BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AKIMSIZ Ni-B KAPLI CAM ELYAF TAKVİYESİ İLE ALÜMİNYUM MATRİKSLİ KOMPOZİT ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmet YILMAZ

İleri Teknolojiler Anabilim Dalı

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Programı

OCAK 2021

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AKIMSIZ Ni-B KAPLI CAM ELYAF TAKVİYESİ İLE ALÜMİNYUM MATRİKSLİ KOMPOZİT ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmet YILMAZ
(181212874007)
ORCID: 0000-0003-1346-7702

İleri Teknolojiler Anabilim Dalı

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Muhammet ULUDAĞ
ORCID: 0000-0001-9150-3292
Eş Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mustafa KOCABAŞ
ORCID: 0000-0003-2179-5183

OCAK 2021

BTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 181212874007 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Ahmet YILMAZ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "AKIMSIZ Ni-B KAPLI CAM ELYAF TAKVİYESİ İLE ALÜMİNYUM MATRİKSLİ KOMPOZİT ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Dr. Öğr. Üyesi Muhammet ULUDAĞ**
Bursa Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Cem KAHRUMAN**
Bursa Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Derya DIŞPINAR
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **30/12/2020**
Savunma Tarihi : **20/01/2021**

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, Bursa Teknik Üniversitesi'nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Bu tez, Bursa Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin 190Y021 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

İNTİHAL BEYANI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belgelediğimi, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Ahmet YILMAZ

İmzası: 

Anneme, Eşime ve çocuklarıma,

Bu süreçte yüksek lisans yapmama başından beri teşvik edip destek olan ve her seferinde motive eden en değerlilerime…

ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans tezi ile birlikte çeliğin alternatifi olmaya başlayan alüminyum matriksli takviye elamanlı malzemelerin üretilebilirliği ve takviye elamanının kaplanması ile oluşan etkiler incelenmiş, Türkiye'deki bor madeninin kaplamada kullanılabilirliği ve üretilebilirliği değerlendirilmiştir. Bilgi birikiminden fazlasıyla faydalandığım ve desteğini esirgemeyen, bilgi ve becerisi ile yönlendiren, önce insan diyerek öğrencilerine maddi ve manevi destek olduğuna şahit olduğum değerli danışman hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Muhammet ULUDAĞ'a şükranlarımı sunarım. Ayrıca tecrübe ve bilgisini ortaya koyan ve esirgemeyen, bilgi birikimi ile her zaman destek olan ve Konya Teknik Üniversitesi'nin imkanlarını kullanmamda destek olan değerli eş danışman hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Mustafa KOCABAŞ ve ekibinden Arş. Gör. Aleyna BAYATLI'ya teşekkürlerimi sunarım. Üniversite imkanlarının kullanımında kolaylık sağlayan ve desteğini esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Deniz UZUNSOY'a teşekkürlerimi sunarım. Cihazların kullanımı açısından desteğini esirgemeyen ANGST&PFISTER A.Ş., DÖKTAŞ A.Ş, ALCAST A.Ş., UZMAN KATAFOREZ ve hammadde temininde yardımcı olan PROMETAL firmalarına teşekkürlerimi sunarım.

Ocak 2021

Ahmet YILMAZ
(Makine Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **…vi**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
KISALTMALAR ..... **ix**
SEMBOLLER ..... **x**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xiii**
ÖZET ..... **...xvii**
SUMMARY ..... **xviii**
1. GİRİŞ … **1**
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI **2**
2.1 Al ve Alaşımlarının Genel Özellikleri 2
2.1.1 Alüminyum döküm alaşımları 5
2.1.2 Al-Si-Cu alaşımları 7
2.1.3 Döküm hataları ve bifilm teorisi 8
2.1.4 Döküm hatalarını azaltma yöntemleri 10
2.1.4.1. Yüksek kalitede ergiyik oluşturma 10
2.1.4.2. Türbülans olmayacak şekilde döküm yapmak 12
2.1.4.3. Yüzey filminin sıvı metalin üzerinde katmanlı sürüklenmesinden kaçınmak 14
2.1.4.4. Hava kabarcığı (baloncuk) oluşumundan kaçınmak 16
2.1.4.5. Maça gözeneğinden kaçınmak 18
2.1.4.6. Büzülme hatalarından kaçınmak 20
2.1.4.7. Isı yayınım hasarlarından kaçınmak 22
2.1.4.8. İşleme ya da operasyonlar için önceden temas noktaları, lokasyonları oluşturulması 24
2.2 Metal Matriksli Kompozitlerin Özellikleri 25
2.2.1 Metal matriksli kompozitler 25
2.2.2 Cam elyafın teknik özellikleri 26
2.2.3 Cam elyafta yüzey işlem ve kaplama 29
2.2.4 Al matriksli kompozitler 30
2.2.5 Alüminyum matriksli kompozitlerde katı üretim yöntemi 33
2.2.6 Alüminyum matriksli kompozitlerde sıvı üretim yöntemi 34
2.2.6.1. karıştırma döküm 34
2.2.6.2. İnfiltrasyon yöntemi 34
2.2.6.3. Püskürtme yöntemi 35
2.2.7 Seramik katkı fazını Al-MAK'ların davranışları üzerine etkisi 35
2.2.8 Al-MAK'ların katılaşması 35
2.2.9 Seramik fazın al alaşımının yaşlanma sertleşmesi davranışına etkisi 36
2.2.10 Artık ısıl stresler 37
2.2.11 Katkı fazının dış yapıya etkileri 37

2.2.12 Al-MAK'ların endüstriyel uygulamaları 38
2.2.13 Parçacık katkılı Al-MAK'lar 38
2.2.14 Whisker ve kısa elyaf katkılı alüminyum matrisli kompozitler 39
2.2.15 Sürekli elyaf katkılı alüminyum matrisli kompozitler 40
2.3 Elyaf takviyeli MMK lar 40
2.4 Elyaf takviyeli Al-MMK ların özellikleri 41
3. DENEYSEL ÇALIŞMA 44
3.1 Ön Çalışma 44
3.2 Ana Çalışma 46
3.2.1 Deneysel çalışmada kullanılan malzemeler ve cihazlar 47
3.2.1.1 Kaplama işleminde kullanılan malzemeler ve cihazlar 47
3.2.1.2 Döküm işleminde kullanılan malzemeler ve cihazlar 48
3.2.1.3 Isıl işlem için kullanılan cihazlar 49
3.2.1.4 Karakterizasyon için kullanılan cihazlar 50
3.2.1.5 Numune hazırlamada kullanılan cihazlar 52
3.2.1.6 Çekme cihazı 53
3.2.1.7 Çentik darbe cihazı 54
3.2.1.8 Korozyon cihazı 55
3.2.1.9 Bilgisayarlı tomografi (CT) inceleme cihazı 55
3.2.2 Çalışmanın ve testlerin yapılışı 56
3.2.2.1 Kaplama işlemi 56
3.2.2.2 Döküm işlemi 58
3.2.2.3 Isıl işlem 60
3.2.2.4 Mikroyapı analizi 61
3.2.2.5 SEM analizi 62
3.2.2.6 Yoğunluk indeksi analizi 62
3.2.2.7 Çekme testlerinin yapılışı 63
3.2.2.8 Çentik darbe testlerinin yapılışı 63
3.2.2.9 Korozyon testlerinin yapılışı 64
3.2.2.10 Bilgisayarlı tomografi (CT) analizleri işlemleri 65
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 67
4.1 Ön Çalışma Sonuçları 67
4.2 Deneysel Çalışmadan Elde Edilen Sonuçlar 69
4.2.1 Cam elyafın Ni-B kaplamasına ait sonuçlar 69
4.2.2 Mikroyapı analizleri 70
4.2.3 Azaltılmış basınç testi (RPT) sonuçları 75
4.2.4 Çekme testi ve çentik darbe testi sonuçları 78
4.2.5 Korozyon test sonuçları 86
4.2.6 Bilgisayarlı tomografi inceleme sonuçları 87
5. SONUÇ VE ÖNERİLER 92
5.1 Sonuçlar 92
5.2 Öneriler 94
KAYNAKLAR 96
ÖZGEÇMİŞ 103

KISALTMALAR

Al-MAK : Alüminyum metal alaşımlı kompozit
C-T : Bilgisayarlı tomografi
DSC : Diferansiyel Taramalı Kalorimetre
EDS : Enerji Dağılımlı Spektroskopi
HIP : Sıcak isostatik preslenmiş
HV : Vikers Sertliği
MA : Mekanik Alaşımlama
MERLAB : Merkezi Laboratuvar
MMK : Metal Matriksli Kompozitler
MMMK : Metal Matriksli Mikro Kompozitler
MMNK : Metal Matriksli Nano Kompozitler
OCP : Açık Devre Potansiyeli
PDP : Potansiyodinamik Polarizasyon
PY : Püskürtme yöntemi
PM : Toz metalurji
RPT : Azaltılmış Basınç Testi
SDAS : İkincil Dendrit Kolları Arası Mesafe
SEM : Taramalı Elektron Mikroskobu
TM : Toz Metalürjisi
XRD : X-Işınları Difraktometresi
X-RAY : X ışını

SEMBOLLER

%A : En Yüksek Çekme Miktarındaki Uzama Değeri
°C : Derece, santigrat
°F : Derece, fahrenayt
AA6061 : 6061 Alüminyum alaşımı
ABD : Amerika Birleşik Devletleri
Al2O3 : Alümina
B : Bor
B4C : Bor karbür
C : Karbon
CaSO4 : Kalsiyum sülfat
CBN : Kübik Bor nitrür
Co : Kobalt
CO2 : Karbondioksit
Cr : Krom
Cu : Bakır
E : Elastisite modülü
ed : Eşkenar dörtgen
Ekor : Korozyon potansiyeli
ey : Diamond (elmas yapı)
Fe : Demir
Fe3O4 : Manyetit
GPa : Gigapascal
H2SO4 : Sülfürik asit
hmk : Hacim merkezli kübik
HNO3 : Nitrik asit
hspy : Hegzagonal sıkı paket yapı
Ikor : Korozyon akım değeri
ikor : Korozyon akım yoğunluğu
K : Malzeme katsayısı
kp : Kare prizma

MA : Mekanik alaşımlama
Mg : Magnezyum
MgO : Magnezyum oksit
Mo : Molibden
MPa : Megapaskal
n : Deformasyon sertleşmesi üssü
NaSiO2 : Sodyum silikat
Nb : Niyobyum
Ni : Nikel
Pb : Kurşun
Si : Silisyum
SiC : Silisyum karbür
SiO2 : Silisyum dioksit
Sn : Kalay
t : Zaman
T4 : Çözeltili ısıl işlem ve tabi yaşlandırma
T6 : Yüksek sıcaklıktaki şekillendirmede soğutma ve suni yaşlandırma
T6 : Çözeltili ısıl işlem ve suni yaşlandırma
Ti : Titanyum
TiC : Titanyum karbür
TiO2 : Titanyum dioksit
TM : Toz metalurjisi
ymk : Yüzey merkezli kübik
ymkp : Yüzey merkezli kare prizma
α1 : Isı genleşme katsayısı
ε : Deformasyon hızı
ε1 : En büyük birim şekil değiştirme
ε2 : En küçük birim şekil değiştirme
εg : Gerçek plastik birim şekil değiştirme
µm : Mikrometre
ν : Poisson oranı
ρ : Yoğunluk
σg : Gerçek gerilme
ω : Test sonrası genişlik
ω0 : Test öncesi genişlik

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Çoğunlukla kullanılan metaller. **4**
Çizelge 2.2 : Farklı metallerin çekinme davranışları [23]. **21**
Çizelge 2.3 : Başlıca elyaf cinslerinin kompozisyonları (% olarak) [54]. **28**
Çizelge 2.4 : Başlıca elyaf cinslerinin mekanik özellikleri [53]. **28**
Çizelge 2.5 : E tipi cam elyafa kıyasla çeşitli malzemelerin termal iletkenlik katsayıları. **28**
Çizelge 2.6 : Çeşitli elyaf ve alaşımların yoğunlukları. **29**
Çizelge 2.7 : Al-MMK ve Al-MNK örnekleri içindeki Al_2O_3 takviye parçacıkları ağırlık oranları ve parçacık ölçüleri [79]. **41**
Çizelge 2.8 : 2014 alüminyum alaşımı ile MMK malzemelerin takviye ağırlık oranları ve BS ye göre sertlik değerleri [41]. **42**
Çizelge 2.9 : MMK lardaki matriks metal, sürekli fiber, kısa fiber, whisker ve partikül takviyeli MMK malzeme sistemleri ve mekanik özellikleri. **43**
Çizelge 3.1 : A380 (EN AC 46000) alaşımının spektral analizi. **46**
Çizelge 3.2 : E-tip cam elyaf özellik ve kimyasal kompozisyonu. **46**
Çizelge 3.3 : A380 (EN AC 46000) alaşımına Ni-B kaplı cam elyaf karışım parametreleri. **59**
Çizelge 4.1 : RPT lere ait bifilm tablosu. **78**
Çizelge 4.2 : Deneysel çalışmadan elde edilen çekme testi sonuçlarının literatür ile karşılaştırılması. **84**
Çizelge 4.2 (devam): Deneysel çalışmadan elde edilen çekme testi sonuçlarının literatür ile karşılaştırılması. **85**
Çizelge 4.3 : Elektrokimyasal deney verileri. **87**

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Farklı ülkeler tarafından son yıllarda üretilen alümina miktarı (ton) **2**
Şekil 2.2 : Farklı ülkeler tarafından son yıllarda üretilen primer alüminyum miktarı (ton) **3**
Şekil 2.3 : Alüminyum üretim zinciri **3**
Şekil 2.4 : Alüminyum kullanım alanlarına göre oranlar **5**
Şekil 2.5 : Döküm Al alaşımlarının içerdiği temel alaşım element(ler)ine göre sınıflandırılması. **6**
Şekil 2.6 : Faz diyagramı (Al-Cu-Si); a) likidus projeksiyonu, b) katı halde fazların dağılımı **7**
Şekil 2.7 : Çift katlı oksit film kusuru girişi: (1) yüzey türbülansı ile bir kırılma dalgası oluşur, (2) oksit tabakalarının iki istenmeyen tarafı birbirine temas eder ve (3) çift oksit film, dökme sıvının içinde gizli bir çatlak gibi yerleşir **9**
Şekil 2.8 : Döküm esnasında türbülans oluşumu **9**
Şekil 2.9 : Kalıp tasarımı, a) Basamaksız (kesinlikle tavsiye edilmeyen), b) Keskin basamaklı (tavsiye edilmeyen), c) Yuvarlaklaştırılmış basamaklı (tavsiye edilen) **10**
Şekil 2.10 : Gaz giderme işleminin şematik gösterimi **11**
Şekil 2.11 : Farklı filtre çeşitleri; a) filtre iç yapısı, b) 2 boyutlu ağ filtre, c) 3 boyutlu seramik filtre **12**
Şekil 2.12 : (a) Kötü üstten giriş ve yandan besleme yolluk sistemi, karşılaştırma (b) daha tatmin edici alttan girişli ve üstten beslemeli sistem (c) bağlantıdaki kötü sistem ve (d) tavsiye edilen ekonomik ve etkili sistem **13**
Şekil 2.13 : Kalıba giren sıvı metal; a) düşük hız, b) kritik hız, c) yüksek hız **13**
Şekil 2.14 : Türbülans oluşumu, a) Basınç oluşumu, b) Basınçsız **14**
Şekil 2.15 : Bir film oluşturucu alaşımda oksit film ve sıvı metal ara yüzeyinin dengesiz ilerlemesi **15**
Şekil 2.16 : Dikdörtgen kutu döküm tipinde doldurma, yatay doldurmayı temsil eder. **15**
Şekil 2.17 : Dökümde şelale akışı etkisi **16**
Şekil 2.18 : Dökümde tereddüt ve akışın geriye dönmesiyle oluşan yüzey görünümü **16**
Şekil 2.19 : (a) Bir dökümde kabarcık hasarı; (b) radyografide görünmeyen yollar genellikle enine kesitlerde görülebilir; (c) küçük sürüklenmiş hava kabarcıkları, atmosfere karışmak için çift oksit bariyerini kırabilmeye yeterli kaldırma gücüne sahip değildir **17**
Şekil 2.20 : (a) maça gözeneği kusuru - biraz katılaşmadan sonra çekirdek gazları ihtiva eden sıkışmış bir baloncuk; (b) herhangi bir katılaşmadan önce çekirdek gözeneğinden oldukça fazla gaz tarafından üretilen dökülmüş cüruf kusuru ... **18**

