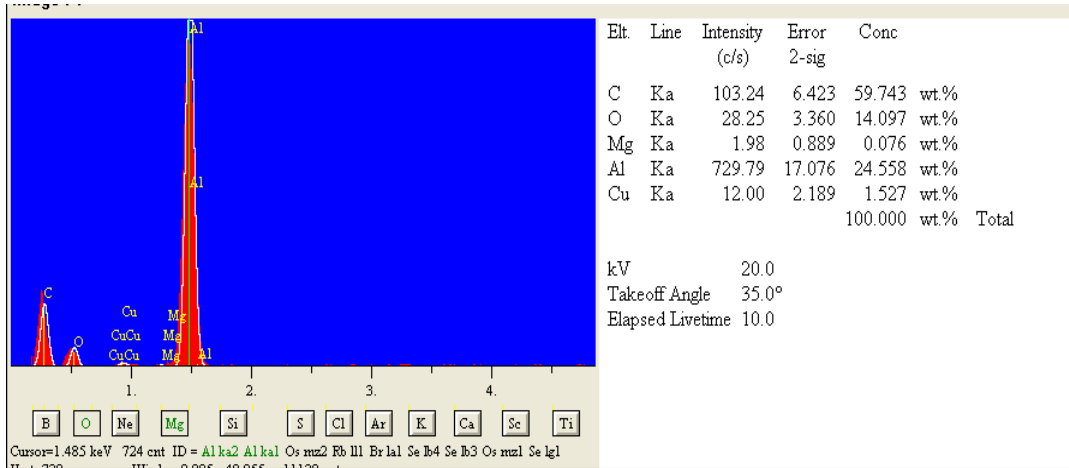
Şekil 4.9. %0.5 Al₄C₃ takviyeli döküm sonrası ısıtım uygulanmış numunenin SEM görüntüsündeki 6. Analiz



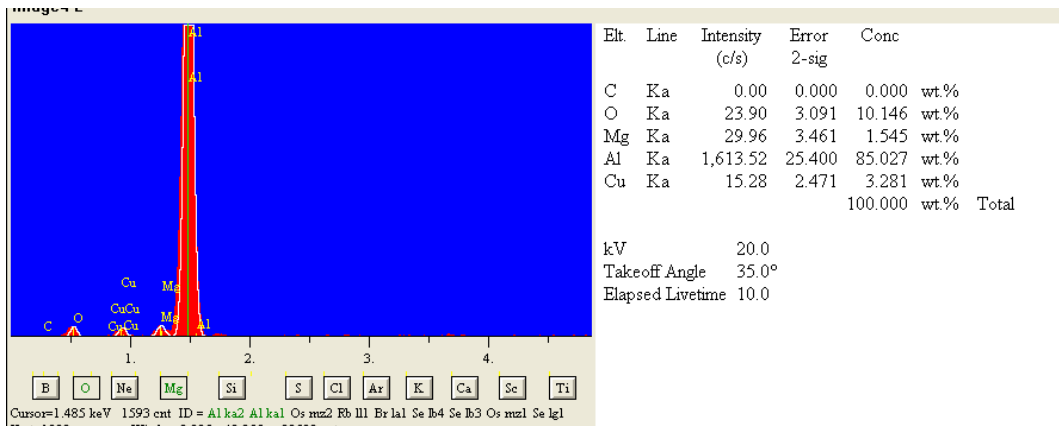
Şekil 4.10. %0.5 Al₄C₃ takviyeli döküm sonrası ısıtım uygulanmış numunenin SEM görüntüsündeki 7. analiz



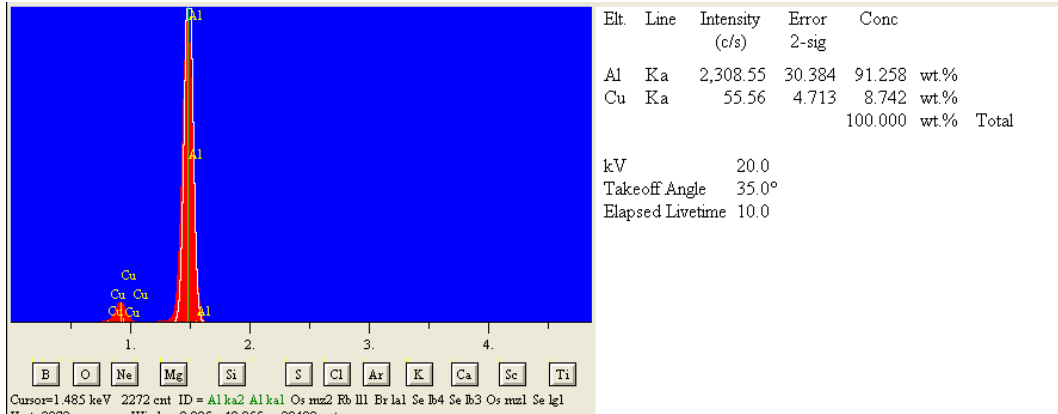
Resim 4.8. % 1 Al_4C_3 takviyeli döküm sonrası yaşlanma ısıl işlem uygulanmış numunenin EDS için SEM görüntüsü



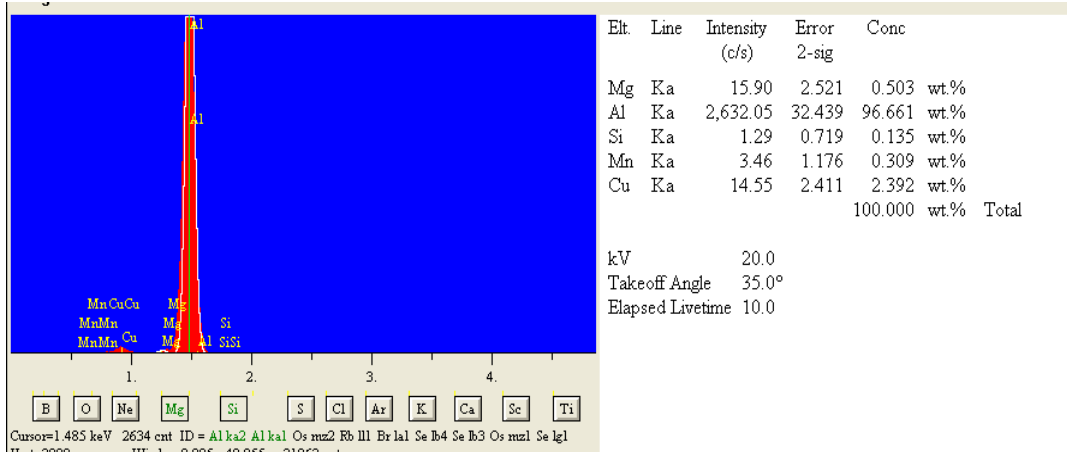
Şekil 4.11. % 1 Al_4C_3 takviyeli döküm sonrası ısıl işlem uygulanmış numunenin SEM görüntüsündeki 1. analiz



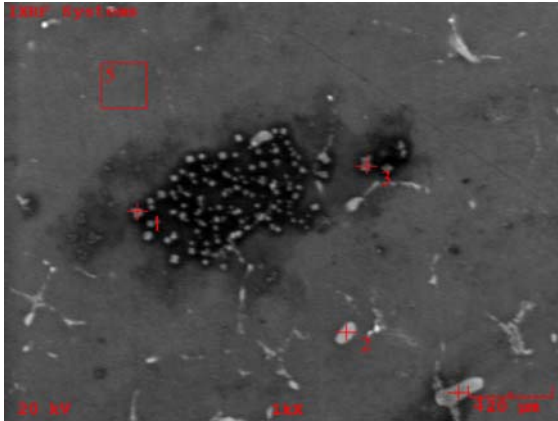
Şekil 4.12. % 1 Al_4C_3 takviyeli döküm sonrası ısıl işlem uygulanmış numunenin SEM görüntüsündeki 2. analiz



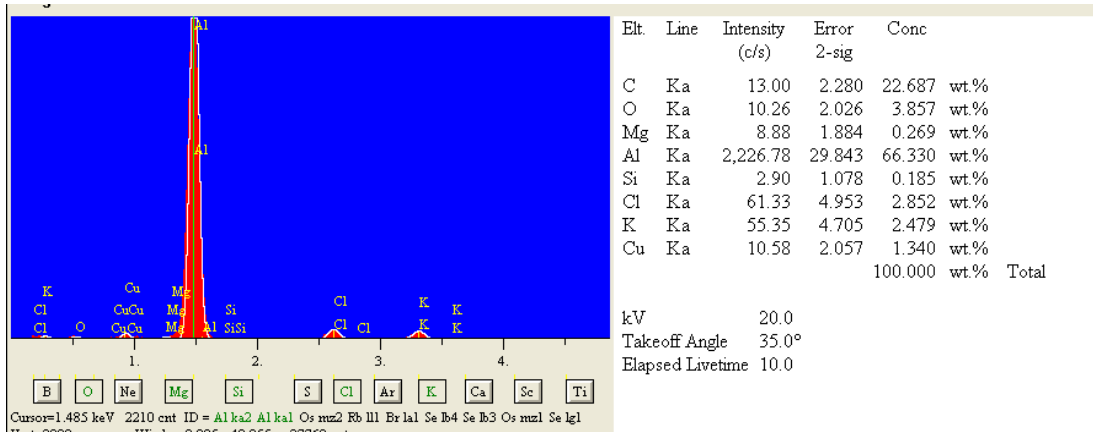
Şekil 4.13. % 1 Al_4C_3 takviyeli döküm sonrası ısıt işlem uygulanmış numunenin SEM görüntüsündeki 4. analiz