Şekil 2.21 : Kapalı sürüklenme ile düz bir plakanı dökümü. Uçan gazlar kalıbın sonuna doğru sürüklenir ve kalıp sonuna doğru yoğunlaşarak döküm kusuru oluşturur **19**
Şekil 2.22 : Kötü, iyi ve en iyi maça havalandırma yöntemleri **20**
Şekil 2.23 : Üç büzülme düzeninin şematik gösterimi: sıvı halde, katılaşma sırasında ve katı halde **21**
Şekil 2.24 : Sadece sağ tarafın soğutulduğu 2-D kutuda katılaşma. (a) ısıl yayılım olmayan durumunda düzlemsel cephe; (b) ısıl yayınımdan kaynaklanan bozulma **23**
Şekil 2.25 : Isıl işlem yapılan Al alaşımının gerilim / uzama eğrisinin gelişimi (a) su vermeden sonra; (b) yaşlanma işleminden sonra yüzde 0,1 kalıcı uzama ikiye katlanır; ve (c) nihai gerilim / uzama eğrisi su verilmiş özelliklerden daha az etkili özellikleri gösterir **24**
Şekil 2.26 : a) Al-%30SiC *750 b) Kısa fiber morfolojisi c) AA6061-%50Al_2O_3 fiber takviyeli kompozit numunenin optik mikroskoptaki üç boyutlu şematik görünüşü **33**
Şekil 2.27 : Al-4.5Cu-alümine fiber kompozitin fiberler arası bölgede mikroyapı oluşumu. birincil faz morfolojisi ve ikinci fazın dağılımı fiberler arası mesafeye bağlıdır. mikroyapılar grafik olarak üç durum da gösterilmektedir **36**
Şekil 2.28 : Al-MAK disk ile fren pabucu arasında oluşan tribolojik yağlama çifti, fren pabucuna karşılık takviyesiz Al alaşımı **38**
Şekil 2.29 : Al-MAK'lardan mamul otomobil fren elemanları **39**
Şekil 2.30 : Fiber takviyeli Al-MAK silindir gömleği **40**
Şekil 2.31 : Al-B Fiber Takviyeli Al-MAK Destekler **40**
Şekil 2.32 : Nano ölçülerdeki Al_2O_3 takviye parçacıkları SEM görüntüsü **41**
Şekil 2.33 : MMK malzemelerin sertliğinin yüzde ağırlık SiC oranı ile değişim **42**
Şekil 2.34 : Al alaşımlında SiC partikül ve whiskerlerin elastik modülüne ve mukavemete olan etkileri **43**
Şekil 3.1 : Cam elyafın akımsız bakır kaplama işleminin şematik gösterimi **44**
Şekil 3.2 : Cam elyafın akımsız bakır kaplama işlemi sıralaması. **44**
Şekil 3.3 : (a) Ön çalışmada kullanılan kum çekme kalıbına ait ölçüler, (b) RPT kum kalıbına ait ölçüler. **46**
Şekil 3.4 : Ultrasonik banyo. **47**
Şekil 3.5 : Isıtıcılı manyetik karıştırcı (HSD 180). **47**
Şekil 3.6 : a) Elektrikli direnç ocağı, (b) A50 ölçüsünde SiC pota. **48**
Şekil 3.7 : (a) Kokil çekme kalıbına ait resim, (b) RPT kalıba ait resim. **48**
Şekil 3.8 : RPT test cihazı **49**
Şekil 3.9 : Grafif lansa ait resim. **49**
Şekil 3.10 : Çözeltiye alma işleminde kullanılan Protherm marka kül fırın. **50**
Şekil 3.11 : Yaşlandırma ve kalıp ısıtma işleminde kullanılan Binder marka etüv... **50**
Şekil 3.12 : Optik mikroskoplar; a) Nikon marka Clemex görüntü analiz programı ile entegreli çalışan mikroskop, b) parlatma sonrası ilk incelemelerin yapıldığı Huvitz markalı mikroskop. **51**
Şekil 3.13 : Taramalı elektron mikroskopları; a) BTÜ-MERLAB'taki Carl Zeiss / Gemini 300 SEM cihazı, b) Uzman Kataforez'deki Hitachi TM3030 model SEM cihazı **51**
Şekil 3.14 : Ni-B kaplı cam elyafların elementel analizi için kullanılan Bruker AXS/Discovery D8 model X-ray ışınları kırınım cihazı. **52**
Şekil 3.15 : Numune kesiminde kullanılan cihazlar; a) STRUERS marka makro kesme cihazı, b) METKON marka hassas kesme cihazı **52**

Şekil 3.16 : Zımparalama ve parlatma işlemlerinin yapıldığı BTÜ'de bulunan ATM marka otomatik cihaz **53**
Şekil 3.17 : Çekme testi için kullanılan SHIMADZU AG-X plus marka çekme testi cihazı **54**
Şekil 3.18 : Çentik darbe testi için kullanılan Alşa marka ZBC 300J çentik darbe test cihazı. **54**
Şekil 3.19 : Korozyon testi için kullanılan cihaz ve deney düzeneği. **55**
Şekil 3.20 : Döküm içi inceleme X-Ray ve C-T cihazı. **56**
Şekil 3.21 : Cam elyaf üzerine akımsız Ni-B kaplama işleminin şematik gösterimi **56**
Şekil 3.22 : Cam elyaf üzerine akımsız Ni-B kaplama işleminin sıralaması..... **57**
Şekil 3.23 : Farklı parametreler altında gerçekleştirilen dökümlerin şematik gösterimi..... **58**
Şekil 3.24 : (a) Ni-B kaplı cam elyafların el ile kepçede alaşıma karıştırılması, (b) Ni-B kaplı cam elyafları potada karıştırmak üzere kullanılan karıştırıcı. **58**
Şekil 3.25 : Sıvı metale ilave edilen Ni-B kaplı cam elyaf katkılarının karıştırılması. **60**
Şekil 3.26 : RPT X-Ray görüntü alma açıları. **62**
Şekil 3.27 : ISO 6892-1 e göre hazırlanmış çekme test çubuğu ölçüleri. **63**
Şekil 3.28 : ISO 148-1 e göre hazırlanmış çentik darbe test numunesi ölçüleri..... **64**
Şekil 4.1 : Bakır kaplı cam elyaf görüntüsü. **67**
Şekil 4.2 : (a) Ön çalışma sonucu Cu kaplanmış cam elyafın EDS analizi sonucu, (b) Ön çalışma sonucu Cu kaplanmış cam elyafın SEM görüntüsü. **67**
Şekil 4.3 : RPT kalıbına Cu kalplı cam elyaf takviyeli olarak dökülmüş alaşımın bilgisayarlı tomografi görüntüsü. **68**
Şekil 4.4 : Ni-B kaplı cam elyafların enine kesit (a) ve farklı büyütmelerde yüzey SEM görüntüleri (b ve c) **69**
Şekil 4.5 : Ni-B kaplı cam elyafın EDS analizi (a) ve EDS analiz sonucu (b)..... **70**
Şekil 4.6: Ni-B kaplanmış cam elyafın % 0,1 oranında takviyesi ile elde edilmiş D şarjına ait çekme test kalıbının yolluğundan alınmış mikroyapı görüntüleri; (a) 50X büyütme, (b) 100X büyütme, (c) 200X büyütme ve (d) 500X büyütme.... **71**
Şekil 4.7: Ni-B kaplanmış cam elyafların % 0,5 oranında şarj edildiği F dökümüne ait SEM inceleme sonuçları; (a) 500X büyütme, (b) 1000X büyütme ve (c) 3000X büyütme. **71**
Şekil 4.8: Şekil 4.7c'de kırmızı renkte gösterilen % 0,5 cam elyaf takviyesine ait bölgenin EDS analizi sonucu. **72**
Şekil 4.9: Ni-B kaplanmış cam elyafların % 1 oranında takviyesi ile elde edilmiş F şarjına ait RPT döküm numunelerinin farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri; (a) 100X büyütme, (b) 250X büyütme, (c) 1000X büyütme, (d) 2000X büyütme, (e) 2500X büyütme ve (f) 8000X büyütme. **73**
Şekil 4.10 : Ni-B kaplanmış cam elyafın % 1 oranda takviyesi ile dökülmüş F şarjının RPT döküm numunesinden elde edilmiş ve Şekil 4.9e'de verilen bölgenin EDS haritalama sonucu; (a) EDS haritalama yapılan bölgenin görüntüsü, (b) B elementinin EDS haritalandırması, (c) O elementinin EDS haritalandırması, (d) Ni elementinin EDS haritalandırması, (e) Cu elementinin EDS haritalandırması, (f) Al elementinin EDS haritalandırması ve (g) Si elementinin EDS haritalandırması. **74**
Şekil 4.11: A380 alaşımının ve %1 cam elyaf takviyeli A380 dökümün XRD analizi. **75**
Şekil 4.12 : Azaltılmış basınç testi (RPT) numunelerinde yapılan kesit incelemeleri (sol taraf) ve X-Ray incelemeleri (sağ taraf) sonuçları; (a1) ve (a2) % 0,01 cam

elyaf katkılı döküm, (b1) ve (b2) % 0,1 cam elyaf katkılı döküm, (c1) ve (c2) % 0,5 cam elyaf katkılı döküm, (d1) ve (d2) % 1 cam eylaf katkılı döküm ve (e1) ve (e2) % 0,4 cam elyaf katkılı ve el ile karıştırılan döküm. **77**
Şekil 4.13 : Azaltılmış basınç testi (RPT) numunelerinde hesaplanan yoğunluk ölçüm sonuçlar; % 0,01, % 0,1, % 0,5 ve % 1 mekanik karıştırma ve % 0,4 de el ile karıştırma dökümüne ait sonuçlar. **78**
Şekil 4.14 : Çekme testi sonuçları (a) Çekme mukavemeti, (b) Akma mukavemeti ve (c) % Kopma uzaması. **80**
Şekil 4.15 : Çekme testi sonrası iki farklı katkı oranına ait numunelerden alınmış farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri (a1), (a2) ve (a3) görüntüleri C şarjına (% 0,01) ait ve (b1), (b2) ve (b3) görüntüleri F şarjına (% 1) ait. **81**
Şekil 4.16 : Yoğunluk indeksi ve bifilmler ile mekanik özellikler arasındaki ilişki; (a) yoğunluk indeksi ile çekme mukavemeti arası ilişki, (b) yoğunluk indeksi ile akma mukavemeti arasındaki ilişki, (c) yoğunluk indeksi ile kopma uzaması arasındaki ilişki, (d) bifilmler ile çekme mukavemeti arasındaki ilişki, (e) bifilmler ile akma mukavemeti arasındaki ilişki ve (f) bifilmler ile kopma uzaması arasındaki ilişki. **82**
Şekil 4.17 : Kırılma enerjisi a) çentik darbe 10 mm genişlikteki numune b) çentik darbe 5 mm genişlikteki numune. **83**
Şekil 4.18 : Farklı oranlarda Ni-B kaplı cam elyaf katkı oranlarına göre oluşan döküm parametreleri altında elde edilen T6 ısıl işlemsiz kompozit için polarizasyon eğrileri. **86**
Şekil 4.19 : Farklı oranlarda Ni-B kaplı cam elyaf katkı oranlarına göre oluşan döküm parametreleri altında elde edilen T6 ısıl işlemli kompozit için polarizasyon eğrileri. **87**
Şekil 4.20 : Çekme Testi Numunelerin X-Ray görüntüleri. **88**
Şekil 4.21 : Çekme testi numunelerinin CT görüntüler; % 0,5 cam elyaf takviyesine ait görüntü solda verilmiş ve % 1 cam elyaf takviyesine ait görüntü sağda verilmiştir. **89**
Şekil 4.22 : Çentik darbe testi numunelerin X-Ray görüntüleri; Standart ölçülerde hazırlanan (10X10X55mm) çentik darbe numunelerine ait X-Ray görüntüleri solda verilmiş ve standart dışı ölçülerde hazırlanan (5X10x55mm) çentik darbe numunelerine ait X-Ray görüntüleri sağda verilmiştir. **89**
Şekil 4.23 : Standart dışı ölçülere göre hazırlanmış (5x10x55mm)numunelerden alınmış CT görüntüleri; solda % 0,5 cam elyaf tekviyesine ait numunin CT görüntüsü verilmiş ve sağda % 1 cam elyaf takviyesine ait CT görüntüsü verilmiştir. **90**
Şekil 4.24 : Standarta göre hazırlanmış (10x10x55 mm)numunelerden alınmış CT görüntüleri; solda % 0,5 cam elyaf tekviyesine ait numunin CT görüntüsü verilmiş ve sağda % 1 cam elyaf takviyesine ait CT görüntüsü verilmiştir. **90**

AKIMSIZ Ni-B KAPLI CAM ELYAF TAKVİYESİ İLE ALÜMİNYUM MATRİKSLİ KOMPOZİT ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU

ÖZET

Alümiyum ve alaşımları özellikle otomotiv ve havacılık sanayisinde vazgeçilmez bir malzeme haline gelmiştir. Takviye elemanı ile güçlendirip çeliğe göre daha hafif ama buna kıyasla daha mukavim olan Al-MMK'lerin kullanımı otomotiv ve havacılık sanayisinde artmaktadır. Bu tez çalışmasında matriks olarak A380 (EN AC 46000) alaşımı ve takviye elemanı olarak E sınıfı cam elyaf kullanılarak döküm yöntemi ile metal matriks kompozit (MMK) üretimi yapılmıştır. Çalışmanın temel konularından biri olan akımsız kaplama işleminden faydalanılmıştır. Akımsız kaplamada kullanılan temel kaplama bileşeninin ise dünya'daki oranına göre Türkiye'de yüksek rezerve sahip olan bor elementinin sanayiye kazandırılması amacıyla akımsız Ni-B yöntemi özellikle seçilmiştir. İlk olarak cam elyaflara akımsız Ni-B kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra elde edilen kaplanmış cam elyaflar iki farklı yöntem kullanılarak sıvı alüminyuma ilave edilmiştir. İlk yöntemde kaplanmış cam elyaflar pota üzerinde kepçe yardımıyla sıvı alüminyum içerisine ilave edilerek karıştırılmıştır. Diğer yöntemde ise karıştırma yapılmadan sıvı alaşım ve Ni-B kaplı cam elyaflar kokil kalıba eş zamanlı beslenmiştir. Al-MMK'ların mikroyapısal özellikleri hakkında değerlendirme yapmak amacıyla gerekli metalografik işlemler yapılarak mikroyapı incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan SEM-EDS analizlerinde bor ve nikel elementleri tespit edilerek cam elyaflar üzerindeki kaplama varlığı doğrulanmıştır. Döküm sonrası döküm parçalarının tamamına T6 ısıl işlem yapılmıştır. Kalıpta katılaşan metal matriksli döküm parçasının T6 ısıl işlem sonrası işlenmiş olan numuneleri üzerinde X-ray ve bilgisayarlı tomografi görüntülemeleri yapılmıştır. Ni-B kaplı cam elyaf takviyeli A380 alaşımının dökümüne ait ısıl işlem görmüş numunenin XRD sonucu incelendiğinde, Ni_3B fazına ait piklerin oluştuğu görülmüştür. Metal matriksin mekanik özellikleri analizi çekme ve darbe testleri yapılarak ölçülmüştür. Numunelerin nötral ortamdaki elektokimyasal korozyon testleri gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak cam elyaflara yapılan akımsız Ni-B kaplama işlemlerinin başarılı olduğu, metal matriks üretim yönteminde akımsız Ni-B kaplı cam elyafların alüminyum matriks içerisine dağıldığı, akımsız Ni-B kaplı cam elyafların topaklanmadığı belirlenmiştir. Yapılan darbe testleri sonucunda yapıyı akımsız Ni-B kaplı cam elyafların sünekleştirdiği tespit edilmiştir. Çekme testi sonuçlarına göre ise döküm yöntemindeki değişkenliklerin sonuçları bariz şekilde etkilediği belirlenmiştir. Yine yapılan elektrokimyasal deneylerde tüm koşullarda yakın sonuçlar gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: A380 (EN AC 46000), Alüminyum metal matriksli kompozit, Cam elyaf, Akımsız Ni-B kaplama, Mekanik özellikler.

PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF ALUMINUM MATRIX COMPOSITES WITH ELECTROLESS NI-B COATED GLASS FIBER REINFORCEMENT

SUMMARY

Aluminum and its alloys have become an indispensable material, especially in the automotive and aviation industry. Al-MMC's which are strengthened with reinforcment elements lighter but stronger when compared with steel. Al-MMC's usage is increasing in the automotive and aviation industry. In this thesis, metal matrix composite (MMC) was produced by casting method using A380 (EN AC 46000) alloy as matrix and E class glass fiber as reinforcement element. The electroless coating process, which is one of the main subjects of this study, was used. The electroless coating of the coating material according to the ratio in order to gain industrial world boron reserves of high boron which are particularly selected in Turkey. Especially boron selected as a coating material in electroless coating due to the proportion of the world reserves having high boron in Turkey in order to gain it in industry. Firstly, electroless Ni-B coating process was applied to glass fibers. Then, the obtained coated glass fibers were added to the liquid aluminum using two different methods. In the first method, the coated glass fibers were mixed into the liquid aluminum with the help of a ladle on the crucible. In the other method, liquid alloy and Ni-B coated glass fibers were fed simultaneously into the gravity die without mixing. In order to evaluate the microstructural features of Al-MMCs and to evaluate Al-MMCs, microstructural studies were carried out after the necessary metallographic processes were performed. In the SEM-EDS analysis, boron and nickel elements were detected and the presence of coating on glass fibers was verified. After casting, T6 heat treatment was applied to all cast parts. X-ray and computed tomography images were performed on the samples for metal matrix cast part that was solidified in the mold after T6 heat treatment. When the XRD result of the heat treated sample belonging to the casting of Ni-B coated glass fiber reinforced A380 alloy was examined, it was observed that the peaks of the Ni_3B phase were formed. Mechanical propertiy analysis of the metal matrix were measured by performing tensile and impact tests. Electrochemical corrosion tests of the samples in neutral environment were carried out. As a result, it was determined that electroless Ni-B coating processes applied to glass fibers were successful, electroless Ni-B coated glass fibers were dispersed in the aluminum matrix in metal matrix production method, and electroless Ni-B coated glass fibers were not agglomerated. As a result of the impact tests, it was determined that electroless Ni-B coated glass fibers ductile the structure. According to the tensile test results, it was determined that the variability in the casting method significantly affected the results. Similar results were observed in all conditions in electrochemical experiments.

Keywords: A380 (EN AC 46000), Aluminum metal matrix composite, Glass fiber, Electroless Ni-B coating, Mechanical properties.

1. GİRİŞ

İleri malzemeler ana bilim dalının içeriğinde bulunan kompozitler günümüzde F-35 savaş uçaklarından en basit gibi gördüğümüz ama günlük hayatta fark edemediğimiz spor araçlarına kadar geniş alanada kullanılmaktadır. Kompozit malzemeler üzerine her geçen gün yapılan çalışmalar sonuçlarını da faydalı modeler ile etkisini göstermektedir. Kompozitlerin çalışma sırasında gösterdiği yüksek mukavemet değerlerine ulaşması en önemli araştırma konularından biri haline gelmiştir. Biçok mühendislik uygulamalarında çeliğe alternatif olarak kullanılmaktadır.

Mevcut durumda metal matriksli kompozitler takviye elemanlarına göre üç ana gruba ayrılır. Bunlar; partikül şeklinde takviye malzemesinin ilavesi ile üretilen partitül takviyeli metal matriksli kompozitler, sürekli olmayan ve partikül takviyeli kompozitlere göre daha fazla yük iletim yeteneğine sahip olan whisker ya da kısa fiber takviyeli metal matriksli kompozitler ve sürekli fiber esaslı metal matriksli kompozitler.

Bu çalışma ile takviye elemanının kaplanarak döküme karıştırılabilme yeterliliği, takviye elemanının akımsız kaplama çalışmaları sonucu, kaplamanın takviye elemanının ıslatılabilirliğe olan etkisinin aglomerasyon oluşturup oluşturmadığı ile T6 ısıl işleme olan etkileri ve sonuçları incelenmiştir.