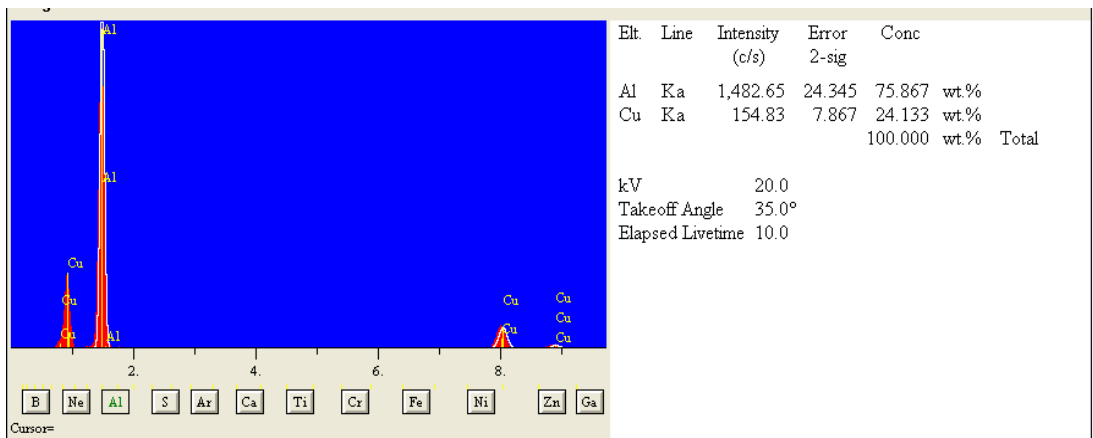
Şekil 4.14. % 1 Al_4C_3 takviyeli döküm sonrası ısıt işlem uygulanmış numunenin SEM görüntüsündeki 5. analiz



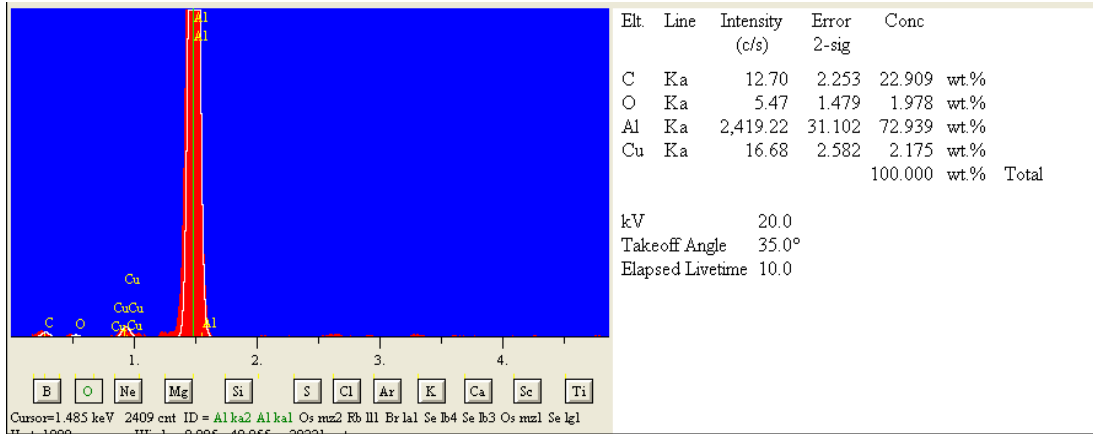
Resim 4.9. % 2 Al_4C_3 takviyeli döküm sonrası yaşlanma ısıl işlem uygulanmış numunenin EDS için SEM görüntüsü



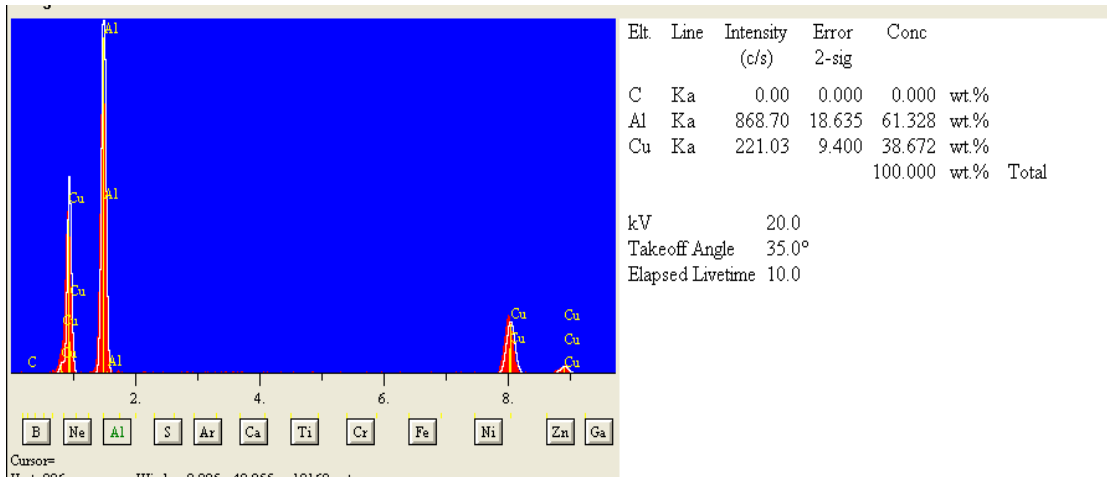
Şekil 4.15. % 2 Al_4C_3 takviyeli döküm sonrası ısıl işlem uygulanmış numunenin SEM görüntüsündeki 1. analiz.



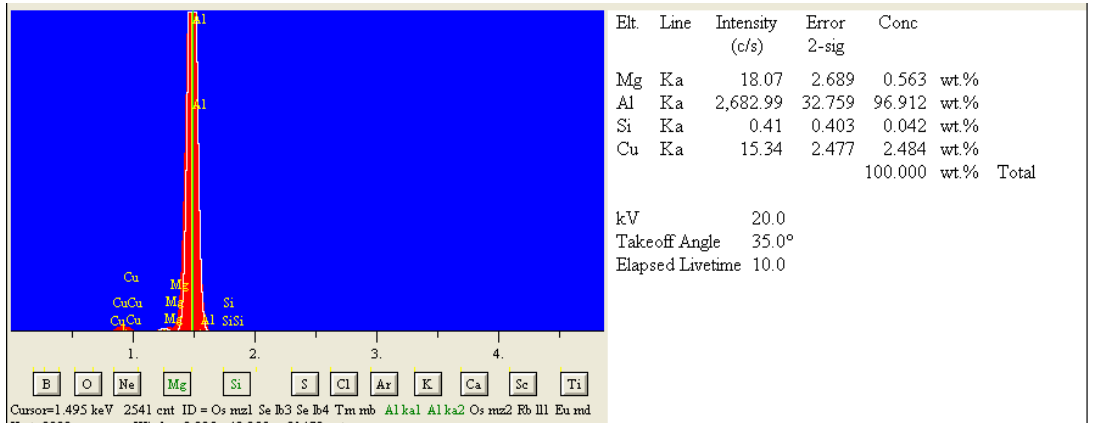
Şekil 4.16. % 2 Al_4C_3 takviyeli döküm sonrası ısıl işlem uygulanmış numunenin SEM görüntüsündeki 2. analiz.



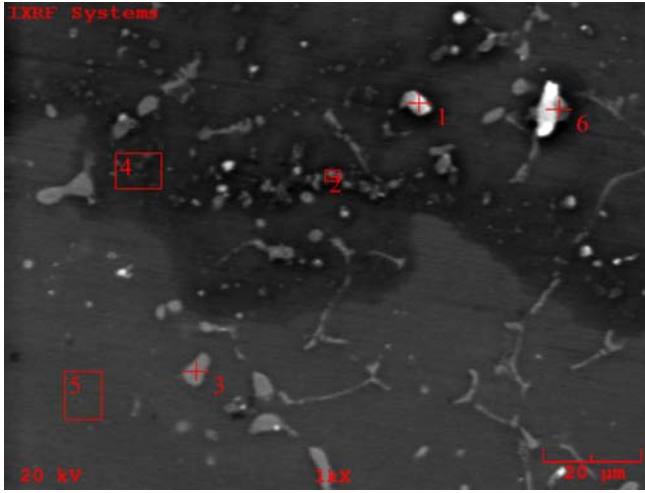
Şekil 4.17. % 2 Al_4C_3 takviyeli döküm sonrası ısıtılmış numunenin SEM görüntüsündeki 3. Analiz



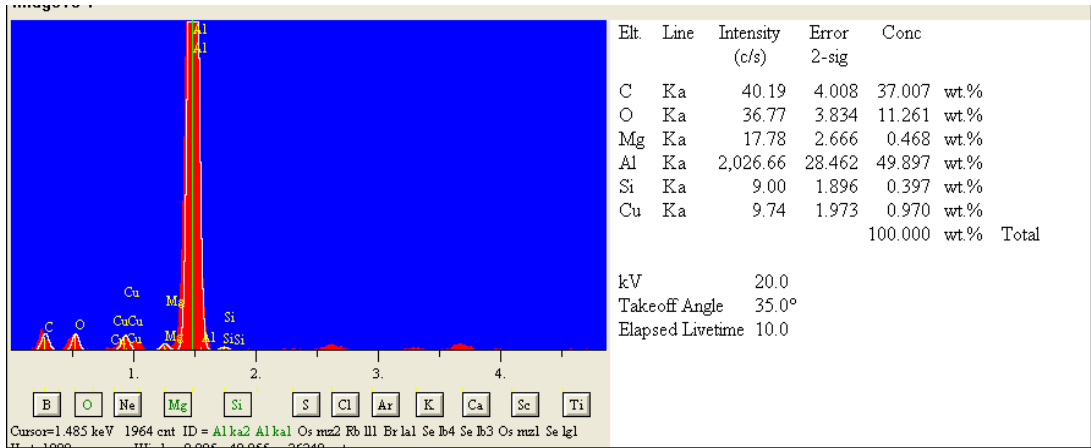
Şekil 4.18. % 2 Al_4C_3 takviyeli döküm sonrası ısıtılmış numunenin SEM görüntüsündeki 4. Analiz.



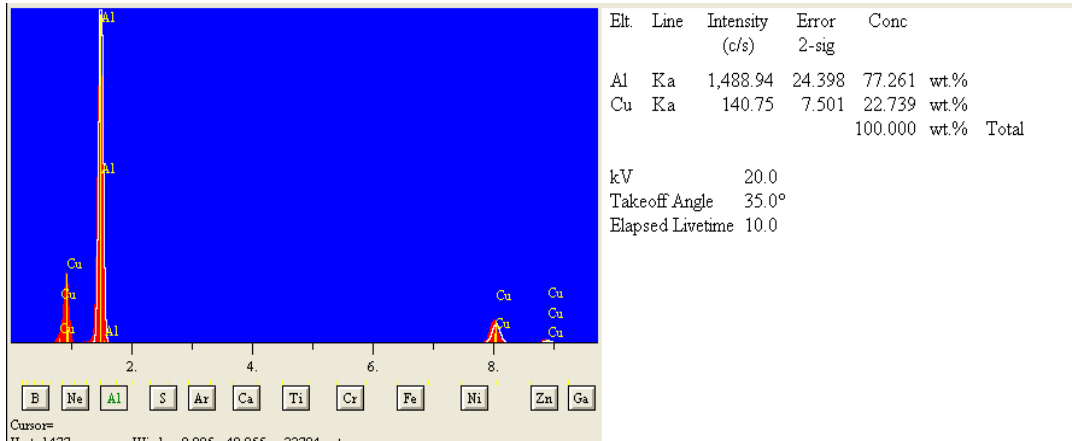
Şekil 4.19. % 2 Al_4C_3 takviyeli döküm sonrası ısıtılmış numunenin SEM görüntüsündeki 5. Analiz.



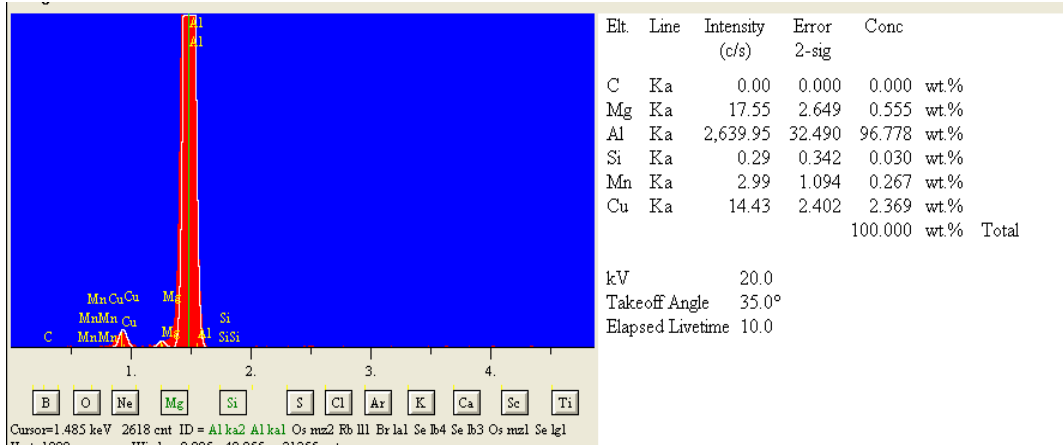
Resim 4.10. % 4 Al_4C_3 takviyeli döküm sonrası yaşlanma ısıl işlem uygulanmış numunenin EDS için SEM görüntüsü



Şekil 4.20. % 4 Al_4C_3 takviyeli döküm sonrası ısıl işlem uygulanmış numunenin SEM görüntüsündeki 1. analiz.



Şekil 4.21. % 4 Al_4C_3 takviyeli döküm sonrası ısıl işlem uygulanmış numunenin SEM görüntüsündeki 3. analiz.



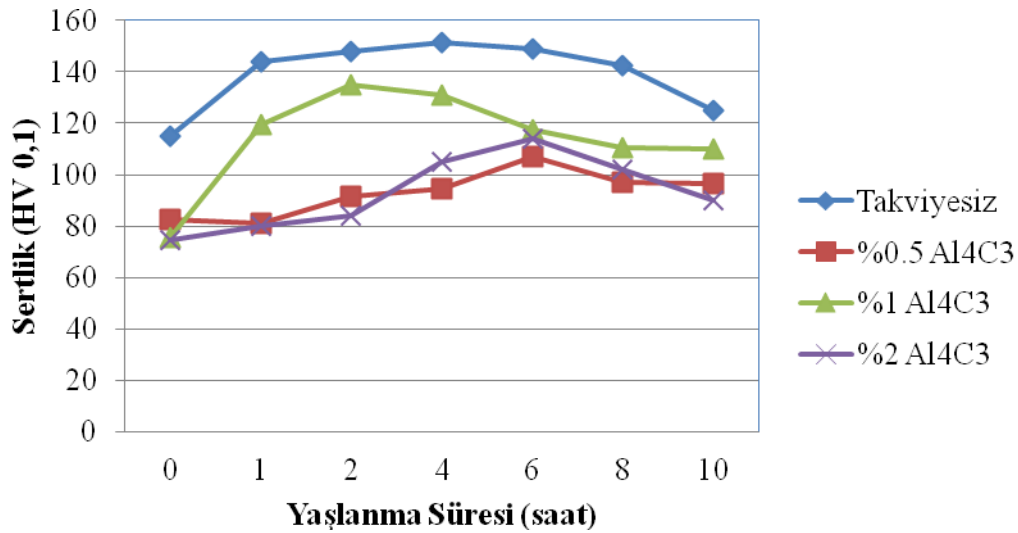
Şekil 4.22. % 4 Al_4C_3 takviyeli döküm sonrası ısıl işlem uygulanmış numunenin SEM görüntüsündeki 5. analiz

4.5. Sertlik Sonuçları

Yaşlanma ısıl işlemi uygulanmış infiltrasyon ve döküm numunelerinin mikrosertlik cihazı kullanılarak sertlik ölçümleri yapılarak takviye oranına bağlı olarak ısıl işlem süresinin sertlik üzerine etkileri incelenmiştir ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yapılan bu çalışma ile Al_4C_3 takviyesinin farklı üretim yöntemlerinde sertliğe olan katkısı hakkında bilgi edinilmeye çalışılmıştır. Mikrosertlik ölçümlerinde yük olarak HV 0,1 kg tercih edilmiştir. Sonuçların sağlıklı çıkabilmesi aynı numune üzerinden az 5, en fazla 10 ölçüm alınmakta ve en az 3 tane farklı numuneden sertlik değeri alınarak sonuçlar elde edilmektedir.

Her iki üretim yönteminde de elde edilen kompozit numunelerinde yaşlandırma sonrası sertlik sonuçları incelendiğinde, artan Al_4C_3 takviye oranının, kullanılan üretim yönteminin ve yaşlanma süresinin sertlik üzerinde önemli roller üstlendiği söylenebilmektedir. Al_4C_3 fazının sertlik üzerine olan etkilerini anlayabilmek için yaşlanma ısıl işlem uygulanmış takviye içermeyen numuneler ile Al_4C_3 takviyesi bulunan numuneler arasındaki mikro sertlik kontrolleri yapılarak karşılaştırılmıştır. Sertlik ölçüm sonuçları karşılaştırıldığında döküm yöntemi ile oluşturulan kompozit numunelerin infiltrasyon yöntemi ile oluşturulan numunelerden çok daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Şekil 4.23’de infiltrasyon sonrası yaşlanma ısıl işlemi uygulanmış numunelerin mikrosertlik ölçüm sonuçları gösterilmiştir. Şekilden anlaşılacağı üzere takviye malzemesi bulunmayan numunelerle takviye buluna numuneler karşılaştırıldığında önemli farklılıklar gözlemlenmektedir. Takviye malzemesi bulunmayan numunelerin sertlik değerinin takviyelilere oranla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca takviyesiz numunelerde yaşlanma süresinin artışıyla (6 saate kadar) sertlik değerinde artış gözlemlenmektedir. Takviye miktarının artması ile (%1’e kadar) yaşlanma süresinin azaldığı ve sertlik değerinin arttığı gözlemlenmektedir). Şekil 4.23’ e göre %2 oranının üzerindeki takviyelerde malzemenin mekanik dayanımında olumsuz etki gösterebileceği düşünülmektedir.