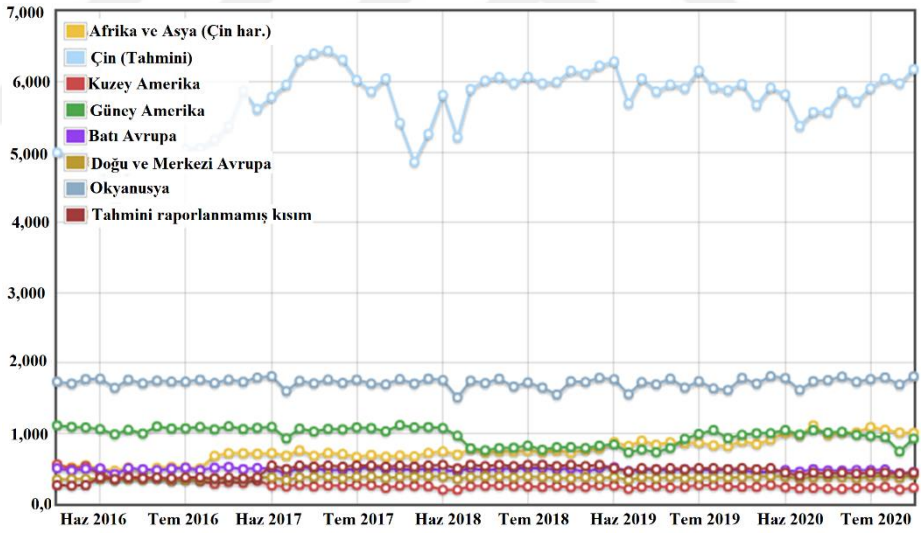
Çalışmalardan çıkan sonuçlara göre sadece takviye elemanının kaplanması ve ıslatılabilirliğe olan etkisi değil aynı zamanda uygun döküm yönteminin seçilmesi ile çıkacak numunelerin doğru parça üretimine olan etkiside incelenmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1 Al ve Alaşımlarının Genel Özellikleri

Alüminyum (Al) 13 atom numarasına sahip, 2,70 gr/cm³ yoğunluğu olan gri renkli hafif metaldir. Alüminyum doğada saf halde bulunamayan fakat boksit cevherinden ilk aşamada çeşitli yöntemlerden en yaygını olan Bayer yöntemi ile alümina (Al_2O_3) ve ikinci aşamada elektrolizi ile Alüminyum elde edilip saf hale getirilen doğadaki oksijen ve silisyumdan sonra en fazla bulunan üçüncü elementtir. Dört yüz kg boksitten, iki yüz kg alümina, 100 kg alüminyum üretilir.

Farklı ülkeler tarafından şubat 2015 ve şubat 2020 yıllarında üretilen alumina miktarı (ton) değerleri Şekil 2.1'de verilmiştir.

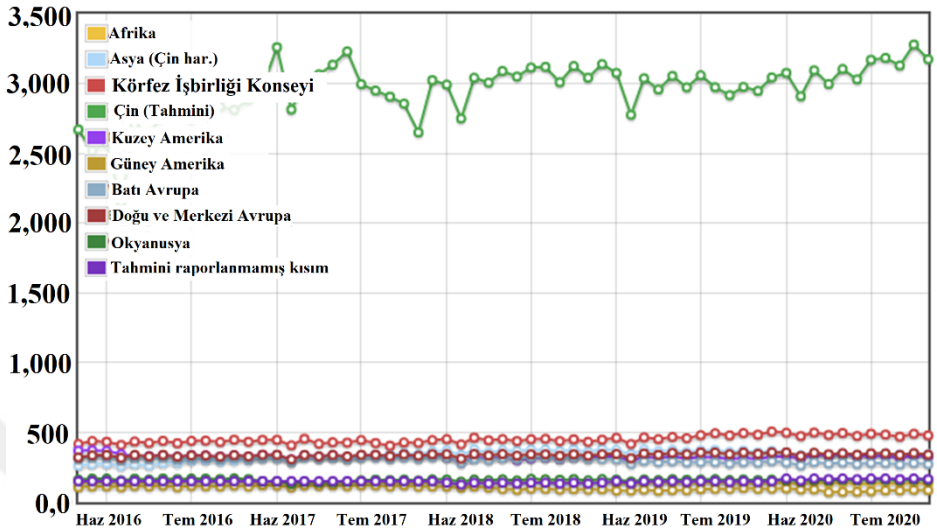


Şekil 2.1 : Farklı ülkeler tarafından son yıllarda üretilen alümina miktarı (ton) [1].

Alüminyum üretimi iki tiptir. Birincisi sanayide primer adı verilen birincil alüminyumdur ve boksit cevherlerinden elde edilir. Şekil 2.2'te farklı ülkeler tarafından şubat 2015 ve şubat 2020 yıllarında üretilen primer alüminyum miktarı (ton) değerleri verilmiştir. Alümina ve primer alüminyum üretiminde Çin dünya piyasalarında diğer ülkelerin üretim rakamlarını yaklaşık beş kat yüksek oranla baskılayarak üretimine devam etmiştir. İkincisi ise sanayide kullanılmış ve hurda,

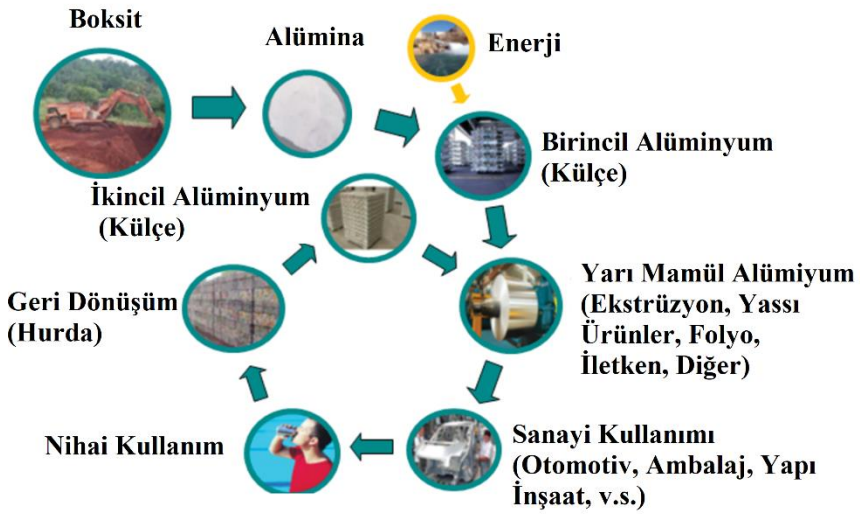
ıskarta, kırık, kesilmiş diye ayrılmış olan ve saflığı birincil kadar olmayan geri dönüşüm yoluyla elde edilen tiptir.

Birincil alüminyum üretim maliyetleri ikincil alüminyum üretimine göre kullanılan enerjinin daha fazla olmasından dolayı daha yüksektir.



Şekil 2.2 : Farklı ülkeler tarafından son yıllarda üretilen primer alüminyum miktarı (ton) [2].

Bu sebeple sanayide çevreci yaklaşım ve düşük maliyetinden dolayı ikincil alüminyuma olan talep artmaktadır. Şekil 2.3'te boksitten ikincil alüminyuma kadar olan üretim süreci ve döngüsü görülebilmektedir.



Şekil 2.3 : Alüminyum üretim zinciri [3].

Alüminyumun sanayide kullanılmaya başlanması elektroliz yönteminin kullanılmaya başlaması ile gerçekleşmiştir. Yoğunluğu ile sanayide kullanılan bakır, pirinç, çelik ve diğer mühendislik malzemeleri ile kıyaslandığında hafiflik, mukavemet, yüksek

derecede ısı ve elektrik iletkenliği, kolay şekillendirilebilme, üstün korozyon direnci, işleme ve ısıl işlem yapılabilirliği özelliklerinden dolayı tercih edilmektedir. Çoğunlukla kullanılan metallerin bazılarının yoğunlukları aşağıdaki Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Yaşadığımız çağda, hafif ve aynı zamanda mekanik özellikleri yüksek olan malzemelere ihtiyaçlar gün geçtikçe artmaktadır.

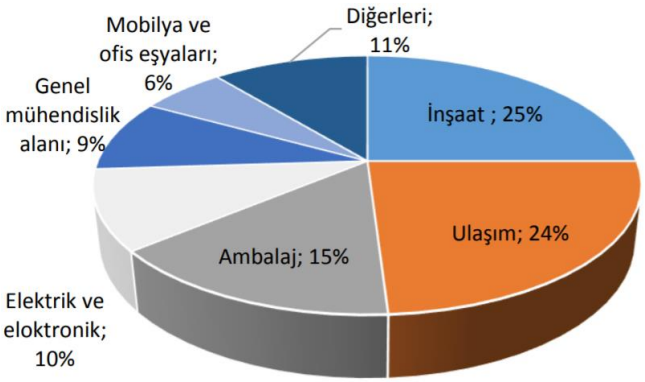
Çizelge 2.1 : Çoğunlukla kullanılan metaller.

METAL ÖZGÜL AĞIRLIKLARI (gr/cm³)	
Altın	19.3gr/cm^3
Alüminyum	2.72 gr/cm^3
Bakır	8.9 gr/cm^3
Bronz	8.7 gr/cm^3
Civa	13.6 gr/cm^3
Çelik	7.8 gr/ cm^3
Çinko	7.2 gr/cm^3
Gümüş	10.5 gr/cm^3
İridyum	22.6 gr/cm^3
Kalay	7.3 gr/cm^3
Kurşun	11.37 gr/cm^3
Mangan	7.4 gr/cm^3
Nikel	8.6 gr/cm^3
Platin	21.4 gr/cm^3
Pirinç	8.55 gr/cm^3
Uranyum	18.9 gr/cm^3

Özellikle havacılık ve uzay sanayii, otomotiv endüstrisi, ambalaj, inşaat ve tarım sanayilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Alüminyum ve alaşımlarının global anlamda da değerli bir yeri vardır. Son yıllarda elektrikli araç üretimi taleplerinin artması ve otomobillerin elektrikli araçlara geçişindeki projelerde yoğunluğu düşük olan alüminyum ve alaşımlarının kullanılması yaygınlaşmış ve talepler artmıştır. Katı yakıt tüketen araçlarda ise özellikle otomobil, tren, otobüs, kamyon gibi büyük araçlarda alüminyum kullanımı önemli yakıt tasarrufu sağlamaktadır. Alüminyum alaşımlarının hafifliğinin yanında sağlamlığından dolayı da uçak, gemi ve tekne üretiminde de kullanım oranı artırmıştır [4].

Alüminyumun oransal olarak kullanım alanları; inşaatta %25, ulaşım alanında %24, ambalaj sektöründe %15, elektrik sanayii ve elektronik alanında %10, genel mühendislikte %9, ağaç işleri ile büro mobilyalarında %6, demir çelik ve metalürji sektöründe %3, kimya endüstrisi ve tarım ihtiyaçlarında %1 ve kalan yerlerde ise %7

olarak verilmiştir. Şekil 2.4'te alüminyum kullanım alanlarına göre oranları verilmiştir [5].



Şekil 2.4 : Alüminyum kullanım alanlarına göre oranlar [5].

2.1.1 Alüminyum döküm alaşımları

Birçok parçanın aynı anda üretilebilmesine olanak sağlaması, seri imalata uygunluğu, parça boyutunda kısıtlamanın olmaması, diğer üretim yöntemleriyle kıyaslandığında ekonomik oluşu ve yüksek maliyetli cihaz gerektirmemesi gibi özelliklerinden dolayı alüminyum ve alaşımlarını üretmekte en çok kullanılan yöntem dökümdür [6].

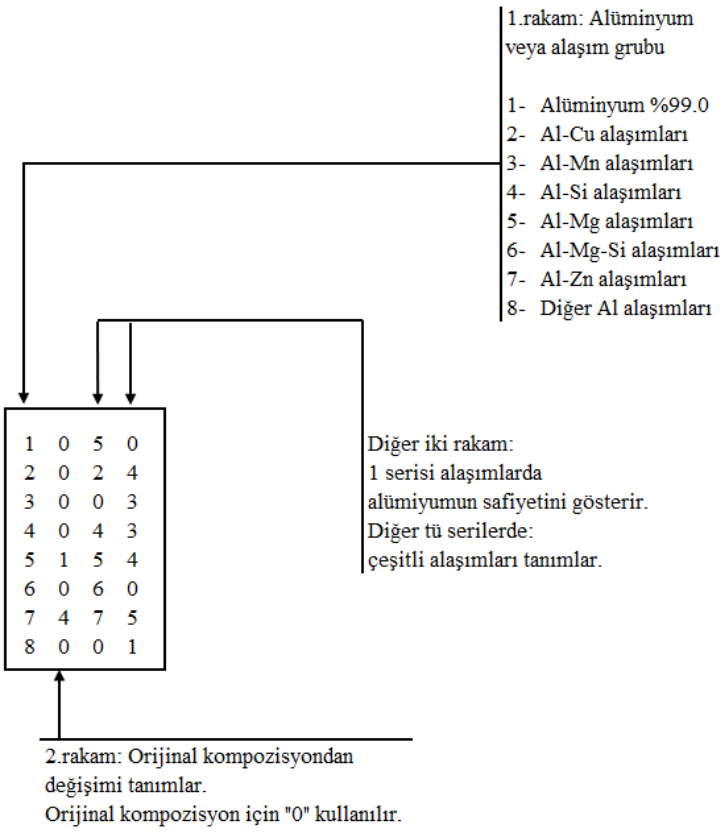
Alüminyum, diğer elementlerle kolayca bileşikler oluşturabildiğinden fazla sayıda alaşımları geliştirilmiştir. Alüminyum ile bakır, alüminyum ile silis ve magnezyum, alüminyum ile magnezyum ve çinko, alüminyum ile sadece magnezyum, alüminyum ile silis, alüminyum ve kalay, alüminyum ile bor gibi çeşitler sayılabilir. Döküme eser oranda alüminyum katkısı olsada oluşan yeni bileşen ile ana metal karakteristiği yüksek oranda farklılaştırarak, yeni sektörlerde kullanımına yol açar. Kullanılan her alaşım elementinin malzemenin mekanik özelliklerine etkisi farklı olur [7]. Alüminyum ile farklılaşan alaşımlardan örnekler ve kullanım sanayisi aşağıdadır [8];

- Al-Cu Alaşımı: Mekanik özellikleri çok iyidir.
- Al-Si-Mg Alaşımı: Form verme ve parlatma özelliği iyi, mekanik özellikler kısmen iyi ve korozyona karşı dayanım iyidir. Havacılık, tasarım işleri, elektrik iletken elemanlarının üretiminde kullanılırlar.
- Al-Cu-Mn Alaşımı: Yüksek çekme mekanik özelliğine sahiptir. Yüksek mekanik özelliklerde aranan yapılarda, makine elemanlarında, taşıtlarda,

kaldırma ekipmanlarında, ray ve vagonlarının üretiminde kullanılır. Sertleşmiş durumdaki mekanik özellikleri S355 çeliğinin değerine ulaşır.

- Al-Cu-Ni Alaşımı: Isıl işlemden sonra oda sıcaklığında sertlik alır. Sıcak ortamlarda mekanik özellikleri azalmaz. Otto ve dize motorların silindir ve pistonlarının üretiminde kullanılır.
- Al-Zn-Mg Alaşımı: Tüm alüminyum alaşımları arasında en yüksek mekanik özellikler bundadır. Bu sebeple havacılıkta kullanılır.
- Al-Mg Alaşımı: Tuzlu suya karşı mukavimdir. Deniz araçları imalatı, kimya ve gıda sektörlerinde, gözlük çerçevesi imalatında kullanılır.

Şekil 2.5'te gösterilen Amerikan Alüminyum Birliği'nin oluşturduğu notasyon sistemi yaygın olarak kullanılan isimlendirme metodudur. Bu sistem nümerik sınıflandırma esasına dayanmaktadır [9].



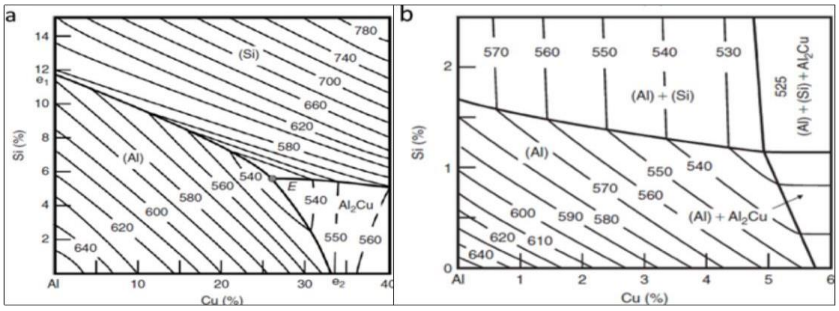
Şekil 2.5 : Döküm Al alaşımlarının içerdiği temel alaşım element(ler)ine göre sınıflandırılması.

2.1.2 Al-Si-Cu alaşımları

Alüminyum, alaşımlarında eskiden beri kullanılan elementlerden biridir. Alaşıma sertlik kazandırmak amacıyla kullanılırlar. Alaşım yüzdesi %3-12 arasındadır. İlave edilen miktarla orantılı olarak mukavemet artışı sağlar. Bakır elementi elektrik iletkenliği ve korozyon direncini düşürür [10]. Bakır elementinin alüminyum içerisinde değişik sıcaklıklarda değişik miktarlarda çözünmesi alüminyum alaşımlarına ısıl işlemle sertleştirilebilme özelliği kazandırır [11].

Silisyum alüminyumun alaşımlandırılmasında bakır elementinden sonra en mühim elementlerden biridir. Sıcak çatlama eğilimi alaşım içindeki silisyum azaltmakta tersine akışkanlığı arttırmaktadır. Silisyumun alaşıma en fazla ilave edilebileceği oran %13'tür. İşlenmesi zor olan silisyum içerikli alaşımlardaki Si oranı %3'tür [12]. Ek olarak alaşıma, silisyum korozyon direnci verir. Örnek olarak %13 silisyum içeren alüminyum alaşımı gemicilik ve araba endüstrilerinde korozyon dayanımını ve şok dayanımı istenilen ürünlerde çoğunlukla kullanılmaktadır [10].

Ticari amaçlı üretilen Al-Si-Cu alaşımları uzun yıllardır özellikle otomotiv endüstrisinde kullanılmaktadır. Genellikle %3-10,5 Si oranına sahip (daha yüksek de olabilir) Al alaşımlarına yine yaklaşık %1,5-4,5 oranlarında Cu ilavesiyle elde edilmektedirler. Son zamanlarda bu alaşımlar (Örn; Al6Si3,5Cu) otomotiv endüstrisi kapsamında daha önce dökme demirden üretilen motor bloğu ve silindir kafalarının üretiminde kullanılmıştır. Bu malzemelerin kimyasal kompozisyonları özel beklentilerin olduğu yerlerde çok karmaşık bir hâl alabilmektedir. Örneğin; içten yanmalı motorlardaki pistonlar AISI (amerika demir ve çelik enstitüsü) A332 (Al-12Si-1Cu-1Mg-2Ni) alaşımından üretilmektedir. Tamamen AISI A390 (Al-17Si-4Cu-0,55Mg) alaşımından üretilmiş silindir blokları karmaşık alaşım sisteminin en güzel örneklerindendir [13].