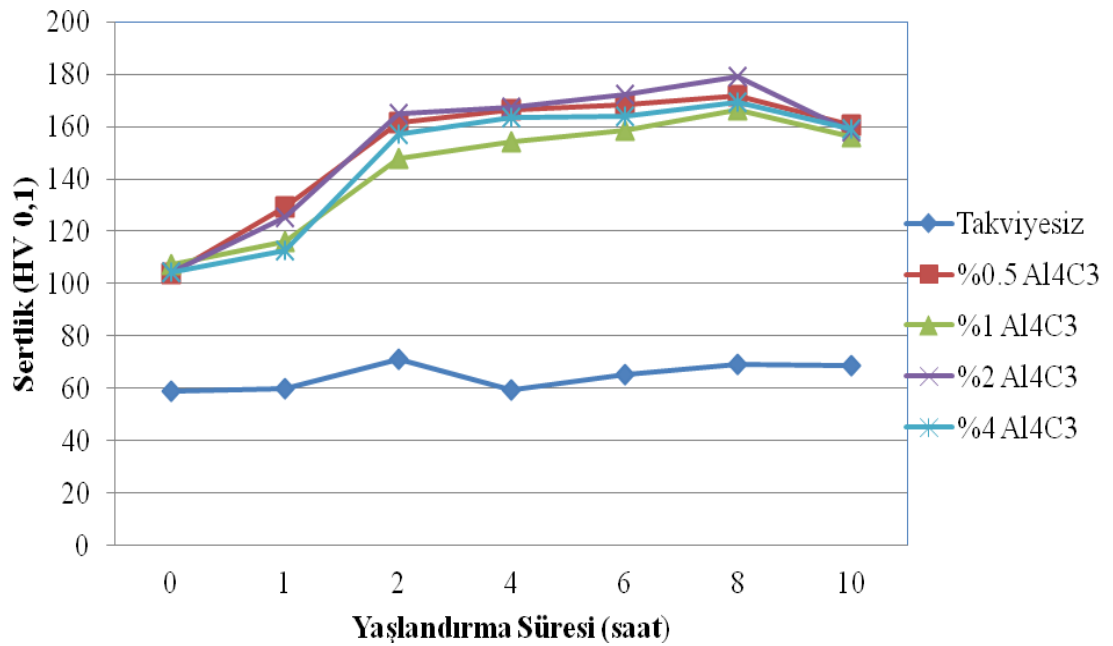
Şekil 4.23. İnfiltrasyon işlemi ve sonrası uygulanan ısıl işlemlerin mikrosertlik değerleri (HV)

Döküm sonrası yapılan yaşlandırma işleminin sertliğe olan etkisini tespit edebilmek için 2’şer saat arayla numuneler yaşlandırılmıştır. Yapılan her 2 saatlik yaşlandırma sonrası numunelerin sertlik değerleri alınarak artan takviye oranının yaşlanma süresine bağlı olarak sertlik değerleri tespit edilmeye çalışılmıştır (Şekil 4.24).

Şekil 4.24 de görüldüğü gibi yaşlanma süresine bağlı olarak sertlikte bir artış meydana gelmektedir. Bu sertlik artışına bakılarak takviye oranındaki artışın sertliği

artırdığı gözlemlenmektedir. Takviyesiz numune ile mukayese edildiğinde 180 HV gibi yüksek değerlere ulaştığı tespit edilebilmektedir. Buda matris yapıya ilave edilen Al_4C_3 takviyesinin matris içerisinde tane sınırlarında homojen bir dağılım ile dağıldığını ve sertlik düşüşünü engellemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Aksöz S. vd, yaptığı bir çalışmada takviye oranının artması sertliği düşürdüğü belirtilmiştir (% 1 e kadar) ve sonrasında ise % 2 nin üzerinde sertliği artırıcı bir etki gösterdiğini tespit etmiştir. Bunun nedeninin %2 ye kadar dağılımın homojen bir şekilde sağlanamamasından kaynaklandığını düşünmektedir. %2 de homojen bir yapı sağlanmıştır. Bununla sertliği artırdığını söylemektedir [80].



Şekil 4.24. Döküm sonrası yaşlanma süresine ve takviye oranına bağlı olarak sertlik sonuçları

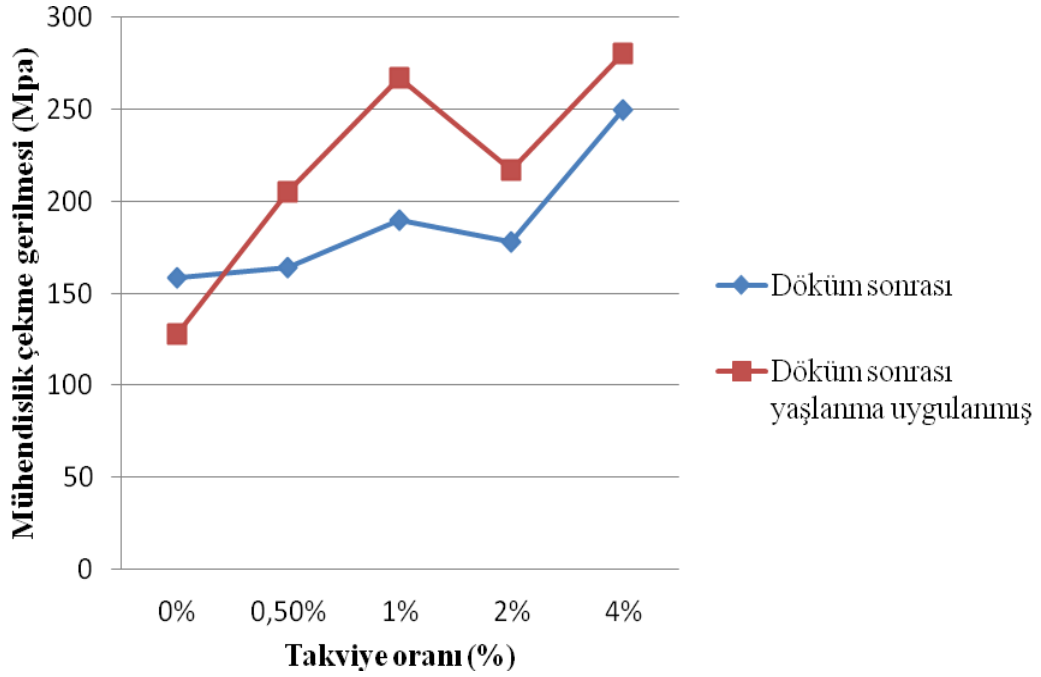
4.6. Çekme Test Sonuçları

Çekme testleri döküm sonrası ve yaşlandırma sonrası elde edilen numunelere uygulanmıştır ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada amaç Al_4C_3 takviyesinin, artan takviye oranının ve uygulanan ısıl işlemin numunelerdeki çekme dayanımı üzerine olan etkisinin araştırılmasıdır.

Şekil 4.25. de döküm ile üretilen numunelerin döküm sonrası ve yaşlanma sonrası takviye oranına bağlı olarak mühendislik çekme gerilme değişimi verilmiştir. Döküm ve yaşlanma sonrası çekme testleri yapılan numunelerde takviye oranına bağlı olarak çekme gerilmesinde artış meydana geldiği tespit edilmiştir. Yaşlanma işlemi uygulanmış numunelerde çekme gerilmesinde artış olduğu gözlemlenmiştir.

Her iki durumda da %2 oranında takviye içeren numunelerde çekme gerilmesinin düşük olması takviye malzemesinin matris içerisinde homojen olarak dağılmadığını veya üretim esnasında karıştırma süresi ve döküm işleminin yanlış uygulamadan kaynaklandığı düşünülebilir.

Genel olarak, tüm numunelerde yaşlanma ısıl işlemi ile birlikte takviye oranına arttıkça çekme gerilmeleri arttığı söylenebilir. %2 Al_4C_3 takviye oranının sahip numunede düşüş gözlemlense de % 4 Al_4C_3 oranında takviye içeren numunelerde çekme gerilmesi artış göstermiştir.

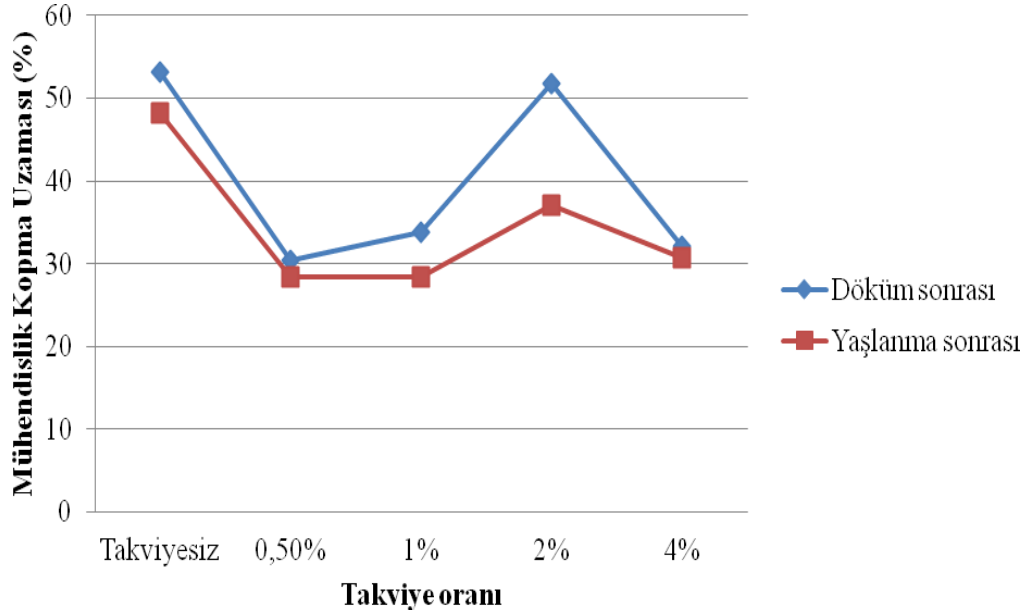


Şekil 4.25. Takviye oranına bağlı olarak mühendislik çekme gerilme değişimi (%)

Çekme testi sonunda numunelerde takviye oranına bağlı olarak döküm ve yaşlanma sonrası numunelerin mühendislik kopma yüzde grafiği Şekil 4.26' de verilmiştir.

Grafiğe bakıldığında döküm ve yaşlanma sonrası numunelerin takviye oranına bağlı olarak % uzama miktarlarında düşüş meydana geldiği gözlemlenmektedir. En yüksek % uzama değeri takviyesiz ve % 2 Al_4C_3 takviyeli numunelerde % 55 civarında süneklik değeri sağlanmıştır.

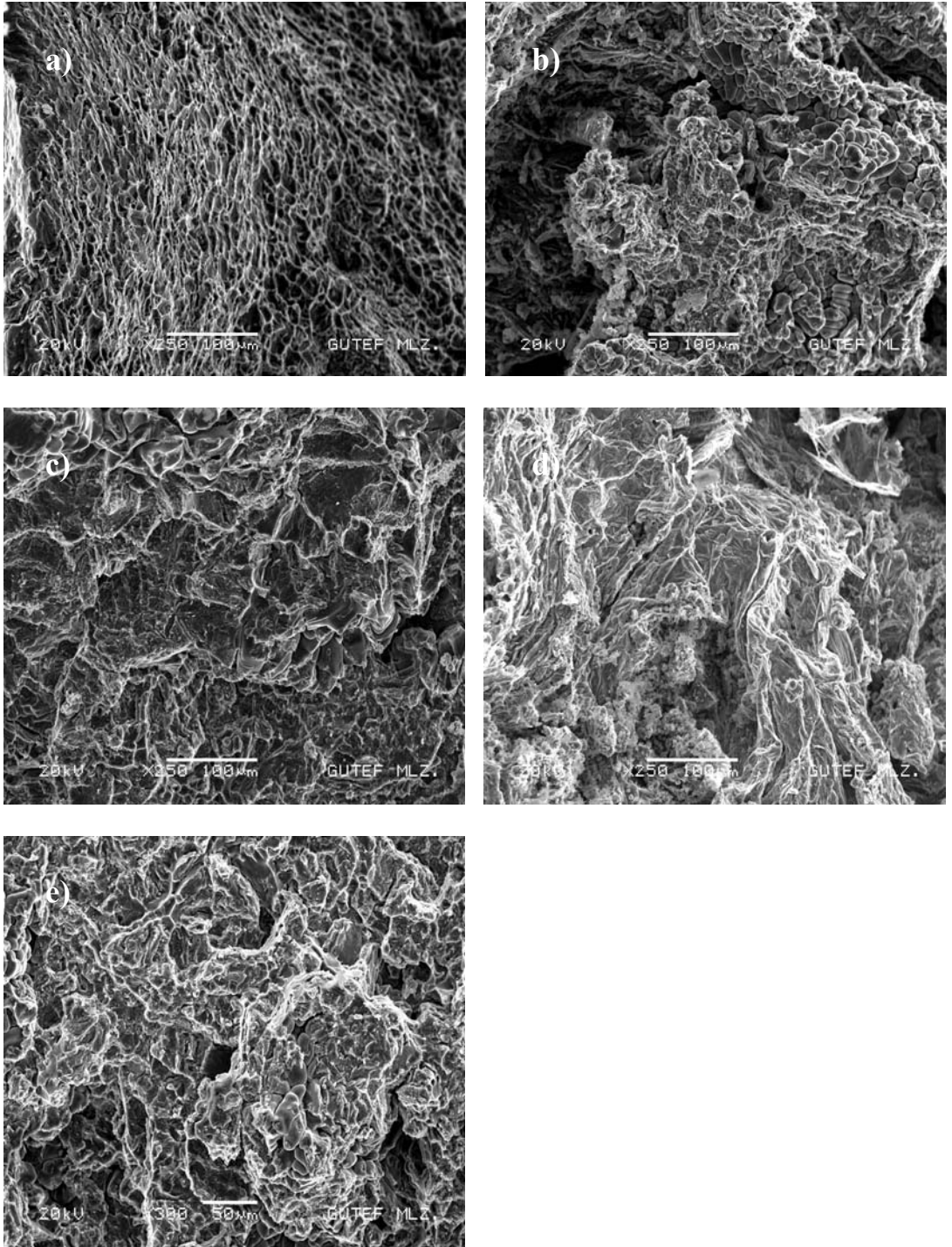
Yaşlanma sonrası numunelerde çökeltme sertleşmesinin etkisi ile numunelerde düşük oranda gevreklik olduğu söylenebilir. Yaşlanma sonrası numunelerde gözlemlene % uzama değerleri, döküm sonrası numunelerin % uzama değerleri ile uyumluluk göstermektedir.



Şekil 4.26. Takviye oranına bağlı olarak mühendislik kopma yüzde grafiği

Resim 4.11 ve Resim 4.12 'de sırasıyla döküm ve yaşlanma sonrası numunelerin çekme testi sonunda SEM' de görüntülenen kopma yüzey morfolojisi verilmiştir.

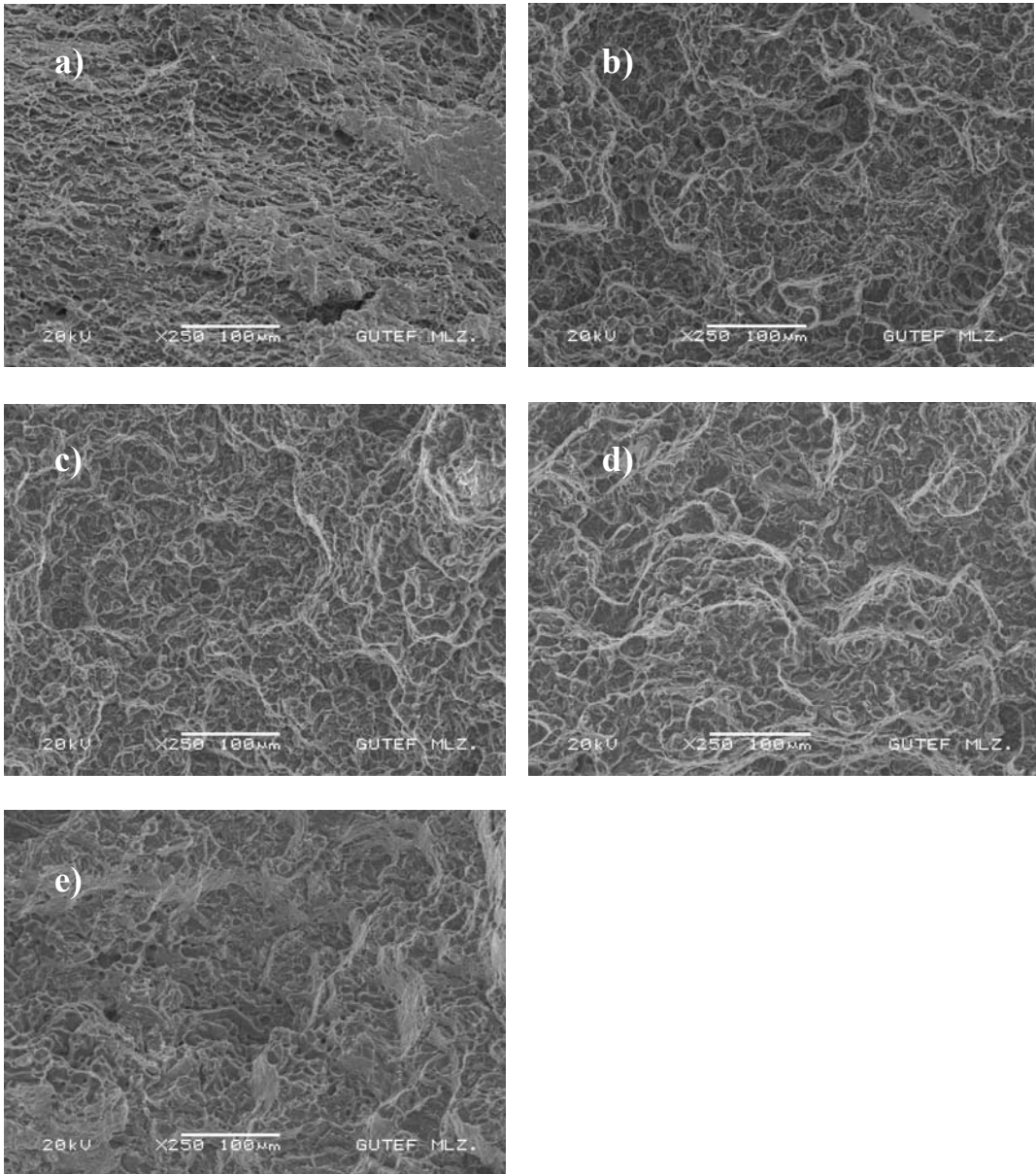
Kopma yüzeylerinin değerlendirilmesini süneklik değerlerine göre yapmak daha uygundur. Takviyesiz numunenin çekme yüzeyine bakıldığında (Resim 4.11 a) daha sünek bir kopma olduğu gözlemlenmiştir. Takviye malzemesi içeren numunelerde (Resim 4.11 b, c, d) bazı bölgelerde sünek bazı bölgelerde gevrek kırılma olduğu düşünülmektedir. Takviye malzemesi içeren numune yüzeylerinde görülen tane boşluklarına bakıldığında takviye tanelerin kopmuş olabileceği düşünülmektedir



Resim 4.11. Döküm sonrası numunelerin çekme testi sonrası kopma yüzeyleri

a) Takviyesiz, b) %0,5 Al₄C₃, c) %1 Al₄C₃, d) %2 Al₄C₃, e) %4 Al₄C₃

Yaşlanma sonrası elde edilen numunelerin çekme yüzeylerine bakıldığında (Resim 4.12) numunelerin sünek kopma eğiliminde olduğu gözlemlenmiştir. Takviye malzemesi içeren numunelerde (Resim 4.12 b,c,d,e) tane kopmalarının azaldığı gözlemlenmiştir. Kopma yüzey görüntülerine göre yaşlanmanın mekanik özelliklere olumlu etkilerinin olduğu düşünülmektedir.