Şekil 2.6 : Faz diyagramı (Al-Cu-Si); a) likidus projeksiyonu, b) katı halde fazların dağılımı [14].

Şekil 2.6'da Al-Cu-Si alaşımının üçlü faz diyagramı verilmiştir. Bu faz diyagramı kullanılarak düşük oranlarda demir ve magnezyum içeren Cu alaşım elementi ilaveli Al-Si alaşımlarının faz bileşimleri güvenilir bir şekilde analiz edilmektedir.

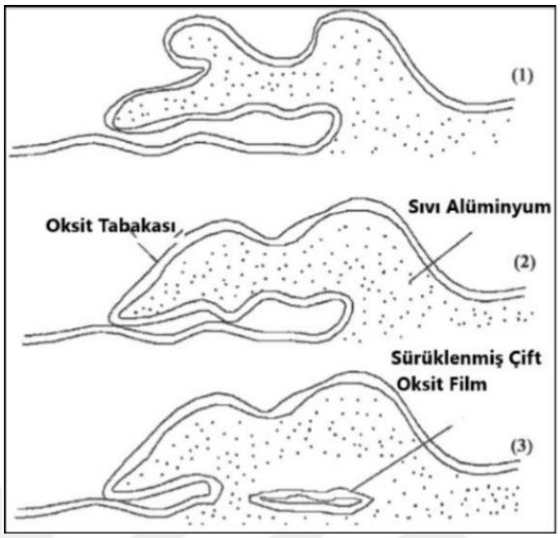
2.1.3 Döküm hataları ve bifilm teorisi

Döküm işleminin diğer üretim yöntemlerine göre birçok üstün özelliğinin olmasının yanı sıra tercih edilmesini kısıtlayan bazı özellikleri de mevcuttur. Bunların en başında malzemenin mekanik ve mikroyapı özelliklerini olumsuz yönde etkileyen döküm kusurları gelmektedir. Literatürde alüminyum alaşımları üzerinde görülen döküm kusurları ayrıntılı bir şekilde çalışılmış [15, 16] ve hâlâ çalışılmaktadır. Döküm işleminde, üründe kalite hatalarıyla sonuçlanacak pek çok yanlış şey yapma olasılığı vardır. Çevre faktörleri, yanlış besleyici ve yolluk tasarımı, yanlış kalıplama, yanlış ergitme, yanlış alaşımlandırma, temiz bir ingot ile döküme başlanmaması temel faktörlerden sayılabilir.

Prof. Campbell tarafından [17] (20. yüzyılın sonlarında ve 21. yüzyılın başlarında) ilk olarak oksit yapılarının döküm hataları üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çalışmaları sonucu literatürde geçen döküm kusurlarının temel nedeninin ergiyik içine çeşitli sebeplerle dahil olan oksit filmler olduğu ileri sürülmüştür. Döküm kusuru oluşum mekanizmasına yeni bir yaklaşım getirmiş ve ilk defa bifilm ifadesini kullanıp ileri sürdüğü teoriyi 'Bifilm Teorisi' olarak tanımlamıştır. Bifilm teorisine göre; erimiş alüminyum üzerinde oluşan koruyucu Al_2O_3 oksit tabakasının döküm esnasında türbülans oluşumunun da etkisiyle kırılıp birbiri üzerinde katlanmasıyla bifilmler meydana gelmektedir. Birbiri üzerinde katlanan bu oksit filmler (çift katlı oksit film) katılaşma ile malzeme içinde kalıp döküm hatalarını sebep olur (Şekil 2.7).

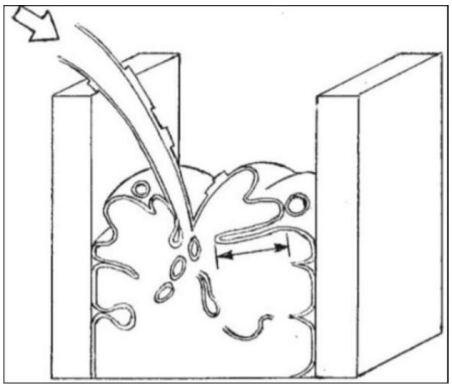
Bifilmler iki çeşit olarak değerlendirilmiştir. Bunlar old bifilm ve young bifilmler. Old bifilmler ingottan gelen oksitlerin oluşturduğu yapılardır. Young bifilmler ise; döküm sırasında oluşan türbülanstan dolayı ergiyiğe karışırlar. Döküm esnasında oluşan türbülansın şekilsel gösterimi Şekil 2.8'de görülebilir. Bunu sebebi uygun şekilde ergiyiği kalıba beslememektir. Kalıp tasarımı, bifilm oluşumunu etkileyen en önemli faktördür (Şekil 2.7). Döküm esnasında türbülans oluşumunu engelleyecek şekilde tasarlanan bir kalıp, oluşabilecek bifilm sayısını azaltmakta önemli bir etkendir.

Bu sebepten kalıp tasarlanırken keskin köşe oluşumu engellenip, ergiyik metalin türbülans oluşmaksızın homojen bir şekilde kalıbı doldurması sağlanmalıdır. Şekil 2.9.c'de tavsiye edilen yuvarlatılmış tasarımda ergiyik operatör hatası göz ardı edildiğinde türbülans olmadan taşınabilmektedir.



Şekil 2.7 : Çift katlı oksit film kusuru girişi: (1) yüzey türbülansı ile bir kırılma dalgası oluşur, (2) oksit tabakalarının iki istenmeyen tarafı birbirine temas eder ve (3) çift oksit film, dökme sıvının içinde gizli bir çatlak gibi yerleşir [18].

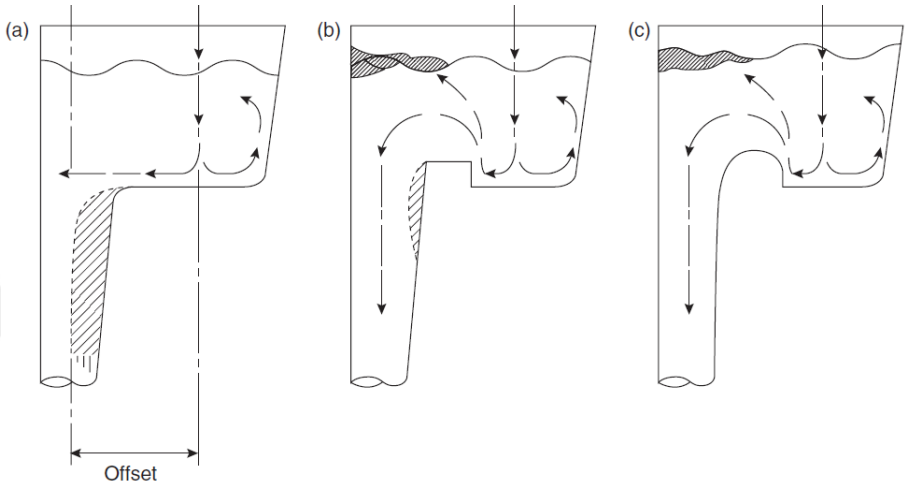
Türbülans olmadığı için de yeni bilmlerin kalıp içine taşınması engellenmiş olacaktır [18]. Aksi halde Şekil 2.8'de görüldüğü gibi old ya da young bifilmler kalıp içine birbiri üzerine katlanarak, kırılarak girip sıvı metal ile birlikte katılaşmaktadır. Alüminyum ve alaşımlarında en çok rastlanılan porozite ve sıcak yırtılma gibi döküm kusurlarının temel oluşum mekanizmaları bifilm teorisine atfedilmiştir [18-22].



Şekil 2.8 : Döküm esnasında türbülans oluşumu [18].

Yüzey türbülansını engellemek için besleyici içerisine bir basamak yerleştirilerek Şekil 2.9.b'deki sistem oluşturulmuştur. Kullanılan basamak keskin köşelere sahip olduğundan dolayı sistemde yine çalkantılar meydana gelmiş ve ergiyik yolluk

sistemine temas etmeden kalıba ilerlediği gözlemlenmiştir. Şekil 2.9.c'de görülen yuvarlaklaştırılmış basamak kalıp tasarımı kullanımı ile besleyici tavsiye edilen en iyi hale getirilmiştir. Metalin doğrudan kalıba değil de belirli düzen ile dökümün yapılması çok daha verimli sonuçlar verir. Besleyici tasarlarken keskin köşe oluşumundan kaçınmak ve sıvı metali yollukta çalkantı olmadan ilerletmek gerekir. Bu sebeple farklı besleyici ve yolluk sistemleri (basamaksız, keskin basamaklı ve yuvarlaklaştırılmış basamaklı) tecrübelerle geliştirilmiştir (Şekil 2.9).



Şekil 2.9 : Kalıp tasarımı, a) Basamaksız (kesinlikle tavsiye edilmeyen), b) Keskin basamaklı (tavsiye edilmeyen), c) Yuvarlaklaştırılmış basamaklı (tavsiye edilen) [18].

Şekil 2.9'da verilen besleyici sistemleri içinde şekil 2.9.a'daki basamaksız olan sistem incelendiğinde beslenen ergiyiğin yüzeyde çok fazla türbülans meydana getirdiği ve yolluk sisteminin neredeyse yarısına temas etmeden kalıp boşluğuna doğru döküldüğü görülmektedir. Bu tip besleyicinin kullanımı alüminyum dökümde çok fazla bifilm oluşmasına sebep olur.

2.1.4 Döküm hatalarını azaltma yöntemleri

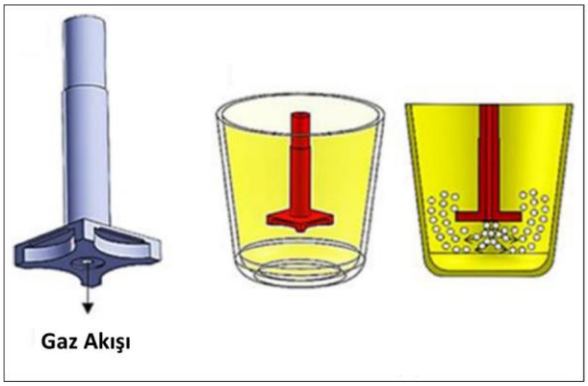
Döküm hatalarını azaltmak çin çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Döküm kusurlarını azaltmak için bahsedilen aşağıdaki ilk beş başlık sıvı metal ile ilgilidir.

2.1.4.1. Yüksek kalitede ergiyik oluşturma

Kaliteli, istenilen mekanik ve kimyasal özelliklerde bir ergiyik oluşturmak için bifilm sayısını azaltmak tek başına yeterli olamaz, hataları en aza indirgemek gerekir. İstenilen kalitede ergiyik oluşturmak için aynı zamanda bifilmleri ergiyik metal yüzeyinde oluşan oksitlerin uzaklaştırması, engellenmesi gereklidir. Bifilmlerin

açılmasını sağlayan ve argon gibi inert gazların kullanılması döküm kalitesini arttırır [23]. Bu işlem gaz giderme işlemidir [18].

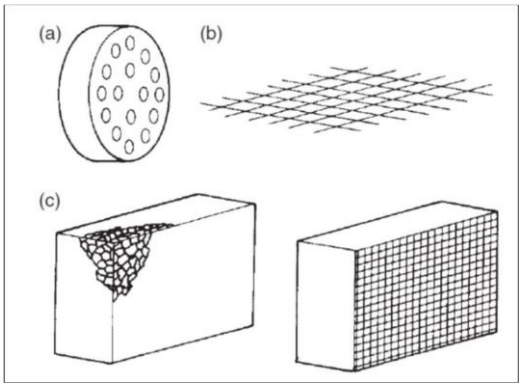
Ergiyiğe uygulanacak bazı işlemler ile döküm kalitesini arttırmak mümkündür [22, 24-27]. Bu işlemler; gaz giderme işlemi [22, 28], alaşım elementi ilavesi [22, 29, 30] ve filtrasyon [31, 32] şeklinde özetlenebilmektedir. Gaz giderme işlemi ergiyik içerisine dahil olan çözünmüş hidrojenin ergiyikten uzaklaştırılması amaçlı yapılan bir prosestir. Bu işlem ile ergiyiğin içine daldırılan ve ergiyik ile herhangi bir tepkime vermeyen bir çubuk yardımıyla potanın alt kısmından başlamak suretiyle ergiyik ile herhangi bir tepkime vermeyen Ar gibi inert bir gaz ergiyik içerisine gönderilmektedir (Şekil 2.10) [33]. Yoğunluğu alüminyumun yoğunluğundan çok daha düşük olan bu gaz potanın üst kısmına doğru hareket etmektedir. Argon gazının bu hareketi beraberinde yapı içinde bulunan hidrojeni de potanın üst kısmına doğru taşınmasını sağlamaktadır [34]. Dıspınar ve ekibi [10] tarafından gaz giderme işleminin bifilmler üzerinde etkili olduğu savunulmuştur. İnert gazın potanın alt kısmından üst kısmına doğru hareket ederken yapıya bir şekilde dahil olmuş oksit filmleri de beraberinde cürufa taşıdığı savunulmuştur. Bifilmlerin ergiyik içerisinden bu şekilde uzaklaştırılması ile çok daha temiz bir sıvı metal elde edilmekte ve döküm kalitesi arttırılmaktadır.



Şekil 2.10 : Gaz giderme işleminin şematik gösterimi [34].

Temiz bir ergiyik elde etmek için sıvı metalin içinde var olan metal olmayan partiküllerin kontrol altına alınması gerekmektedir. Çoğunlukla inklüzyolar yolluğun son kısmına tasarlanmış filtreler sayesinde kontrol edilmektedir [15, 24, 28]. Filtre kullanımı inklüzyonlar ile bifilmlerin kalıba girmesini engelleyebilmektedir. Ek olarak, filtre kullanımı sayesinde döküm hızı daha iyi kontrol edilebilir. Kritik döküm hızı (alüminyum için 0,5 m/sn) bu şekilde kontrol altına alınabilmektedir. Böylece,

döküm esnasında young bifilm oluşumu da önlenebilmiş olur. Dökümcülükte kullanılan çeşitli filtre tipleri vardır (Şekil 2.11). Filtrenin gözenek boyutu ve yapıldığı malzeme, filtrenin çalışma prensibini etkileyen en önemli özelliklerdir [23].



Şekil 2.11 : Farklı filtre çeşitleri; a) filtre iç yapısı, b) 2 boyutlu ağ filtre, c) 3 boyutlu seramik filtre [23].

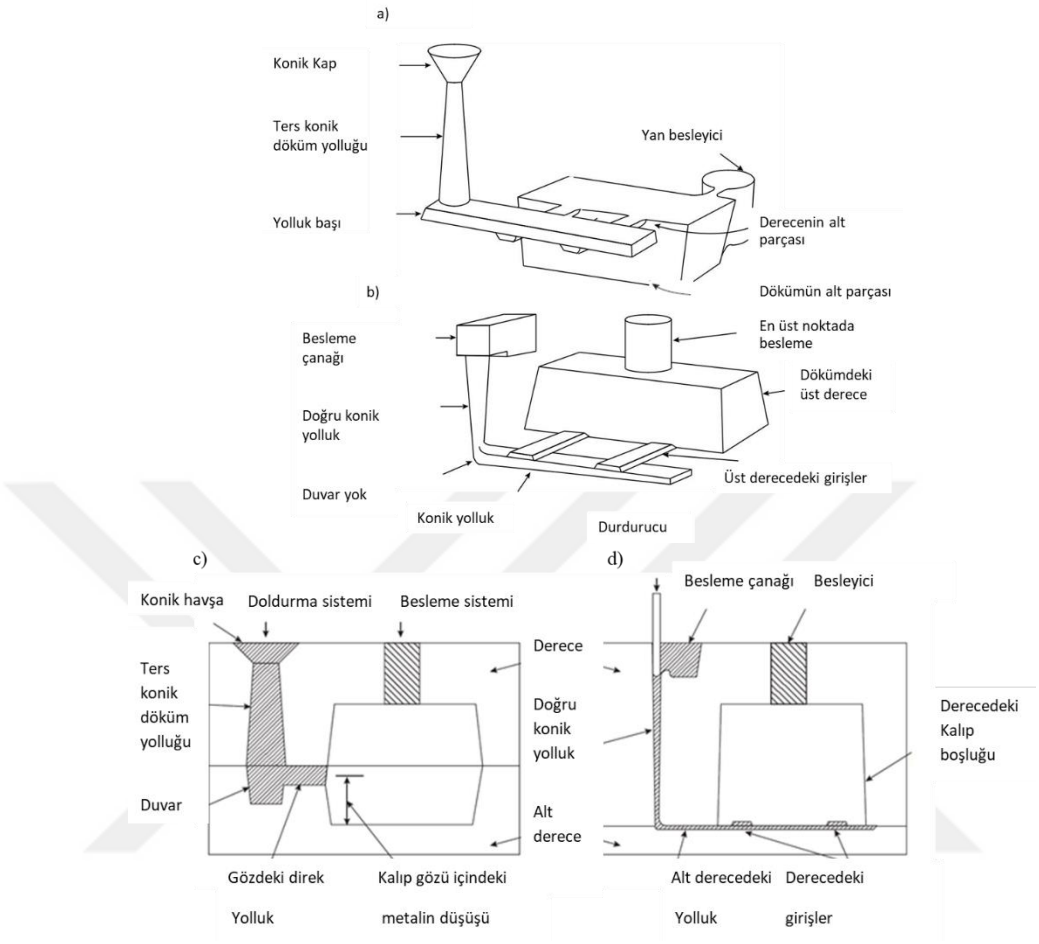
2.1.4.2. Türbülans olmayacak şekilde döküm yapmak

Dökümde karşılaşılan en büyük sorunlardan biri türbülans oluşumudur. Ergitme ve döküm operasyonları çok yüksek sıcaklıklarda yapılmaktadır. Ergitilmiş ingotlarda her ne kadar old bifilm olmasa da türbülanslı döküm gerçekleştirilirse, young bifilmlerin oluşması kaçınılmazdır. Döküm sırasında eğer yüzey türbülansı engellenmezse young bifilm oluşması kaçınılmazdır [23]. Türbülans oluşumunun engellenmesi çok kritik ve karmaşıktır. Türbülansı oluşumunu engellemek için uygun yolluk, besleyici ve kalıp sistemleri tasarlanmış kalıplar kullanılmalıdır (Şekil 2.12).

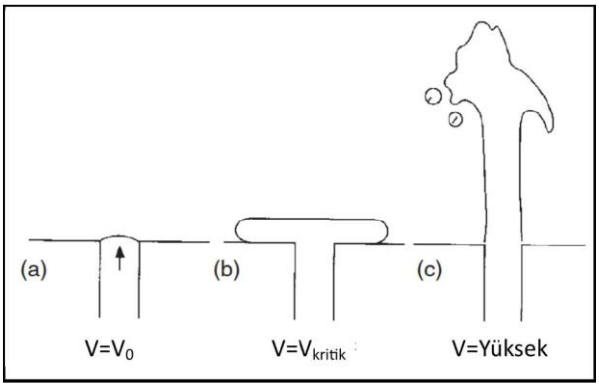
Prof. Campbell [23] döküm işleminde sıvı metalin akış hızının en iyi hale getirilmesi gerektiğini belirtmiş, her metal için ayırt edici bir özellik olan ‘kritik döküm hızı’ kavramını öne sürmüştür. Kritik döküm hızında sıvı metalin kalıbı türbülanssız bir şekilde dolduracağını iddia etmiştir.

Sıvı metalin, kalıbın alt kısmından başlamak suretiyle kalıbı doldurması ve kalıp boşluğuna giren sıvı metalin kalıp kenarlarına doğru eşit bir şekilde hareket etmesi (Şekil 2.13) ile en uygun döküm parçalarının elde edilebileceği belirtmiştir. Kritik hızın her döküm için optimize edilmesi bifilm oluşumunu engelleyebilmek için yeterli olamamaktadır. Uygun kalıp, yolluk ve besleyici tasarımı yapmak da döküm kalitesini arttıran başka faktörlerdir. Yanlış yolluk ve besleyici sistemleriyle yapılan üretimlerde, bifilm oluşumunu engellemek mümkün değildir [23]. Bu sebeple yolluk ve besleyici tasarımında sıvı metal hızını kontrol altına almak ve türbülans oluşumunu engellemek

için dikkatli olmak gerekmektedir. Sıvı metalin, besleyici sisteminden yolluk sistemine ve buradan da kalıba ulaşması belirli bir düzen ve hızda olmak zorundadır.

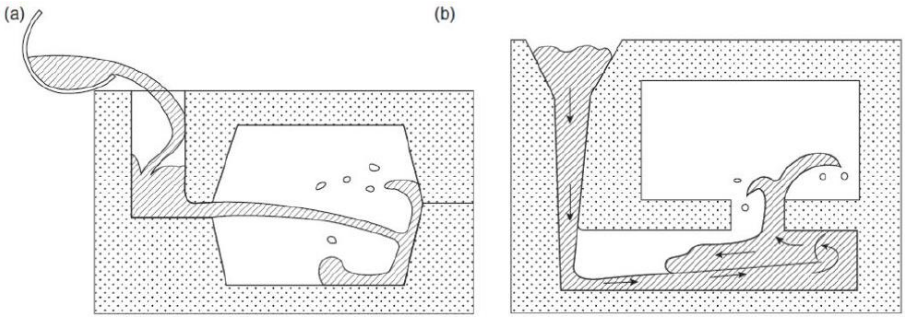


Şekil 2.12 : (a) Kötü üstten giriş ve yandan besleme yolluk sistemi, karşılaştırma (b) daha tatmin edici alttan girişli ve üstten beslemeli sistem (c) bağlantıdaki kötü sistem ve (d) tavsiye edilen ekonomik ve etkili sistem [18].



Şekil 2.13 : Kalıba giren sıvı metal; a) düşük hız, b) kritik hız, c) yüksek hız [23].

Dökümlerin yukarıdan aşağıya doğru gerçekleştirilmesi tavsiye edilmemektedir [23]. Yukarıdan aşağıya doğru gerçekleştirilen dökümlerde kritik hız kontrolü, net ve kabul edilebilir bir şekilde yapılamamaktadır.



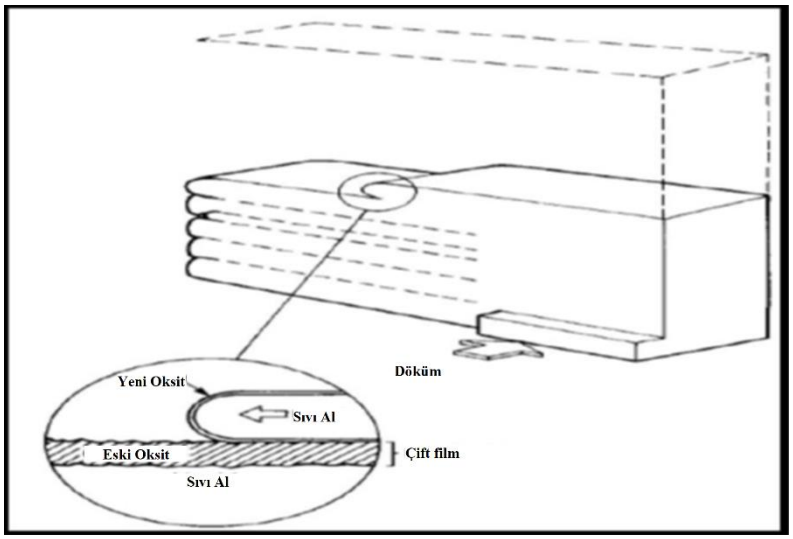
Şekil 2.14 : Türbülans oluşumu, a) Basınç oluşumu, b) Basınçsız [23].

Döküm işleminde kalıp boşluğunun geometrisi de türbülans oluşumunu etkileyen sebeplerden biridir. Kritik hızın doğru ayarlanmaması sonucu keskin köşelere sahip kalıp boşluğuna ulaşan sıvı metalin türbülans oluşturmama ihtimali çok düşüktür (Şekil 2.14).

2.1.4.3. Yüzey filminin sıvı metalin üzerinde katmanlı sürüklenmesinden kaçınmak

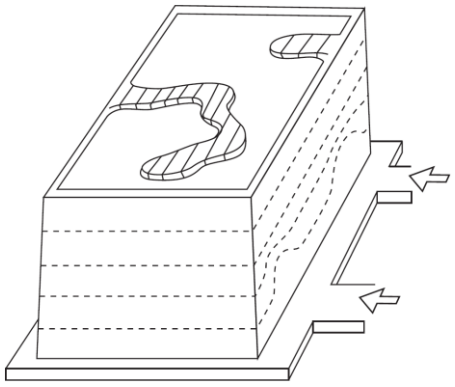
Türbülans olmayacak şekilde döküm yapmak kısmında açıklandığı gibi kritik hızda (0,5 m/s) yapılması gereken döküm daha yavaş yapıldığında, sıvı metal üzerinde oksit tabaka oluşmaya başlar. Katman oluştuktan sonra gelen sürekli dökümdeki kritik hızın altında döküm yapılması sonucu yeni bir katman daha oluşacaktır. Oluşan bu bu oksit tabaka kalınlaşır ve oksit tabaka yüzünden metal kendi içine yüzeyine doğru katlanır; çatlamaya başlar. Eski oksit tabakalar katlanma etkisi ile dökümde çift katlı film oluşumu (bifilm) gözlemlenir (Şekil 2.15). Bu tür birleşmelere soğuk birleşimde denilmektedir. Bu hata üst üste gelen sıvı metalin farklı zamanlarda soğuyup oksit tabakası oluşturmasından kaynaklanmaktır. Sıvı metalin hızının düşük olması bifilm oluşumunun tek sebebi değil ve sadece operatöre bağlı değil aynı zamanda metalin akışkanlığına, sıvı metal döküm sıcaklığına, fasılalı döküm yapılmasına, yanlış yolluk kullanımı, kesit farklılıklarının fazla olması gibi sebeplere de bağlıdır.

Döküm sıcaklığının parça yüzey kalitesine etkisi de çok önemlidir. Çok yüksek döküm sıcaklığında kabarcık ve ısıl parçalanma riski oluşur. Yüksek sıcaklıklarda çalışıldığından oksit oluşumunun önüne geçmek neredeyse imkânsız olacaktır [23]. Katmerli sürüklemelerden kaçınmak için dökümün geniş yatay ilerleyişinden kaçınılmalıdır. Eriyik yatay ince duvarlı bir plaka boyunca herhangi bir kısıtlama olmaksızın kalıbı doldurmasına müsaade edilirse, yerçekiminin hiçbir etkisi olmaz. (Şekil 2.16).



Şekil 2.15 : Bir film oluşturucu alaşımda oksit film ve sıvı metal ara yüzeyinin dengesiz ilerlemesi [23].

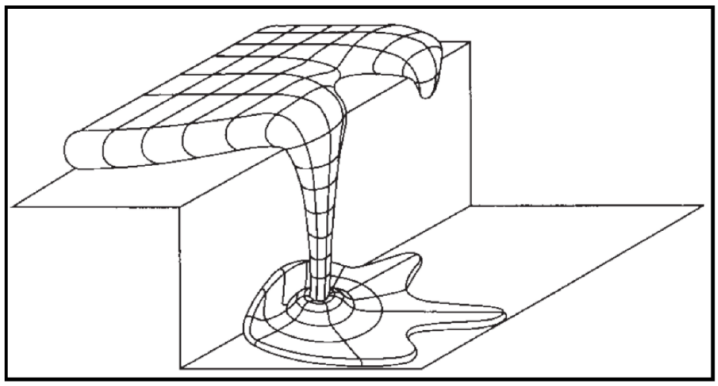
Bu tür dolumda kalınlaşan oksitler, daha çok yayılamazlar. Kıvrımlı ilerlemeler sonrası soğuk birleşmeler ve katmerleşmeler oluşacaktır. Bu nedenle kalıplarda geniş yatay kesitlerden kaçınılması tekrarlanabilir ve hatasız dökümler için gerekmektedir. Eğimli düzenekler ile düzlemlerdeki akış yavaşsa ilerleyici etki verir, temas noktalarını her yerinde sürekli ilerlemesi üst yüzeyin düzlemsel olmayan sıvı ilerleyişini diri, hazır tutmak amacına yardımcı olur.



Şekil 2.16 : Dikdörtgen kutu döküm tipinde doldurma, yatay doldurmayı temsil eder. [23].

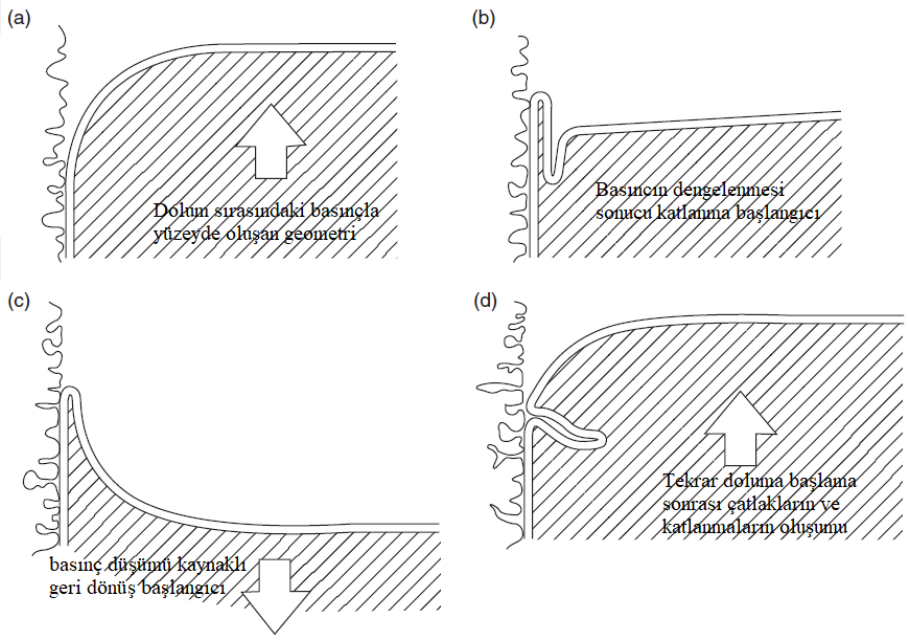
Dolum sistemi bu şekilde optimize edilmediği takdirde, sıvı metal oksit film üzerinde şelaleyi andıran bir akış oluşturur. Bu tip akış, oksit filmlerin kırılmasına ve yapı içerisine dağılmasına sebep olmaktadır (Şekil 2.17).

Döküm esnasında tereddüt göstermek ve dökümü geriye döndürmekte yine bifilmlerin oluşmasına sebep olmaktadır.



Şekil 2.17 : Dökümde şelale akışı etkisi [23].

Açıkçası döküm esnasında eğer hız yavaşlar veya hızın azalmasından dolayı geri yönde hareketler oluşursa yüzey üzerindeki küresel hareket kesileceği için oluşan bifilmlerin içeri doğru katlanma ve çatlak oluşacak ve bu sebepten dolayı döküm hatalarının oluşması kaçınılmaz olacaktır [23] (Şekil 2.18).



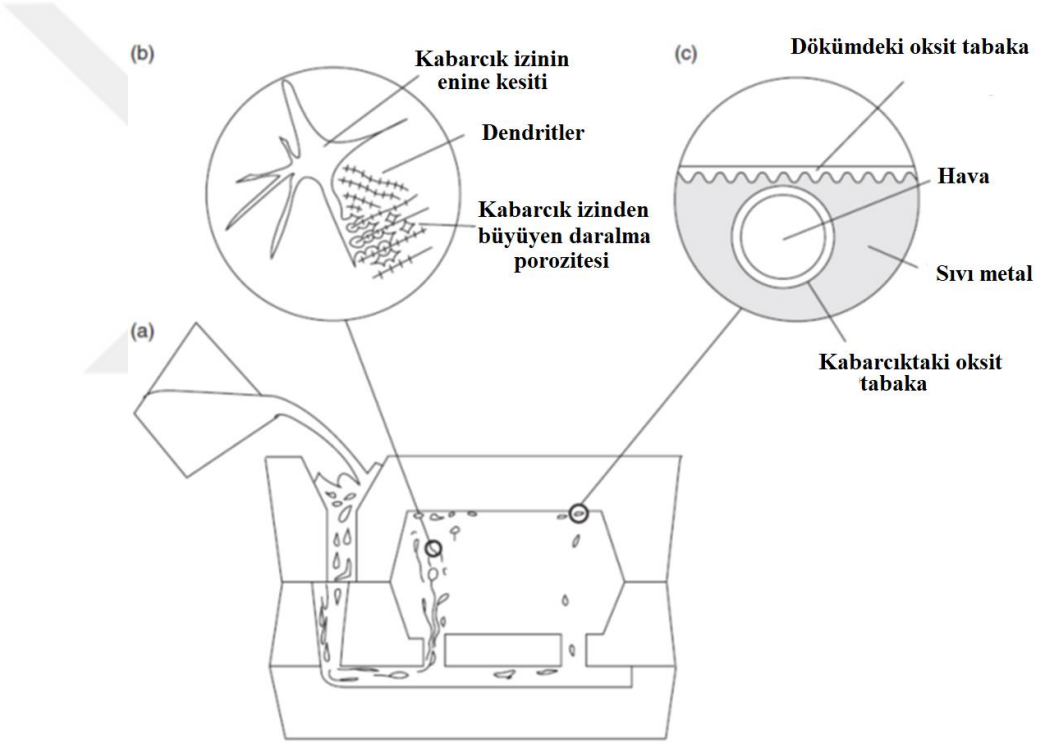
Şekil 2.18 : Dökümde tereddüt ve akışın geriye dönmesiyle oluşan yüzey görünümü [23].

2.1.4.4. Hava kabarcığı (baloncuk) oluşumundan kaçınmak

Baloncuk uzantıları dökümde istenmez. Hava kabarcıklarının sebebi maça ventilasyonudur. Sürüklenme kaynaklı bu döküm kusuru, oksitlenmiş sıvı yüzeyin katlama etkisinden kaynaklanır. Bazen iki katlı film kusurlarının oksit sürüklenmesi ile oluşan hata, bifilm kusuru olarak adlandırılır. Bazen bifilmlerin kendileri istem dışı bulaşan havaya sahip küçük cepler içermekte, böylece bifilm sıkışıp kalmış baloncukların dizileri tarafından oluşur. Dökümde gözlenen mikro-porozitenin çok

fazla kısmı bifilmlerden kaynaklanmaktadır. Kısmen de, katlanmış hava paketi büyük olduğu halde, yüzdürme gücü kendi başına yeterli olur. Bu katlanmış oksit kabarcığı, sıvı ve bazen de dendritlerden geçmesine yetecek kadar önemli olabilen sürüklenme kusurudur (Şekil 2.19). Bu şekilde, dökümde kendine özgü hasar deseni oluşturur [23].

Baloncuk izleri sıvı metale girdiği ilk yerde oluşur. Baloncuğu örten oksit filmi baloncuğun hareketini engellemeye çalışır. Eğer baloncuk sıvı metalde yüzebilecek güçteyse, bu yüzebilme gücü oksitten kaynaklı baskıyı böler. Birden oksit tekrar oluşur ve tekrar bölünür. Bu şekilde baloncuk, yüzeyde sıvıya girdiği yere doğru balonun etrafında hareketi ile ilerler, uzunlamasına kıvrımlar halinde bir kütle görünümü alır [23].



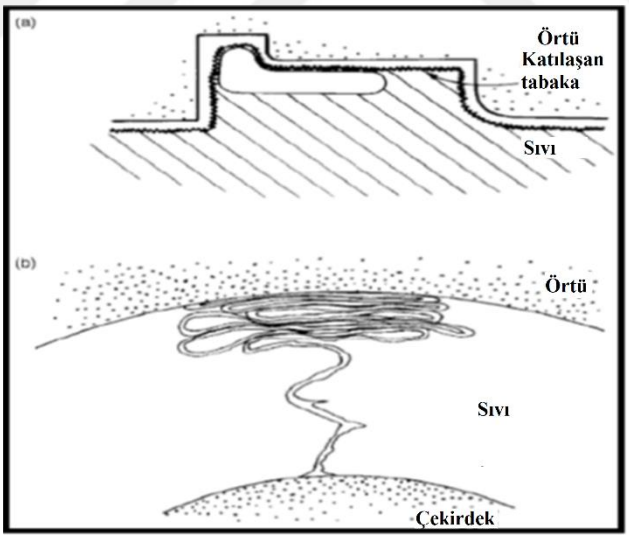
Şekil 2.19 : (a) Bir dökümde kabarcık hasarı; (b) radyografide görünmeyen yollar genellikle enine kesitlerde görülebilir; (c) küçük sürüklenmiş hava kabarcıkları, atmosfere karışmak için çift oksit bariyerini kırabilmeye yeterli kaldırma gücüne sahip değildir [23].