Resim 4.12. Döküm sonrası yaşlanma ısı işlemi uygulanmış numunelerin çekme testi sonrası kopma yüzeyleri

a) Takviyesiz, b) %0,5 Al_4C_3 , c) %1 Al_4C_3 , d) %2 Al_4C_3 , e) %4 Al_4C_3

5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Yapılan çalışmada AA 2014 alaşımına ağırlıkça %0,5, %1, %2 ve %4 takviye oranında Al_4C_3 takviye edilerek döküm ve vakum infiltrasyon yöntemleri kullanılarak kompozit malzeme üretilmiştir ve yaşlanma ısıl işlemi uygulanmıştır. Takviye malzemesinin yaşlanma ve mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir.

İlave edilen takviye malzemenin döküm çalışmalarında yaşlanma ısıl işleminin etkisiyle üretilen malzemelerde Al_4C_3 takviye malzemesinin mekanik özelliklere olumlu etkilerde bulunduğu tespit edilmiştir. Yapılan çalışmalarda Al içerisinde oluşan (veya oluşturulan) Al_4C_3 parçacıklarının sertliği artırdığı, yaşlanmayı yavaşlattığı, çekme ve yüksek sıcaklık performansını artırdığı gözlemlenmektedir [31]. Takviye miktarının artmasına bağlı olarak mekanik özelliklerde de artış gözlemlenmiştir. Takviye malzemesi kullanılmadan üretilen numunelerde sertlik değerleri 60 HV iken takviye miktarı artışı ile ortalama 105 HV değerine ulaşılmıştır. Aksöz S., çalışmasında Al_4C_3 'ün sertliği artırıcı etki yaptığını tespit etmiştir. İşlem görmemiş tozlara uygulanan ısıl işlem sonrasında elde edilen sertlik değerleri ile Al_4C_3 oluşturulduktan sonra yapılan ısıl işlem sonrası sertlik ölçümlerinde Al_4C_3 'ün sertliğe artırıcı olumlu etkisinin olduğunu söylemektedir [1].

Takviyesiz döküm numunelerinde en yüksek sertlik değeri 2 saat ve 8 saat yaşlanma ısıl işlemi sonrasında elde edilirken (~70 HV) takviye malzemesi bulunan numunelerde en yüksek sertlik değerine (~178 HV) 8 saat yaşlanma süresinde ulaşılmıştır. Chawla vd., dört farklı yaşlandırma sıcaklığının etkilerini SiC ve Al_2O_3 partikül takviyeli 2014 alüminyum matrisli döküm kompozit malzeme üzerinde denemişlerdir. 2014 alüminyum matrisi için farklı sıcaklıklardaki yaşlanma eğrilerinin özdeş olduğunu görmüşlerdir. 195°C yaşlanma sıcaklığında SiC seramik takviyesinin 8 saat yaşlanma süresi sonunda ~125 HV sertlik değerine ulaşmıştır [79]. İnfiltrasyon yöntemi ile üretilen ve takviye malzemesi bulunan numunelerin sertlik değerleri, takviye malzemesi bulunmayan numunelerden daha düşük bulunmuştur.

Vakum infiltrasyon ile üretilen malzemelerde takviye malzemesi bulunan numunelerde takviyesize kıyasla düşük sertlik değerleri tespit edilmiştir. Takviyesiz numunelerde ~190 HV sertlik değerine ulaşılırken takviye malzemesi kullanılan numunelerde bu sertlik değeri ortalama 80 HV olduğu görülmüştür. Çalın R., çalışmasında vakum infiltrasyon ile ürettiği kompozitlerin genel sertlik değeri infiltrasyonun artmasıyla genel olarak artmış olduğunu gözlemlemiştir. Artan T-H oranında ise artışın daha fazla olduğunu tespit etmiştir. Genel artışın kompozitlerdeki gözenek azalmasına bağlı olduğu söylemektedir. T-H oranına bağlı sertlik artışı ise MgO miktarının artışına bağlamaktadır [7].

Vakum infiltrasyon çalışmalarında yapılan sinterleme ısıl işlemi gözenekliliği arttırmakta ve yoğunluğu düşürmektedir. Yaşlandırma ısıl işleminin yapıdaki gözenekliliğe etkisi olmazken, sertliği artırıcı etki görülmektedir. MMK yapı içerisinde kullanılan takviye malzemesi sertliği, gözenekliliği, ıslatabilirliği ve sonrası yapısal işlemleri etkilemektedir.

Mikroyapısal özellikler incelendiğinde ise takviye malzemesinin matris ile uyumlu bir ara yüzeye sahip olmadığı gözlemlenmiştir. Döküm ile üretimde, kopma yüzey morfolojisi taneler arası kopma olduğunu göstermektedir. Takviyenin ara yüzey uyumu olmamasından kaynaklanmaktadır. Vakum infiltrasyon yöntemi ile üretilen numunelerde ara yüzey uyumsuzluğu daha fazla gözlemlenmektedir. Vakum infiltrasyon malzemelerde oksitlenme oranı döküm yöntemi ile oluşturulan kompozit yapıdan daha yüksektir. Buda malzemenin hem mikroyapı özelliklerini hem de mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir.

Döküm numunelerine uygulanan çekme deneyinde oluşturulan kompozit yapının çekmeye olan olumlu etkileri tespit edilmiştir. Ham malzemenin uygulanan çekme işleminde % uzama yaklaşık % 55 olarak belirlenmiştir. Al₄C₃ takviyesi kullanılan numunelerde (%0,5, %1, %2 ve %4) sırası ile yaklaşık % 30, % 35, %52 ve %32 çekme uzama özelliği tespit edilmiştir.

Takviye olarak kullanılan Al_4C_3 katı partikülünün mikroyapı içerisinde homojen olarak dağılmadığı tespit edilmiştir. Bunun nedeni ise Al_4C_3 tozlarının topaklanma eğiliminden ve düşük ıslatabilirliğinden kaynaklanmaktadır. Buda mekanik özelliklerde olumsuz etki yapmaktadır. Mikroyapı ve EDS incelemelerinde yapı içerisindeki Al_4C_3 takviyesinin bulunduğu bölgelerde oksitlenmenin olduğu tespit edilmiştir. Oksitlenme takviye malzemesi olarak kullanılan Al_4C_3 katı partikülünün oksitlenme etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Nihai Sonuçlar:

Döküm ve vakum infiltrasyon üretim yöntemleri ile elde edilen AA 2014- Al_4C_3 kompozit malzemenin yaşlandırma işlemleri sonrası yapılan analizler ile elde edilen sonuçlar ana başlıklar halinde şöyle sıralanabilir:

1. Vakum infiltrasyon ile üretilen kompozitlerde kullanılan takviye Al_4C_3 toz boyutunun ($10 \mu m$) düşük olduğu tespit edilmiştir.
2. İnfiltrasyon sonrasında numunelere sinterleme ısıl işlemi uygulamanın yoğunluğu artırıcı olumlu etkileri olduğu tespit edilmiştir.
3. Farklı üretim yöntemleri kullanılarak üretilen kompozit numunelerin SEM incelemelerinde takviye malzemesinin mikroyapı içerisinde dağılımının farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. Vakum infiltrasyon ile üretilen numunelerde takviye malzemesi homojen bir dağılım gösterirken döküm numunelerde heterojen bir dağılım şeklinde yerleşmiştir.
4. İnfiltrasyon ile üretilen kompozitlerde takviye Al_4C_3 'ün oksitlenme eğilimi yüksek iken döküm numunelerde bu oranın çok daha düşük olduğu tespit edilmiştir.
5. Döküm ile kompozit üretiminde Al_4C_3 takviyesinin mekanik özelliklere olumlu etkileri olduğu tespit edilmiştir.

6. Aynı takviye oranına sahip kompozitlerde, döküm ile üretilen kompozitlerin sertlik değerleri ile vakum infiltrasyon ile üretilen kompozitlerin sertlik değerlerinin farklı olduğu tespit edilmiştir.
7. Sertlik ölçümleri ile takviye edilen Al_4C_3 'ün sertliği artırıcı etki yaptığı tespit edilmiştir.
8. Üretilen kompozitin iyi bir sünekliğe sahip olması nedeni ile döküm ile üretilen kompozit numunelerin çekme uzama değerleri yüksek olmuştur.
9. Al_4C_3 katı partikülünün topaklanma eğilimli ve ıslatabilirliğinin düşük olması takviye malzemesi olarak kullanılması daha zordur.