Kötü tasarlanmış besleme sistemleri sonucu baloncuklar sıvının içine taşınır. Bu şekilde sayılamayacak kadar çok baloncuk kalıp içine taşınmış olur. Eski ve yeni taşınmış baloncuklar karşılaştıklarında uzunlamasına labirentler oluşturur. Eğer filmlerin yoğunlukları yeteri kadar fazla ise giren baloncuklar dökümün kalıcı bir elemanı gibi hareket eder. Bu oluşum ise baloncuk kusuruna sebep olur. Baloncuk kusuru dökümde en genel hatalardan biri olarak kabul edilir [23]. Baloncuk veya

kabarcık oluşumunun engellenmesi için yüksek basıncın oluşacağı sistemlerden kaçınmak gerekmektedir. Bu sebepten genellikle gravite ve alçak basınçlı dökümler kullanılmaktadır [23].

2.1.4.5. Maça gözeneğinden kaçınmak

Maça ventilasyonu çok önemlidir. İyi yapılmayan maça ventilasyonu, büyük kabarcık uzantısı oluşumuna sebep olur. Kum çekirdekleri sıvı metal ile çevrildiğinde, kum ve kum bağlayıcısının aşırı ısınması çekirdeğin içinde büyük miktarlarda gaz oluşmasına sebep olur. Normalde maçayı tasarlamaktaki amaçlardan biri kalıp gazının çekirdek boşluklarından kaçabilmesi ve böylece gazın kalıp içinde dağıtılabilmesi içindir. Bu yöntemle, çekirdeğin içindeki basıncın yüksek seviyelere çıkmasının engellenmesi beklenmektedir. Bununla birlikte, bazı durumlarda, orta kısımlardaki gazın basıncı, sıvı içindeki basınçtan daha yüksek bir seviyeye kadar çıkabilir ve bunun sonucunda kabarcık ortamdan uzaklaşmakta zorlanır. Bu şekilde oluşturulan kabarcıklar, büyük boyuttadır ve çok fazladır. Hareket ettiklerinde okside olmuş kabarcıklardan döküm içinde, metalde izler oluşur (Şekil 2.20). Bu elbette, baloncuk oluşumu kapsamında tartışıldığı gibi başka bir balon hasarı formudur [23].



Şekil 2.20 : (a) maça gözeneği kusuru - biraz katılaşmadan sonra çekirdek gazları ihtiva eden sıkışmış bir baloncuk; (b) herhangi bir katılaşmadan önce çekirdek gözeneğinden oldukça fazla gaz tarafından üretilen dökülmüş cüruf kusuru [23].

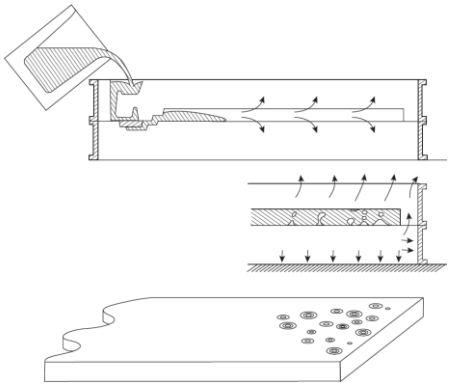
Maçadan açılacak bir delik, gazın kalıptan çıkmasını ve gaz boşluğunun oluşmasını engeller. Açılan delikler ve tasarımları işlemeden dolayı pahalı olabilmektedir.

İnorganik bazlı maça birleştiricileri gaz oluşumunu engellerler [23]. Sodyum silikat gibi birleştiriciler gaz oluşumunu engellemektedir. Organik birleştiriciler yerine (maça

ve kalıplar için) inorganik bağlayıcılar kullanılmaktadır. Beklenen ve hep görülen (maça ayrılması gibi) sorunlar artık görülmemektedir [23].

Maça ventilasyonu ilk maçadan başlar ve dikey bir şekilde diğer maçaya kadar gider. Maçanın üzerinden bakıldığında sızıntı görülüyorsa sebebi maça ventilasyonudur. Sızıntının ardından bakıldığında gaz uzantısı da görülmektedir. Çatlağın içi açılıp mikroskopta bakıldığında da büyük gaz kabarcığı uzantıları görülüp, incelenebilmektedir [23].

Çelik sandıkları olan ve çelik bir plaka üzerine veya beton bir zemine yerleştirilmiş kalıplarda basınç oluşumu daha da önemli olabilir. Gazlar, dökümün başlangıç noktasından uzaklaşmak için özgürdür, ancak sürüklenmeden kaçmaya çalışan gazlar, kalıp boşluğundaki üstteki sıvı tarafından örtülür (Şekil 2.21). Dökümdeki gaz gözenekliliğini ortadan kaldırmak için kum kalıplarında şişleme uygulamaları ve metal kalıplarda üst tarafında gaz atma kanalları kullanılması gibi hatalı uygulamalar mevcuttur. Şişleme ve gaz atma kanalları uygulamalarını doğru şekilde yapabilmek için sürüklenen gazmı olduğu kalıp boşluğuna giren gazmı olduğunun mantıksal olarak sınıfını belirlemek gereklidir. Gazın sınıflandırması yapıldıktan sonra doğru yerlere yapılan bu uygulamalar ile iyileştirmeler yapılabilir. Günümüzde bu tür uygulamalar, bilgisayar programlarında simülasyon çalışmaları ile yapılabilmektedir [23].

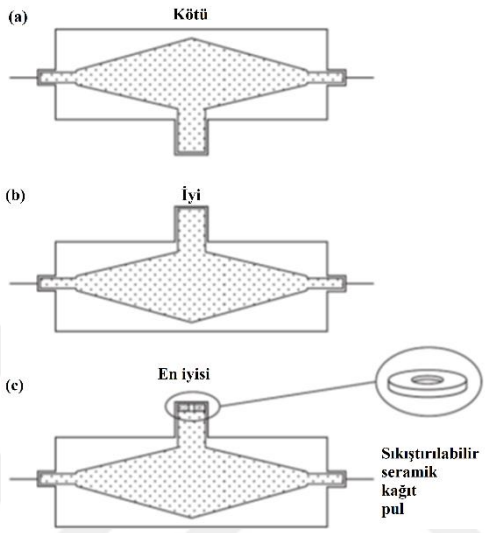


Şekil 2.21 : Kapalı sürüklenme ile düz bir plakanı dökümü. Uçan gazlar kalıbın sonuna doğru sürüklenir ve kalıp sonuna doğru yoğunlaşarak döküm kusuru oluşturur [23].

Maça gözeneğinden kaçınmak için maça ısındıkça gazın çok az ya da hiç açığa çıkmaması adına kum bağlayıcıları kullanılmalıdır. Burada beklenti su kristalleri bile içermeyen inorganik bağlayıcıların kullanımıdır. Bu arada yukarıda da belirttiğimiz gibi maçaların gaz geçirgenliğini arttırmak için uygun yerlere tahliye delikleri

uygulamaları faydalıdır. Daha yüksek sıcaklıklarda gaz çıkış sorunları artar. Bakır bazlı, demir ve çelik dökümler için gaz atmak gereklidir [23].

Eğer mümkünse maçaya dikine havalandırma deliği tasarlanması çok daha iyi olacaktır (Şekil 2.22). Maçaya dikine havalandırma deliği kullanımı sebebi kalıpta ergiyik arttıkça uçucu gazların maçanın ucunda toplanarak yoğuşmasıdır. Maça eğer alt taraftan havalandıracak şekilde tasarlanırsa bu dökümcü için yanlış olacaktır. Şekil 2.22'de kötü, iyi ve en iyi maça havalandırma yöntemleri gösterilmiştir [23].

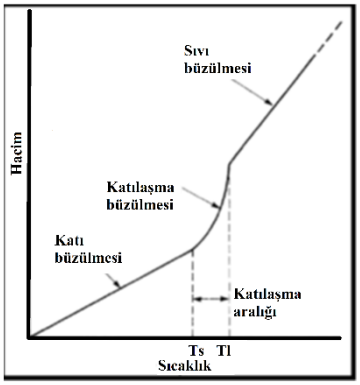


Şekil 2.22 : Kötü, iyi ve en iyi maça havalandırma yöntemleri [23].

2.1.4.6. Büzülme hatalarından kaçınmak

Zorunlu olunmadığı durumlarda besleyici kullanılmaması gerekmektedir. Besleyici kullanmak çekinti oluşumunu azaltmaktadır. Fakat gereksiz durumlarda kullanımı dökümde maliyet artşına sebep olur. Çoğu döküm için kullanımı tercih edilmemektedir. İnce duvarlı dökümlerin gerçekleştirilmesi durumunda besleyicisiz döküm çok daha başarılı bir şekilde gerçekleşmektedir. Besleyici kullanılmadığı durumlarda oluşabilecek birçok sorun önlenmiş olur. Soğutma yöntemleri çekinti için besleyiciden çok daha başarılı sonuçlar vermektedir [23].

Şekil 2.23, bir metalin soğuması sırasında meydana gelen üç ayrı büzülme problemini göstermektedir.



Şekil 2.23 : Üç büzülme düzeninin şematik gösterimi: sıvı halde, katılaşma sırasında ve katı halde [23].

Çizelge 2.2 : Farklı metallerin çekinme davranışları [23].

Metal	Kristal Yapı	Erime noktası (°C)	Sıvı yoğunluk (kg/m^3)	Katı yoğunluk (kg/m^3)	Hacim değişimi (%)	Ref.
Al	ymk	660	2368	2550	7,14	1
Au	ymk	1063	17380	18280	5,47	1
Co	ymk	1495	7750	8180	5,26	1
CU	ymk	1083	7938	8382	5,30	1
Ni	ymk	1453	7790	8210	5,11	1
Pb	ymk	327	10665	11020	3,22	1
Fe	hmk	1536	7035	7265	3,16	1
Li	hmk	717	528	-	2,74	4,5
Na	hmk	97	927	-	2,60	4,5
K	hmk	64	827	-	2,54	4,5
Rb	hmk	39	1437	-	2,30	4,5
Cs	hmk	29	1854	-	2,60	4,5
Tl	hmk	303	11200	-	2,20	2
Cd	hspy	321	7998	-	4,00	2
Mg	hspy	651	1590	1655	4,10	3
Zn	hspy	420	6577	-	1,08	2
Ce	hspy	787	6668	6646	-0,33	1
In	ymkp	156	7017	-	1,98	2
Sn	kp	232	6986	7166	2,51	1
Bi	ed	271	10034	9701	-3,32	1
Sb	ed	631	6493	6535	0,64	1
Si	ey	1410	2525	-	-2,90	2

1. Sıvı soğuduğunda yoğunluğu artar. Ancak, bu basit termal büzülme sıvı haldeki durum için genellikle önemli bir problem değildir, çünkü eriyiğin üstündeki (sıvılaşma eğrisi üstündeki sıcaklık) yüksek sıcaklık, genellikle döküm esnasında veya hemen sonra kaybolur.

2. Asıl sorun katılaşmadaki büzülmedir. Bu, birçok çelik için %3 civarındadır, ancak Al alaşımları için %6'dan fazladır (Çizelge 2.2). Bu, bir besleyici tarafından beslenmeyi gerektiren büzülmedir.

3. Katı halindeki büzülme, model yapımcıları için problem olmaya devam etmektedir.

Beslemenin yedi kuralı vardır [23]. Bunlar;

1- Gerekse de ince duvarlı dökümleri beslememek.

2- Besleyicinin donma süresi, en azından dökümün donma süresi kadar olmalıdır. Bu kurala bilgisayara programları ile uyulmaktadır fakat yaklaşımı şöyledir. Hacmin soğuma yüzey alanına oranı modül olarak adlandırılır. Besleme modülü mf, döküm modülü mc olduğuna göre; mf > 1.2mc'dir.

3- Kütle transferi (hacim) gereksinimidir. Besleyicinin donma süresi her ne kadar dökümün donma süresi ile paralel olsa da dökümün gerektirdiği sıvıyı besleyecek kadar yeterli besleyici olmamış olabilir. Bu da kısa sürede emilim ve büzülmenin dökümün içine kadar ilerlemesine olanak sağlayacaktır.

4- Birleşme, bağlantı noktası gerektiğinde; besleyiciler ve döküm delikleri gibi uzantılar döküm üzerine T veya L oluşturacak şekilde yapılmamalıdır. Bağlantı noktası uygun yere uzantı gibi eklenebilir. Besleyicinin dökümün üzerine doğrudan yerleştirilebilmesi imkânı yoksa, T bağlantısı ise, bağlantı noktasının ortasına sıcak bölgeden kaçınmak için besleyicinin karşılayabileceği özelliklerde bağlantı noktası eklenebilir.

5- Besleme yolu kullanımı.

6- Basınç eğimi gerekliliği. Dökümün dışından içine doğru eğimi ile besleme malzemesinin akış yolu boyunca büzülme olmadan akışı sağlanabilecektir.

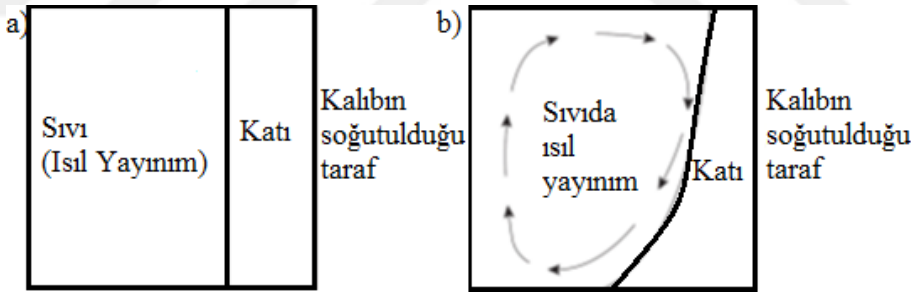
7- Basınç gerekliliğidir. Hem iç hem de dış boşlukların hem başlamasını hem de büyümesini baskılamak için, döküm içindeki kalıntı sıvısı için basınç gereklidir.

2.1.4.7. Isı yayınım hasarlarından kaçınmak

Döküme ısı yayınımı tam merkezden başlar, dökümle birlikte aşağıya doğru iner ve tekrar merkeze doğru çıkar. Bu işlem tekrar ettikçe dökümde ısı yayınımından dolayı problemler yaşanmaya başlar. Yukarıya çıkıp aşağıya doğru indiği noktada dökümü

tekrar eritir. Tekrar erimiş olan kanallardan tekrar inerek erimiş olan kanallar bozulur. Bilgisayarda kullanılan simülasyon ve mold flow analiz programları ısı yayınımı konusunda öngörüde bulunabilmektedir.

Isı yayınımı (konveksiyon), bir akışkandaki yoğunluk farklılıklarının sonucu olarak ortaya çıkan akış olgusudur. Düşük erime noktalı malzemelerin katılaştırılması için, bir tarafın soğutulduğu basit kübik kalıplarda çok sayıda teorik çalışma yapılmıştır. Boşluğun etrafındaki sıvının yumuşak bir şekilde yer değiştirmesi, soğuk yüzün ve soğutulmamış yüzün alt kısmı, katılaşan cephenin şeklini değiştirir. Şematik bir örnek, Şekil 2.24'te gösterilmiştir. Mühendislik sistemlerinde konvektif akış problemlerinin anlaşılmasına çok fazla yardımcı olmazlar. Katı bir dökme demirin silindiri içinde doğal konveksiyon üzerinde çalışmış olan Mampaey, F. ve arkadaşları [33] 'dan elde edilen sonuçlar, sıvı kütlenin termal merkezinin yukarı doğru kaydığını ve grafitli nodüllerin akış tarafından taşındığını göstermiştir. Bu tür çalışmalar küçük, basit şekilli kapalı sistemlerde konveksiyonun yumuşak hareketini yansıtır; fincan çayında görmeyi bekleyeceğimiz türden bir eylemdir. Bu gerçekler, konveksiyonun esasen zararsız ve alakasız olduğunu varsayarak bizi yanlış bir güvenlik durumuna sürüklemiştir.

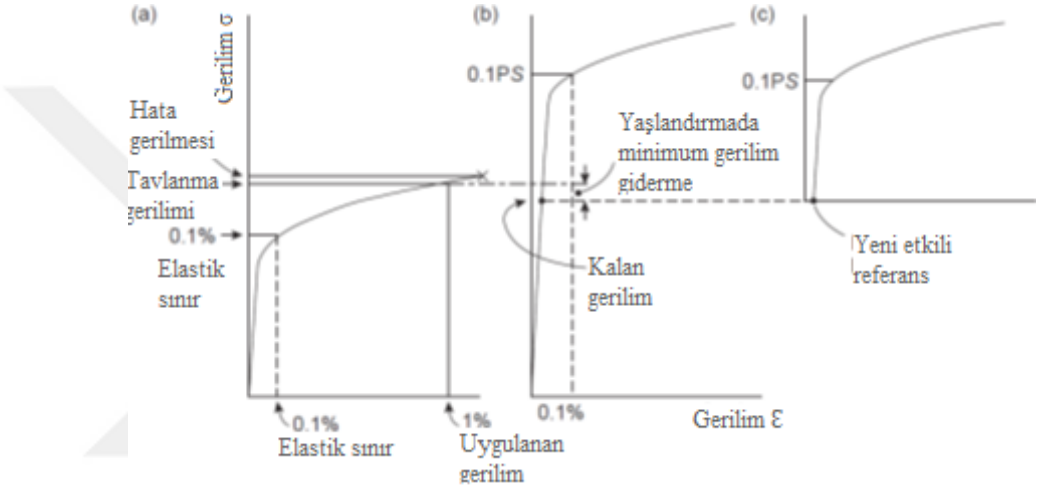


Şekil 2.24 : Sadece sağ tarafın soğutulduğu 2-D kutuda katılaşma. (a) ısıl yayılım olmayan durumunda düzlemsel cephe; (b) ısıl yayınımdan kaynaklanan bozulma [23].

Alaşımların katılaşması sırasında bileşim farklılığı ortaya çıkabilir. Katılaşma aralığı olan her alaşımda topaklanma görülür. İstenmeyen bir durumdur. Katılaşma aralığının büyüklüğünden ve soğumanın çok hızlı olmasından dolayı ortaya çıkar. Segregasyon hatalarını önlemek için ötektik bileşim, tercih edilmelidir. Solidus sıcaklığının hemen altında homojenleştirme tavı uygulaması ile çözülebilir. Katılaşma dışarıdan başlar, merkeze doğru orta kısımda en son katılaşma olacağı için normalde dağılması gereken fazlar dağılmadığı için merkeze toplanır. Isıl işlem yapıya homojen dağılmamış, taneleri homojen hale getirmek için yapılır.

Al dökümünde üretilen parçalar su verildiğinde %1 oranında çekme gösterir. Malzemenin merkezinde oluşan gerilim ve %1'lik uzama dökümün parçalanmasına sebep olur. Isıl işlemle akma mukavemeti ile 2 katına çıksa bile stres malzemenin içinde kalır ve döküm başarısız olur. Su verme mukavemetin %50sinin kaybolmasına sebep olur; kullanımında malzemenin performansını düşürür. Hava ile soğutma %5'lik bir kayba sebep olur ve kalıntı gerilmeleri yok denecek kadar az olur. Su vermeden kalıntı gerilmeleri azaltılmalıdır.

Şekil 2.25, bir dökümün toplam mukavemetinin, malzemesinin mukavemetini arttırmak için tasarlanmış bir ısıl işlemle nasıl azaltılacağını gösterir.



Şekil 2.25 : Isıl işlem yapılan Al alaşımının gerilim / uzama eğrisinin gelişimi (a) su vermeden sonra; (b) yaşlanma işleminden sonra yüzde 0,1 kalıcı uzama ikiye katlanır; ve (c) nihai gerilim / uzama eğrisi su verilmiş özelliklerden daha az etkili özellikleri gösterir [23].

2.1.4.8. İşleme ya da operasyonlar için önceden temas noktaları, lokasyonları oluşturulması

Dökümde altı noktalı referans yerlerinin oluşturulması parçaların başarılı bir şekilde hurdaya gitmeden üretilmesini sağlar. Bu şekilde parçalar işlenecekse kolayca bağlanabilir, ölçülecekse kolayca ölçüm cihazına bağlanabilir.

Bu kural, referans noktaları sağlamak için dökümün diğer tüm kuralları başarılı bir şekilde tamamlayabilmesi ve malzemenin hurdaya çıkartılmaması adına doğru şekilde kontrol edilmelidir. Referans noktalarının kullanımı için kurallar (kısmen Swing 1962'den):

1. Üç dikey referans noktası seçin.

2. İşlenecek parça programlarının parçayı işlemek için kullanılacak olan takım tezgahlarının hareket eksenlerine paralel olduğundan emin olun (aksi takdirde gereksiz hesaplamalar ve zaman kayıpları oluşur).

3. Parçanın kenarları veya bir duvarın yüzü gibi döküm üzerindeki düzlemleri düzeltin (örn. Merkez çizgisi veya başka bir yapısal özellik olmayan). Aşağıdakiler kriterlere göre referansları seçebilirsiniz.

a) konumları bakımından kritik ve (b) mümkün olduğunca parçanın merkezine yakın.

Referans noktaları, dökümde hassas ve kesin bir şekilde üç boyutlu olarak yerleştirmek için kullanılan yerlerdir. Kalıpçının kendilerine referans alarak yapılandırabildikleri, araç üreticisi tarafından istenilen; işlemeden sonra döküm işlemini kontrol etmek için işlemecinin kendisi ve ilk işleme operasyonlarından önce döküm işlemi için kullanan bir çalışma olmalıdır. Bu özellikler bu nedenle ürünün imalatına uygun tasarlanıp, takım üreticisinden, dökümcüden işlemeciye ilerledikçe akıcı bir şekilde ilerlemesini sağlar.

2.2 Metal Matriksli Kompozitlerin Özellikleri

2.2.1 Metal matriksli kompozitler

İki ya da ikiden fazla malzemenin, alaşımların karşılayamadığı beklentileri karşılama sebebiyle, bariz bir ara alan oluşturup bir araya bağlanması ile elde edilen birleşik malzemenin bütününe kompozit malzeme denir [35]. Kompozitler matriks malzemesine göre üçe ayrılırlar, bunlar ise seramik, polimer ve metal matriksli kompozitlerdir. Metal, seramik ve polimer matriks kompozitlerinde partikül formundaki fiber ve seramik takviyeli halleri yaygın olarak kullanılmaktadır [36]. Seramik matriksli kompozitlerde olan sakıt tokluk verileri ve polimer matriksli kompozitlerin fazla sıcaklıklardaki etkisi olan düşük dayanım sebebiyle tek bileşenli alaşımların karşılayamadığı özelliklere ulaşmak için yapılan uygulamalar metal matriksli kompozitler (MMK) üzerine yoğunlaşmıştır. Kompozitlerin, imalat zorluğu, pahalı ve talaşlı imalat güçlüğü gibi olumlsuzlukları olduğu halde, mukavemet, form özelliği, iyi termal direnç, vibrasyonu düşürme, korozyon dayanımı, yüksek aşınma direnci ve hafiflik gibi avantajlı kriterler ile; uçak sanayisi ve askeri alanda, araba

üretimi, lojistik, uzay ve enerji sanayileirnde, altyapı imalatında, inşaat sanayisinde, tanklarda ve basınçlı kaplarda yoğun olarak kullanılmaktadır [36].

Bir malzemenin kompozit olarak adlandırılabilmesi için, takviye fazını bir arada tutan sürekli bir matriks fazına, matriksin rjitliğini ve dayanımını artıran matriks içinde çözünmeyen bir takviye elemanına ve matriks ile takviye elemanı arasında oluşan belirgin bir ara yüzeye sahip olması gerekir. Bu nedenle atomal veya moleküler düzeyde birleştirilen malzemeler homojen bir mikroyapıya sahip olduklarından kompozit olarak adlandırılmazlar [37].

Çeşitli üretim metotları kullanarak metal matriksli kompozit (MMK) içine fiber parçaları, bor karbit parçacıkları gibi seramikle güçlendirilmiş, alümina, silisyum karbür, v.b. eklenebilmektedir [38, 39].

Tanecik katkılı kompozit ürünlerin imalat usullerinden olan ergimiş metal karıştırma metodu, genel uygulamalarda ucuzluk kompozit ürünün imalatı için iyi bir potansiyel olmasını sağlar [40]. Uygulamalarda, kompozit ürünün ergimiş metal karıştırma ve basınçlı döküm metodu ile iyi bir sonuçla imalatı görülmüştür [41-44]. Fakat tanecik katkılı kompozit imalatı ve detayları için mali verilerden dolayı açıklama verilmemiştir [44, 45]. Aynı zamanda, ergimiş metal karıştırma metodunun basınçla birlikte yapılması, bu metotta meydana gelen sorunları düşürdüğü bilinmektedir [13, 43, 44, 46, 47].

Hafif konstürksiyonlara artan beklentiler ile birlikte, düşük ağırlık ve yüksek dayanım kriterleri bir arada olduğundan, seramik katkılı kompozit üretimi ön plana gelmiştir. Seramik katkılı kompozitler yüksek özgül direnci ve sertlik değerlerine ters olarak matriks malzemesinin sahip olduğu süneklik ve tokluğu kaybetmektedirler. Ek olarak seramik parçacık ve matriks malzemesi arasında gerçekleşen ıslatma sorunu ara yüzeyde istenmeyen faz oluşumları da imalat sırasında meydana çıkan farklı sorunlardandır [14, 48]. Metal katkılı kompozitler; seramik katkılı kompozitlerin tersine, süneklik ve toklukta kayıp olmadan daha ucuz yöntemle imalat potansiyeline sahiptir.

2.2.2 Cam elyafın teknik özellikleri

Cam elyaflar kompozit malzeme üretiminde takviye malzemesi olarak sıklıkla kullanılmaktadır. Cam elyaflar düşük maliyet, ısıl iletim değerlerinin düşük olması,

mukavemet değerlerinin yüksek olması, birim ağırlık başına mukavemet değerinin çeliğe göre yüksek olması, yüksek kimyasal dayanım gibi avantajlarından dolayı tercih edilmektedirler. Cam elyaflar yanmaz fakat yumuşarlar [49].

Isıl dirençleri düşüktür. Cam elyafın özel kaplama işlemleri ile bu etki ortadan kaldırılabilmektedir. Cam elyaf üretiminde kompozisyonuna bağlı olarak silis kumuna çeşitli katkı malzemeleri eklendiğinde, farklı özellikler kazanır. Beş farklı tipte cam elyaf üretimi mevcuttur.

A (Alkali) Camı: A camı yüksek oranda alkali içerir. Elektriksel yalıtkanlık özelliği kötüdür, kimyasal direnci yüksektir, pencerelerde ve şişelerde en çok kullanılan çeşididir. Kompozit üretiminde kullanılmaz.

C (Korozyon) Camı: Kimyasal malzemelere olan direnci yüksektir.

D (Dielektrik) Camı: Mükemmel dielektrik özelliği taşıdığı için elektronik sanayisinde tercih edilir.

E (Elektrik) Camı: Alkali oranı azlığı sebebiyle elektrik iletmemesi öteki cam elyaf türlerine nazaran çok başarılıdır, mekanik özellikleri yüksek, suya dayanımı ise başarılıdır. E tipinin asitlere karşı dayanımını arttırmak için kompozisyonuna bor ilave edilerek E-CR tipine dönüşmektedir. E-CR tipi asitlere karşı dayanım istenmesinden dolayı çoğunlukla kimyasal malzeme muhafaza ve ileten hat ve kaplarda kullanılmaktadır [50].

S (Mukavemet) Camı: Yüksek mekanik özelliklerine sahiptir. Mekanik özelliklerinden çekme değeri E camı ile kıyaslandığında %33 oranla daha fazladır. Ek olarak yüksek sıcaklık değerlerinde olabildiğince çok fazla yorulma dayanımına sahiptir. Yukarıdaki niteliklerden dolayı uçak ve havacılık sanayisinde kullanılırlar. Avrupa'da R camı olarak nitelendirilir [51]. Farklı tipteki yaygın elyafların kimyasal kompozisyon içerikleri Çizelge 2.3'te verilmiştir.

3 – 12 mm uzunluğundaki kırpılmış elyaf demetleri, ısı ile şekillenen plastik enjeksiyonunda cam elyaf takviyesi olarak kullanılırlar. Dairesel dış ölçüleri yaklaşık 10μm olan bu elyaflar, ana elyaf maddesinin ekstrüzyon ile çekilmesi ve enjeksiyonu sırasında yaklaşık 0,3 mm boya kadar kırılıp kısalır [52, 53].

Çizelge 2.3 : Başlıca elyaf cinslerinin kompozisyonları (% olarak) [54].

Malzeme	A-Camı	C-Camı	E-Camı	R-Camı	S-Camı
SiO_2	72,0	64,6	52,4	60,0	64,4
Al_2O_3	1,5	41,0	14,4	25,0	25,0
CaO	10,0	13,4	17,2	9,0	-
MgO	2,5	3,3	4,6	6,0	10,3
Na_2O,K_2O	14,2	9,6	0,8	-	0,3
B_2O_3	-	4,7	10,6	-	-
BaO	-	0,9	-	-	-

Cam elyafın termal iletkenliği çoğu malzemeye göre düşüktür, fakat organik matriks malzemelere kıyasla yüksektir. Çizelge 2.4'de E tipi cam elyaf ve diğer malzemelerin oda sıcaklığındaki termal iletkenliklerini göstermektedir.

Başlıca elyaf cinslerinin mekanik özellikleri ise Çizelge 2.4'te verilmiştir.

Çizelge 2.4 : Başlıca elyaf cinslerinin mekanik özellikleri [53].

Mekanik Özellik	E-Camı	C-Camı	S-Camı
Çap (μm)	8-14	-	10
Yoğunluk (kg/m^3)	2540	2490	2490
Çekme Modülü (GPa)	72,4	68,9	85,5
Çekme Mukavemeti (Mpa)	3450	3160	4590
Uzama (%)	1,8-3,2	4,8	5,7
Genleşme Katsayısı ($x10^{-6}/°C$)	5	7,2	5,6
Isıl İletim (W/m/°C)	1,3	-	-
Özgül Isı (j/kg/°K)	840	780	940

Çizelge 2.5 : E tipi cam elyafa kıyasla çeşitli malzemelerin termal iletkenlik katsayıları.

Malzeme	Termal iletkenlik, $Wm^{-1}K^{-1}$
E-Camı	10,4
Saf Alüminyum	188
Saf Bakır	398
Çelik	17
Karbon Grafit	121
DGEBA (epoxy)	0,24

Cam elyafın yoğunluğu diğer mühendislik malzemelerine göre daha düşüktür. Çizelge 2.6'da yoğunluk kıyaslamalarını görülmektedir. Alümiyum alaşımlarına göre yoğunluğu daha düşüktür. Diğer karbon takviye elemanlarına göre ise karbonun yoğunluğunun cam elyaf yoğunluğuna göre daha düşük olmasından dolayı cam elyaf takviyeli kompozt yoğunluğu daha yüksektir.

Çizelge 2.6 : Çeşitli elyaf ve alaşımların yoğunlukları.

Malzeme	Yoğunluk, g/cm^3
Alümiyum alaşımı	2,7
E-Camı	2,54
S-Camı	2,48
Karbon fiber (grafit)	1,95
Karbon fiber (karbonumsu)	1,63
Kevlar 49	1,44
Titanyum alaşımı	4,43
Çelik	7,89
DGEBA (epoxy)	1,16

2.2.3 Cam elyafta yüzey işlem ve kaplama

Cam elyafların yüzey işlemleri hem fiziksel ve hem de kimyasal yollar ile matriks ile arasındaki bağ kuvvetini arttırmak ve elyaf yüzeyinin nem ile aktive olabilecek sıvıların etkisinden korumak için yapılır. Seramik parçacık ve matriks malzemesi arasında gerçekleşen ıslatma problemleri ile ara yüzeyde istenmeyen faz oluşumları da üretim aşamasında ortaya çıkan sorunlardandır [55, 56]. Matriks faz ve takviye fazı tam birleşimi sağlayacak şekilde tek bir malzeme gibi hareket etmelidir. Al-MMK larda karşılaşılan ıslatılabilirlik sorunu alüminyumun 700-800 °C ergime sıcaklık aralığında sınırlıdır. Isıya maruz kalma süresi arttırıldıkça heterojen bir kompozit oluşur ve matriksin istenmeyen kırılgan yapısına sebep olur [57]. Uzun süreli ısıya maruz kalmadan dolayı oluşan kırılgan yapı, oluşan kompozitin mekanik özelliklerini de düşürür. MMK'lerin üretiminde ara yüzey bağı mutlaka kurulmalıdır. Bunun için MMK lerde yüksek ara yüzey mukavemet için ıslatılabilirliği arttırmak, kimyasal etkileşimleri kontrol etmek, oksit oluşumunu en aza indirmek gerekir. Islatılabilirlik sorunu kompozit üretmede mutlaka aşılmalı ara yüzey bağ mukavemeti sıvının yüzey gerilimini yenmelidir. Ara yüzey bağ mukavemeti, fiber veya takviye elemanı türü, makriks türü ve matriks-fiber ara yüzeye bağlıdır.

Temel olarak iki çeşit bağ tipi vardır.

1- Mekanik bağ

2- Kimyasal bağ

Matriks ve fiber arası bağı kuvvetlendirmek için fiberlerin kaplanması çözüm yollarından birisidir.

Genel olarak, metal kaplama çökeltme (vakumla metali buharlaştırarak kaplama), bilyeli öğütme, akımsız kaplama gibi birçok yolla fiber yüzeyi hazırlanabilir [36]. Bu yöntemlere gelince, akımsız kaplama, sulu bir çözeltide indirgeyici madde ile metal tuzu arasındaki kimyasal reaksiyon sonucu metal iyonlarının altlık bir malzeme üzerine metal atomu halinde biriktirilmesine [58] dayanan en etkili tekniklerden biri olarak kabul edilmiştir [26].

2.2.4 Al matriksli kompozitler

Özellikle alüminyum matriksli kompozitler çalışmalarında mikro ve nano ölçülerdeki takviyeli parçacıkların alüminyum alaşımlarının mekanik özelliklerini geliştirmesi ile otomotiv, uzay ve diğer endüstriyel uygulamalar oldukça popüler hale gelmiştir [41, 59-61]. Yaşadığımız bu zamanda bilhassa araba, havacılık, gemicilik, tren yolu taşımacılığı ve spor ekipmanları gibi sektörel alanlarının birçoğunda, kompozit malzemelerin, çoğunlukla kullanılan malzemelerin yerine kullanımları hergün artmaktadır [62, 63]. Artışın sebebi ise kompozitlerin, düşük özgül ağırlıklarının tersine, çok iyi direnç ve dayanım nitelikleri koyulabilir. Ayrıca beklenen dayanım niteliklerinde çeşitli tertiplerde imalatları, yorulma, tokluk ve yüksek sıcaklıklardaki dayanım ntelikleri ile oksitlenme ve aşınma dirençlerinin yüksek olması gibi sebepler de kompozitlerin kullanım yerlerinin artış sebebi olarak belirtilebilir. Araştırmanlar yaptıkları uygulamalarda, kompozit malzemelerin imalat, mukavemet ve işlenerek ölçüye getirmede karşılaşılan sorunları düşürerek, ucuz bir malzeme türünün endüstriyel çalışmalarda yaygınlaştırılmasını hedeflemektedirler.

Seo ve Kang [44], basınçlı döküm yöntemiyle Al kompozitleirn imalatında en başarılı mukavemet veren basıncın bulunması için araştırmalarında matriks elemanı olarak Al-Si alaşımı ve katkı olarak da SiC tanecik kullanmışlardır. Seo ve Kang sıvı metal karıştırma metoduyla ürettikleri ergiyiği kalıba boşaltıp katılaşmadan 70, 100 ve 130 MPa basınç altında Al kompozit malzeme imal etmişlerdir. Mikroyapı incelemeleri ve çekme deneyleri sonucunda matriks ve katkı malzemesi arasındaki ıslanabilirliğin ve Al kompozit malzemelerin çekme mukavemetinin, uygulanan basınçla arttığını belirlemişlerdir [44].

Al-MAK'ların mikroyapılar ve Al-MAK mekanik özellikleri mikro ve nano ölçülerdeki takviye parçacıklarının ölçü ve ağırlık oranı, dağılım gibi mikroyapı oranlarından güçlü şekilde etkilenir. Bu faktörlerin arasında takviye parçacıklarını

dağılımı, mikroyapı ve Al-MAK in mekanik özellikleri malzeme ve üretim metodundan dolayı etkilenir. Karıştırma döküm prosesi sırasında alüminyum matriks içindeki mikro ve nano ölçülerdeki parçacıkların eklenmesinde önemli iki probleme dikkat edilmelidir: ıslanabilirlik ve parçacıkların dağılımı; bu iki parametreye dikkat edilmezse Al-MAK ve Al-MNK nın her ikisinin mekanik özelliklerinde zararlı sonuçlara sebep olur.