Bu konu ile ilgili bundan sonraki çalışmalarda şunlar yapılabilir:

1. Al_4C_3 'ün vakum infiltrasyon yöntemi ile kompozit üretmek için uygun olmadığı düşünüldüğünden Al_4C_3 takviyesi yerine farklı takviye malzemeleri kullanılarak düşük takviye oranlarında kompozit üretilir.
2. Farklı kompozit üretim yöntemleri kullanılarak Al_4C_3 takviyeli kompozit malzemeler üretilir.
3. Al_4C_3 'ün malzemenin mekanik özelliklerine olan olumlu etkileri düşünülürse, üretim esnasında karşılaşılan topaklanma problemini engelleyici tedbirler alınabilir.

KAYNAKLAR

1. Acun, S., “SiC Partikül Takviyeli Alüminyum Alaşım Matrisli Kompozit Malzemelerde Yaşlandırma İşleminin Mekanik Özelliklere Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 1-21, 27, 118, (2007).
2. Aksöz, S., “Al₄C₃ Fazının Karbon Ve AA2014 Tozlarından Katı Faz Reaksiyon Tekniği İle Oluşturulması Ve Yaşlanmaya Etkisi, Yüksek Lisans Tezi”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-43-44, (2009).
3. Özçelik, Ö., “In-Situ Alümina Partikül Takviyeli Alüminyum Matrisli Kompozitlerin Üretim Ve Karakterizasyonu.”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 1-4, (2007).
4. Şahin, Y., “Kompozit Malzemelere Giriş”, *Gazi Kitabevi*, Ankara, 91-134 (2000).
5. Buhmaster, C. L., Clark, D. E. And Smart, U., “Spray Casting Aluminum and Al/SiC Composites”, *J. Of Metals*, 44 (1988).
6. Sarıtaş, S. “Engineering Metallurgy And Materials”, *Ankara*, 5-30 (1995).
7. Çalın, R., “Magnezya Parçacık Takviyeli Al Matrisli Kompozitin Vakum İnfiltrasyon Yöntemi İle Üretilmesi Ve Özelliklerinin İncelenmesi.”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 2-7, 105, 107, (2006).
8. Gül , F., “Seramik parçacık takviyeli kompozitlerin üretim yöntemleri ve özellikleri”, *M.Ü. Fen Bil. Dergisi*, 15: 101-114 (1999).
9. Wannasin, J., Flemings M. C., “Fabrication of metal matrix composites by a high-pressure centrifugal infiltration process”, *J. Of Materials Processing Technology*, Elsevier, 169: 143-149 (2005).
10. LAI, S. W., and CHUNG, D. D. L., “Fabrication of particulate aluminium-matrix composites by liquid metal infiltration.”, *Journal of Materials Science*, Chapman & Hall, 3128, (1994).
11. Kurşun, T., “Alüminyum Esaslı Sic Takviyeli Metal Matrisli Kompozitlerin Birleştirilmesinde Al₄C₃ Oluşumunun Önlenmesi ve Sinerjik Kontrollü Darbeli Mıg (Gmaw-P) Kaynak Yöntemi”, *Teknik-Online Dergi*, 10 (1): 86-98 (2011)
12. Kök, M., “Al₂O₃ Partikül Takviyeli 2024 Alüminyum Metal Matrisli Kompozitlerin Üretimi”, *Fen ve Mühendislik Dergisi*, 4 (2131): 142.(2001).

13. Özçatalbaş, Y., Arık, H., “Mekanik alaşımlama yöntemi ile üretilen Al-Al₄C₃ kompozit malzemenin işlenmesinde talaş oluşumu”, 3rd International Powder Metallurgy Conference September 4-8, *Turkish Powder Metallurgy Association Gazi University*, Ankara, TURKEY, pp. 827–834, (2002).
14. Toptan, F., “Alüminyum Matrisli B4c Takviyeli Kompozitlerin Döküm Yöntemi İle Üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2006).
15. Ögel, B., "Kompozit Malzemelerde Son Gelişmeler ve İleriye Dönük Beklentiler", *9. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi*, 11–15, İstanbul, 639–649, (1997)
16. Kreider, K. G., “In Composite Materials”, Ed by K. G. Kreider, *Academic Pres*, 4 : 1 (1974).
17. Lilholt, H., “Mechanical behavior of composites”, *Advance in Composites Materials*, 209 (1978).
18. Froyen, L., Verlinden, B., “ Aluminium Matrix Composites Materials”, TALAT Lecture 1402, *European Aluminium Association*, (1994).
19. Cole, G. S., Sherman, A.M., “Lightweight Materials for Automotive Applications”, *Materials Charecterisation*, 35: 3-9 (1995).
20. Bostan, B., “Alüminyum-Karbon Tozlarının Mekanik Alaşımlama ve Sonrası İşlemlerle Al₄C₃ Sentezlenmesi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-35 (2003).
21. Hull, D., “An Introducti on to Composite Materials”, *Cambridge University Pres*, 71-79 (1992).
22. Surappa, M.K., “Aluminum Matrix Composites: Challenges and Opportunities”, *Sadhana, vol.28, Parts 1 & 2*, pp.319-334., (2003).
23. Jangg, G., Kutner, F., and Korb, G., “Dispersion hardening of aluminum with Al₄C₃”, *International Powder Metallurgy*, 9(1):24-26, (1997).
24. R.J. Arsenault and S.B Wu, “A comparison of PM vs. melted SiC/Al Composites”, *Scripta Metallurgica*, 22:767-772, (1998).
25. Alpas, A. T. And Zhang, J., “Wetting of ceramic particulates with liquid Aluminum alloys; part 1, Experimental Techniques”, *Met. Trans.*, 20 (A): 527 (1989).
26. Krader, G.,Ed., “Metal Matrix Composite”, *AcademicPres*, 4: 58-90 (1974).

27. Xi e, X., Xi ang, F. T., Zhang, D., Wu, R., “Increasing the mechanical properties of high damping woodceramics by infiltration with a magnesium alloy”, *Composites Science and Technology*, 62 : 1341-1346 (2002).
28. Rogers, K. A., Kumar, P., Cıtak, R. and Sandhage, K. H., “The displacive compensation of porosity (DCP) method for fabricating dense oxidemetal composites ad modest temperatures with small dimensional changes, Innovative Processing/Synthesis: Ceramics, Glasses”, *Composites II. Ceram. Trans.*, The American Ceramic Society, Westerville, OH, 94 : 140-152, (1988).
29. Rogers, K. A., Cıtak, R., Kumar, P. and Sandhage, K. H., “Syntheses of alkaline earth aluminate/zirconia composites from metal-bearing precursors”, *22. Annual Cocoa Beach Conference and Exposition, also Published in Ceramic Engineering and Science Proceedings*, Cocoa Beach, Fla. USA., 20-24 (1988).
30. Akbulut, H., Alümina Fiber Takviyeli Metal Matrisli Kompozitlerin Üretimi ve Mikroyapı-Özellik ilişkilerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü* (yayımlanmamış), (1994).
31. Bostan, B., “Mekanik Alaşımama Ve Ekstrüzyon Sonrası Al4c3 Oluşumunun İncelenmesi”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 23(2), 343-348, (2008).
32. Çıtak, R., “Metalik Baryum Alüminyum Başlangıç Tozlarının Düşük Sıcaklıkta Oksidasyonu ile Alüminyum Matrisli Kompozit Üretimi”, Doktora Tezi . *G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 26-39, (1998).
33. Türker,, M., vd., “Al-SiC Tozların Mekanik Alaşımama Değirmeninde öğütme Zamanının Kompozit Toz Yapısına Etkisinin Araştırılması”, *Uluslararası Katılımlı 2. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı*, 15-17 Eylül, ODTÜ, Ankara, 425-429 (1999).
34. Arık, H., Türker, M. ve Sarıtaş, S., “Mekanik Alaşımama İle Alüminyum Matrisli Alüminyum Karbür (Al4C3) Kompozit Malzeme Üretimi”, *Uluslararası Katılımlı 2. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı*, 15-17 Eylül , ODTÜ, Ankara, 433-440 (1999).
35. Arık, H., “Production and characterization of in-situ Al4C3 reinforced aluminum-based composite produced by mechanical alloying technique”, *Materials Design*, 25 : 31-40 (2003).

36. Hiçyılmaz, N., Aydın, Ş. Ve Sarıtaş, S., “Toz metalurjisi ile üretilmiş alüminyum esaslı tanecikli kompozitlerin mekanik özellikleri”, *Uluslararası Katılımlı 2. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı*, 15-17 Eylül , ODTÜ, Ankara, 621-629, (1999).
37. Kerti, I.Ç., Gaz Enjeksiyon ve Elementel Karbon İlavesi Yöntemleri ile TiC Takviyeli Alüminyum Matrisli Kompozit Üretimi, Doktora Tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü* (yayımlanmamış), (1998).
38. Lloyd, D.J. ve Jin, I., “Melt Processed Aluminum Matrix Particle Reinforced Composites”, *Comprehensive Composite Materials, Metal Matrix Composites*, *Elsevier*, New York,3: 555-575, (2000).
39. Contreras, A., Lopez, V. H. And Bedolla, E., “Mg/TiC composites manufactured by pressureless melt infiltration”, *Scripta Materialia*, 51 : 249-253 (2004).
40. İnternet: TTMD – Türk Toz Metalurjisi Derneği Online Yayını “Toz Metalurjisi”, Türk Toz Metalurjisi Derneği, Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, www.turktoz.gazi.edu.tr, Ankara, (2003).
41. Rodrigez-Reyes, M., Pech-Canul, M. I., Parras- Medecigo, E. E., Gorokhovskiy, A., “Effect of Mg loss the kinetics of pressureless infiltration in the processing Al-Si-Mg/SiCp composites”, *Materials Letters* 57 : 2081-2089 (2003).
42. Delennay, F., Froyen, L., Deruyttere, A., “Review the wetting of solids by molten metals and its relation to the preparation of the metal-matrix composites”, *J. Of Mat. Sci.*, 22 : 1-16 (1987).
43. Michaud, V., Mortensen, A., “Infiltration processing of fibre reinforced composites governing phenomena”, *Composites Part, A* 32 : 981-996 (2001).
44. Cornie, J. A., et al., “Solidification processing of metal matrix composites”, *Ceramic Bulletin The American Ceramic Society*, 65: 293-303 (1986).
45. Ma, Q. S., Chen, Z. H., Zheng, W., Hu, H., “Processing and characterization of particles Si-O-C composites via pyrolysis of polysiloxane SiC or/and Al fillers”, *Ceramics International*, Elsevier, 31 (8): 1045-1051 (2005).
46. Mortensen, A. And Cornie, J. A., “On the infiltration of metal-matrix composites”, *Met. Trans.*, 18 (A): 1160-1163 (1987).

47. Oh, S. Y., Cornie, J. A. And Russel, C., “Wetting of ceramic particulates with liquid aluminum alloys: part I. experimental techniques”, *Met. Trans.*, V 20 (A): 519-527 (1989).
48. Demir, A., Altinkok, N., “Effect of gas pressure infiltration on microstructure and bending strength of porous Al₂O₃/SiC-reinforced aluminium matrix composites”, *Composites Science and Technology*, 64 : 2067-2074 (2004).
49. Thakur, S. K., and Dhindaw, B. K., “The influence of interfacial characteristics between SiCp and Mg/Al metal matrix on wear coefficient of friction and microhardness”, *Wear*, 247: 191-201 (2000).
50. Asthana, R., and Rohatgi, P. K., “Solidification synthesis of pressure-infiltrated Al alloy 2104-SiC platelet composites”, *Mat. Sci. and Eng.*, A, 144 : 169-178 (1991).
51. Acılar, M., “Al/SiC kompozitlerin vakum infiltrasyon yöntemi ile üretimi ve aşınma davranışlarının araştırılması”, *Doktora Tezi, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 95-121 (2002).
52. Elwahed, M., Asar, M., “Fabrication of matrix composite by infiltration process-part 2 Experimental study”, *J. Of Mat. Proc. Tech.*, 86 : 152-158 (1999).
53. Clyne, T. W., Withers, P. J., “An Introduction to Composite Materials”, *Cambridge University Press*, 319-351 (1993).
54. Houghton, M.E., Murray, M.T., “An Introduction to Zinc Alloys” , *Metals Forum*, 6(4): 211-225 (1984).
55. Lee, K. B., Lee, K. W., Heo, S. W., Kwon, H., “The effect of infiltration temperature and time on Al-Mg/SiC/sub p/ composites fabricated by pressureless infiltration method”, *J of Korean Institute of Metals and Materials*, 36(2): 242-248 (1998).
56. Kevorkijan, V. M., “The reactive infiltration of porous ceramic media by a molten aluminium alloy”, *Composites Science and Technology*, 59 : 683-686 (1999).
57. Gürhan, C., Ögel, B., Bor, Ş., “Bakır esaslı şekil bellekli alaşımların saf tozlardan sıcak preslenerek üretilmesi”, *10. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi Bildiriler Kitabı Cilt III*, 24-28 Mayıs İstanbul, 1721-1724 (2000).

58. Şimşir, M., Güngör, Ö., Ögel, B., “Al-Cu ve Al-Cu-Mg toz karışımlarının azot atmosferi altında sıcak presleme çalışmaları”, **10. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi Bildiriler Kitabı Cilt III**, 24-28 Mayıs, İstanbul, 1781-1788 (2000).
59. Elomari, S., et al., “Thermal Expansion Behavior of Particulate Metal-Matrix Composites”, **Composites Science and Technology**, 58: 369-376 (1997).
60. Ducret, D., et al., “Characterization of anisotropic elastic constant of continuous alumina fibre reinforced aluminium matrix composite processed by medium pressure infiltration”, **Composites Part A** 31 : 45-55 (2000).
61. Wannasin, J., Flemings, M. C., “Fabrication of metal matrix composites by a high-pressure centrifugal infiltration process”, **J. Of Materials Processing Technology**, Elsevier, 169: 143-149 (2005).
62. Parras- Medecigo, E., M., Pech-Canul, M. I., Rodrigez-Reyes, Gorokhovskiy, A., “Effect of processing parameters on the production of blayer-graded Al//SiCp composites by pressureless infiltration”, **Materials Letters**, 56 : 460-464 (2002).
63. Contreras, A., Lopez, V. H. And Bedolla, E., “Mg/TiC composites manufactured by presureless melt infiltration”, **Scripta Materialia**, 51 : 249-253 (2004).
64. Arslan, G., Kara, F., Turan, S., “Quantitative phase analysis B4C-Al composites and their effect on infiltration”, **10. Uluslar arası Metalurji ve Malzeme Kongresi**, Bildiriler Kitabı Cilt III, 24-28 Mayıs, İstanbul, 1847-1851, (2000).
65. Acılar, M., Gül, F., “Abrasive wear behaviour of Al-10Si/30-55 vol% SiCp cimposites produced by vacuum infiltration technique”, **Materials and Design**, 20 : 1-10 (2004).
66. Çalın, R., “Magnezya parçacık takviyeli al matrisli kompozitin vakum infiltrasyon yöntemi ile üretilmesi ve özelliklerinin incelenmesi”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 35-39 (2006).
67. Bronfenbrener, I., Moisa, S., Frage, N., Dariel, M.P., “Abrasive wear resistance of ceramic-metal composites manufactured by infiltration of unsintered ceramic compacts with molten pure magnesium or magnesium-alloys”, **Third International Conference on Powder Metallurgy**, 7-9 July, Romania, 313-317 (2005).

68. Candan, E., Atkinson, H. V. and Jones, H., “Effect of ceramic particle size, and applied pressure on time to complete infiltration of liquid aluminium into SiC powder compacts”, *Mat. Sci and Eng.*, 35 : 4955-4960 (2000).
69. Mortensen, A. And Cornie, J. A., “On the infiltration of metal-matrix composites”, *Met. Trans.*, 18 (A): 1160-1163 (1987).
70. Oh, S. Y., Cornie, J. A. And Russel, C., “Wetting of ceramic particulates with liquid aluminum alloys: part I.I Study of wettability”, *Met. Trans.*, 20 (A): 533 (1989).
71. Onaran, K., Malzeme Bilimi, **Bilim Teknik Yayınevi**, İstanbul. (1999)
72. Askeland, D.R., “Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri”, *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara, 364, (1998).
73. Savaşkan, T., Malzeme Bilgisi ve Muayenesi, 4.Baskı, Celepler Matbaacılık-Trabzon, *Tabzon*, 130-160, (2007).
74. Ashby, M.F.and Jones, D.R.H *Engineering Materials 2*, Pergamon, **Great Britain**, 369, (1994).
75. German, Randall M., “Toz Metalurjisi ve Parçacıklı Malzeme İşlemleri”, 05, Prof.Dr. Süleyman SARITAŞ, Prof.Dr. Mehmet TÜRKER, Doç.Dr. Nuri DURLU, *Türk Toz Metalurjisi Derneği Yayınları*, Ankara, (2007).
76. Kurşuncu, B. SiC Partikül Takviyeli Al-Si Esaslı Metal Matrisli Kompozit Malzeme Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi*, İstanbul, (1999)
77. Michaud, V.J., (1993), “Liquid-State Processing”, Fundamentals of Metal Matrix Composites, (ed. Suresh, S., Mortensen, A. ve Needleman, A.), *Butterworth-Heineman*, Boston. (1993).
78. Chawla, K.K., Esmaili, A.H., Datye, A.K. ve Vasudevan, A.K., “Effect of Homogenous/Heterogenous Precipitation on Aging Behavior of SiCp/Al2014 Composite”, *Scripta Metallurgica et Materialia*, 25:1315-1319, (1991).
79. Suresh, S. ve Chawla, K.K., “Aging Characteristics of Reinforced Metals”, Fundamentals of Metal Matrix Composites, (ed. Suresh, S., Mortensen, A. ve Needleman, A.), *Butterworth-Heineman*, Boston, (1993).
80. Altunok, Z., Bostan, B., Çalın, R. ve Aksöz, S., “The Effect Of Al₄C₃ Solid Particules To Mechanical Properties Consolidated By Infiltration Methods Into 2014 Alloy”, *16th International Metallurgy & Materials Congress*, 13-15 September, İstanbul, (2012)

81. Tsangarakis, N., Andrews, B. O. And Carallaro, C., *J. of Composites Materials*,V 21 : 481 (1987).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : ALTUNOK, Zemzem
Doğum tarihi ve yeri : 06.11.1987 / SORGUN
Medeni hali : Bekar
Nüfusa kayıtlı olduğu yer : YOZGAT
Uyruğu : T.C.
e-mail : zaltunok@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Gazi Üni. (Döküm Öğretmenliği)	2009
Lise	Şevket Raşit Hatipoğlu Lisesi	2004

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2009-2012	Gazi Üniversitesi/Atatürk M.Y.O.	Öğretim Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