Sıkıştırma döküm kompozitleri, kum döküm kompozitlerine göre mikroyapı olarak oldukça farklı özellikler göstermektedir. Bu farklılıklar takviye elemanı dağılımına, alaşım içindeki hava boşluğuna, tane boyutuna, silisyum miktarına ve gözeneliliğe bağlıdır. Dendrit hava boşluğu, boyutu ve segregasyon basınçlı dökümde oldukça azdır [64]. Kum dökümde ise buna kıyasla yaklaşık üç kat fark vardır [65].

Literatür çalışmalarında, Al-MAK imalatında kullanılan katkı malzemesinin başarı ile ekleme operasyonun uygulanabilemsi amacıyla uygun metot ve malzeme bileşiklerinin seçiminin önemli olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, ergimiş metal karıştırma metodu ile kompozit imalatında tanecik yüzde değerinin azalması ve tanecik ölçüleirnin artması ile imalatın kolaylaştığı ve imalattan sonra araştırmalarda gözenek ve tanecik aglomerasyonun azaldığı gözlenmiştir [41-43, 47].

Al-MAK'larda ana yapıyı ve sistemi oluşturan alüminyum alaşımıdır. Diğeri ise alüminyum/alüminyum alaşımı içerisine yerleştirilmiş yapıdır ve örneğin SiC, Al_2O_3, B_4C ve TiC çoğunlukla ikincil faz olarak güçlendirici görevini üstlenir. Farklı özelliklerdeki malzemelerde bileşim haline getirilmiş bileşenin özelliği ikincil faz olan sağlamlaştırıcı fazının ayırt edici özelliğine ve hacmi ile kıyaslanan katkı oranına göre değişir. Al-MAK'lar ötekilere nazaran; yüksek mekanik özellik, daha iyi sertlik, azaltılmış yoğunluk, yüksek sıcaklık nitelikleri, kontrollü terma genleşme sabiti, elektriki özellikleri, daha iyi aşınma ve abrasif nitelikleri, bilhassa yığın kontrolü ve daha iyi sönümleme sığası niteliklerine göre faydaları vardır. Yukarıdaki faydaları daha iyi kullanabilmek için değerlendirmeler yapılabilir. Örnek olarak saf alüminyum, hacimsel olarak %60'a kadar elyaf katkısı ile elastik modülü 70 GPa dan 240 GPa kadar çıkartılabilir. Farklı yönden değerlendirildiğinde saf alüminyum içine hacimsel olarak %60 alümina elyaf katkısı malzemenin genleşme katsayısını 24 ppm / ^oC den 7 ppm / ^oC e azaltır. Ek olarak Al-%9Si-%20 SiC kompozitin aşınma dayanımı gri dökme demirin niteliğinden daha iyi olabilmektedir. Bütün bu değerlendirmeler

göstermektedir ki alüminyum alaşımı uygun katkı fazları ile desteklendiğinde nitelikleri iki veya üç kata kadar daha iyi olabilmektedir [32, 66, 67].

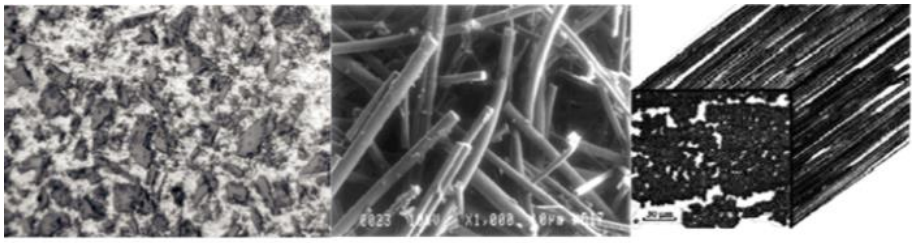
Al-MAK'ler içerdiği katkıya bağlı olarak parçacık katkılı, whisker/süreksiz elyaf katkılı ve sürekli elyaf katkılı olarak çeşitlendirilie. Ek olarak tek tür filament katkılı al kompozitlerin imalat metodu ötekilerde değişiktir.

Parçacık takviyeli Al-MAK'ler çoğunlukla aynı eksenli ve ilintili olarak eşit ölçüdeki seramik parçacıkları içermektedir. Seramik parçacıklar çoğunlukla oksit, karbür veya bor bileşenleri olabilir ve yapısal ve aşınmaya dirençli uygulamalarda katkı oranı %30'lardadır. Çoğunlukla Al-MAK'lar toz metalürjisi ya da sıvı metodla imal edilirler. Parçacık katklı Al-MAK'ların imalatı elyaf katkılı kompozitlere göre daha ucuz olmasıyla birlikte elyaf katkılı kompozitler çok daha iyi mukavemete sahiptir. Kompozitler izotropik niteliktedir ve ekstrüzyon, haddeleme ve dövme operasyonları gibi ikinci işlemler uygulanabilir [32, 66, 67]. Şekil 2.26a'da Al-SiC kompozitin farklı hacimsel takviye miktarındaki mikroyapı resimleri gösterilmiştir.

Whisker ya da süreksiz fiber takviyeli Al-MAK'lar ihtiva ettiği katkı fazı en-boy oranı 5 den daha büyük ve ana yapı içerisinde süreksiz bir yapı ihtiva eden kompozitlerdir. Alüminyum ana yapı kısa alümine fiber ile kuvvetlendirilmiş ve genellikle pistonlarda kullanılan üstün derecede değerli bununla birlikte bilinen MAK'lardır. Basınçlı infilitrasyon yöntemi ile üretilen takviye elemanlı bileşenler bun türde olanlardır. Şekil 2.26.b kısa fiber takviyeli mikroyapıyı göstermektedir. Whisker takviyeli kompozitler veya PM (toz metalurji) yöntemi ile veya infilitrasyon yöntemi ile üretilirler [68]. Whisker takviyeli kompozitlerin mekanik özellikleri parçacık takviyeli veya kısa fiber takviyeli kompozitlerle karşılaştırıldıklarında daha niteliklidir. whiskerin kompozitelerde sağlamlaştırcı amacıyla kullanımı yakın zamanda sağlığa olan kötü sonuçlarından dolayı azalmıştır. Sonuça olarak bu tip MAK'ların kar amaçlı kullanımı kısıtlandırılmıştır. Kısa elyaf güçlendiricili kompozitler sürekli elyaf ve parçacık güçlendiricili kompozitler arasında özelliklere sahiptir [32, 66, 67].

SiC, alümina veya sürekli karbon elyaf şeklindeki güçlendirici elemanlar sürekli elyaf güçlendirici Al-MAK türlerindedirler. Dairesel olan bu tiplerin dış ölçüleri 20 μm'den daha küçüktür. Kompozit üretiminden önce bu fiberler paralel, dokunmuş veya örülmüş olabilir. %40 kadar hacimsel fiber ihtiva eden Al-MAK'lar basınçlı infilitrasyon tekniği ile üretilirler. Son gelişmelerle %60 alümina fiber takviyeli sürekli

fiber kompozitler geliştirilmiş ve 1500 MPa çekme mukavemeti ve 240 GPa elastik modüle sahiptirler [32, 66, 67]. Bu kompozitler basınçlı infilitrasyon yöntemi ile üretilmektedir. Şekil 2.26.c sürekli fiber takviyeli MAK'leri göstermektedir.



a) b) c)

Şekil 2.26 : a) Al-%30SiC *750 b) Kısa fiber morfolojisi c) AA6061-%50Al_2O_3 fiber takviyeli kompozit numunenin optik mikroskoptaki üç boyutlu şematik görünüşü [32, 66, 67].

Literatürde, alüminyum esaslı Al-MAK ların çeşitli ölçü ve ağırlık oranlarındaki seramik bazlı takviye parçacıklarının mekanik özelliklerini değerlendirmek, mikro ve nano ölçülerdeki takviye parçacıklarının etkilerini değerlendirmek için çalışmalar yapılmıştır [69]. Bu çalışmada, kompozitlerin en iyi mekanik özelliklerini gösterir parametrelerin optimum değerlerde olması birbirinden farklıdır. Bunun sebebi ise kompozitlerin aynı üretim şartlarında üretilmemesi, seçilmiş ölçü ve ağırlık oranlarının farklı olmasındandır. Bu sebeple mikro ve nano ölçülerdeki partiküllü kompozitleri kıyaslamak zordur.

2.2.5 Alüminyum matriksli kompozitlerde katı üretim yöntemi

Alüminyum alaşımlarının toz metalurjisi ile seramik esaslı kısa elyaf/whisker parçacık karışımı Al-kompozitlerde yoğun olarak kullanımda olan üretim tekniğidir. Üretim nemsiz ve sıvı karışım ortamında yapılır. Karıştırma işlemini çoğunlukla soğuk sıkıştırma, paketleme, gaz atışı ve en üst sıcaklıkta pekiştirme, Sıcak isostatik presleme ile ekstrüzyon işlemlerinden oluşmaktadır. Toz metalürji metodu ile üretilmiş Al kompozitler çoğunlukla oksijen içerir. Güçlendirme fazının hacimsel oranı metal parçacıklarının geçmişine ve elde etme metoduna göre 0,05 ile 0,5 arasında değişebilir. İnce oksit parçacıkları dispersiyon sertleşmesi etkisi gösterebilir ve genellikle ısıl işlem esnasında ana yapı özelliği üzerinde kuvvetli etkiye sahiptir.

2.2.6 Alüminyum matriksli kompozitlerde sıvı üretim yöntemi

2.2.6.1. Sıvı üretim yönteminde karıştırma döküm

Karıştırmalı döküm, matriks malzemesinde takviye elemanını karıştırmak için vortex oluşturmak üzere mekanik bir karıştırıcının prosese dahil edildiği döküm işlemidir. Maliyeti, seri üretime uyguluğu, basit olması, kompozit yapının daha kolay kontrolü nedeniyle metal matriks kompozitlerin üretimi için uygun bir yöntemdir [69]. Yöntem seramik parçacıkların sıvı alüminyum içine karıştırılması ve karışımın katılaşması prosesini içerir. Bu işlemde en kritik konu metal parçacıkları ve sıvı alüminyum arasında kaliteli bağ oluşması açıkçası sıvı fazın katı fazı ıslatabilmesidir. Bildiğimiz en kolay ve kar amaçlı en çok kullanılan teknik girdap ya da karıştırma dökümdür. Girdap tekniği karıştırıcı yardımı ve ergimiş alaşımın içine seramik parçacık eklenmesi ile yapılmaktadır. Bu yöntem ilk defa Surappa ve Roghati (1881) tarafından Hindistan Bilim Enstitüsünde geliştirilmiştir [68].

Mikroyapısal düzensizlik sıvı içerisinde ve katılaşma esnasında parçacıkların belirli bölgelerde yığılması ve toparlanması veya birikmesinden kaynaklanabilir. Kompozit içerisinde katkı fazının düzensiz dağılımı, katılaşma esnasında sıvı faz içinde hareketli fiber ya da seramik parçacıklar ile sıvı fazın ara yüzey etkileşmesi sonucu bir problem teşkil edebilir. Genel olarak 5 ile 100 mm büyüklüğünde seramik parçacıkların sıvı alüminyum alaşımı içerisinde katılımı %30 kadar olmaktadır. Sıvı-parçacık karışımı katılaşma tamamlanmadan önce direk olarak kalıba dökülür veya çamur gibi değerlendirilebilen karışım kütük veya çubuk şeklinde katılaştırılarak sonunda balçık şekline gelinceye dek ısıtılır ve ardından yeniden kalıplanarak kullanılabilir. Bu metod mikron altı çok küçük seramik parçacıkların üretiminde uygun değildir [70].

2.2.6.2. İnfiltrasyon yöntemi

Metal matriksli kompozitler (MMK'ler) üretmek için basınç infiltrasyon işleminde, sıvı metal, takviye malzemesi elyaflarla paketlenmiş bir kalıba basınç altında ya da vakumla enjekte edilir. Sırasıya; kuru elyafların preforma kalıba yerleştirilmesi, sıvı metalin ön forma enjekte edilmesi, sıcaklık kontrollü kalıpta sıvının sertleşmesi, kompozit parçanın kalıptan çıkarılması [71].

Al-MAK'ları üretmek için sıvı alüminyum alaşımı, sürekli fiberlerin/kısa fiberlerin veya parçacıkların arasındaki boşluklara infiltre (emdirme) işlemi yapılır. Katkı

maddesi, fazın özelliğine ve hacimsel oranına bağlı şekilde emme basıncı veya basınç altında MAK infiltre yapılır. Hacimsel olarak %10 dan %70 kadar katkı fazlı Al-MAK'lar farklı infiltrasyonu yöntemi kullanılarak üretilebilirler [71]. Parçanın bütünlüğünü sağlamak için bağlayıcı olarak silika ve alümine esaslı karışımların kullanılması gereklidir. Bu yöntemde gözeneklilik kompozit malzemenin yorulma özelliğini önemli derecede olumsuz etkiler [71].

2.2.6.3. Püskürtme yöntemi

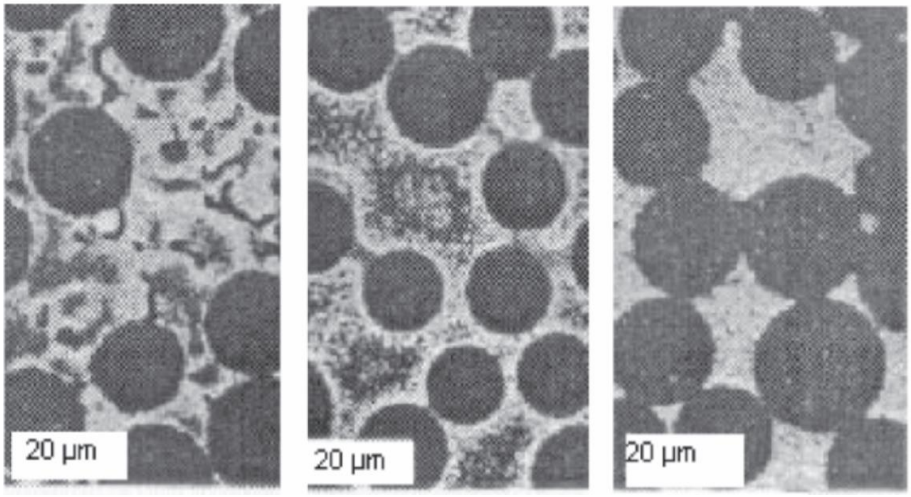
Katkı fazlarının enjekte edilerek Al-MAK'ların üretilmesinde PY (püskürtme yöntemi) kullanılmaktadır. Ancak bu yolla üretim seramik parçacıkların homojen olmayan dağılımına sebep olur. Gözenek, genellikle %5-10 civarındadır [71]. Bu tip kompozit parça üretim yönteminde parçanın tamamen güçlendirilmesi bir sonraki aşamada gerçekleşir. PY ekseri sürekli fiber takviyeli Al-MAK'ların üretimine uygundur. Fiber arası mesafeyi kontrol etmek için fiberler silindirik bir çubuk etrafına sarılır ve ana metal bu fiberlerin üzerine püskürtülürler. Böylece tek tip kompozit oluşturulur. Kütle kompozitler tek tip kompozitlerin sıcak preslenmesi ile oluşturulur. Al-MAK'ların püskürtme yöntemle üretimi, karıştırmalı döküm ile toz metalurjisi yöntemi arasında bir maliyettedir ve kıyaslandığında daha ucuz bir yöntemdir.

2.2.7 Seramik katkı fazını Al-MAK'ların davranışları üzerine etkisi

Kompozitin hem mikroyapısı hem de yüzeysel ve dış yapısı ile ilgili özelliklerini ihtiva edilen seramik katkı oranı etki eder. Al-MMK'lerin yaşlanmaya olan tepkisi, takviyesiz alaşımlara göre tamamen farklı olabilir. Al-MMK'ların ısıl işlem sırasındaki sertleşmesinde değişim matriks malzemesine, takviye elemanına, boyut, morfoloji, kompozit üretim yöntemi, çözelti ve yaşlanma sıcaklıklarına bağlıdır [72].

2.2.8 Al-MAK'ların katılaşması

Takviye malzemelerinin mevcudiyeti alüminyum alaşımının katılaşma davranışlarını değiştirebilir. Takviye fazı erimiş sıvının ve ısının yayınmasında, sıvı eriyiğin heterojen çekirdeklenmesini katalize etmede, sıvı eriyiğin akış yayınımını sınırlanmada ve katı-sıvı ara yüzey morfolojik kararsızlığın oluşmasında bir set gibi görev yapabilir [70] (Şekil 2.27).



Şekil 2.27 : Al-4.5Cu-alümine fiber kompozitin fiberler arası bölgede mikroyapı oluşumu. birincil faz morfolojisi ve ikinci fazın dağılımı fiberler arası mesafeye bağlıdır. mikroyapılar grafik olarak üç durum da gösterilmektedir [70].

Seramik parçacıkların üstünde oluşan ilk fazın heterojen çekirdeklenmesi ana yapı tane büyüklüğünü azalttığı bilinmektedir Ancak tane büyüklükleri parçacık veya fiberin çapından daha büyüktür ve bu durum döküm alüminyum kompozitlerde gözlemlenmektedir. Ana yapı tane büyüklüğü katkı parçacıklarından büyük olması fiberlerin katılaşma esnasında ilk faz tanelenmesi oluşturmadığını gösterir. Al-4.5Cu'ın çekirdek büyüklüğü SiC ya da alümine elyaf tarafından etkilenmez. Gözenekli yapıya sahip TiC bileşenin sinterlenmesi ana yapının çekirdek büyüklüğünü muayyen yönde aynı zamanda ebatta sınırlar. Benzer şekilde ilk fazın homojen olmayan tanelenmesi alümine katkılı Al-Cu-Ti alaşımında oluşur [73].

2.2.9 Seramik fazın al alaşımının yaşlanma sertleşmesi davranışına etkisi

Alüminyum alaşımlarının yaşlanma sertleşmesi davranışı genel olarak katkı fazı ile değiştirilebilir. Bu değişim ana yapıya, parçacık büyüklüğüne, morfolojiye, katkı fazının hacimsel oranına ve üretim yöntemine bağlıdır. Bu değişimler şu şekilde sıralanabilir.

Al-Cu-Mg ana yapılı bileşimler güçlendiirlmemiş alaşımlara nazaran hızlı yaşlanırlar. Çökelme sıcaklığı hacimsel katkı fazı artıkça azaldığı tespit edilmiştir. TM Al-Cu-SiCp kompozitin oda sıcaklığındaki yaşlanma davranışı döküm veya ekstrüze kompozite göre oldukça farklıdır. 6061 alüminyum alaşımının yaşlanma karakteri fiberlerin varlığına göre önemli ölçüde değişir. TiC parçacıkları 7075 Al alaşımlarının yaşlanma kinetiğini geciktirirler. Seramik fazın birleşmesinden kaynaklanan Al

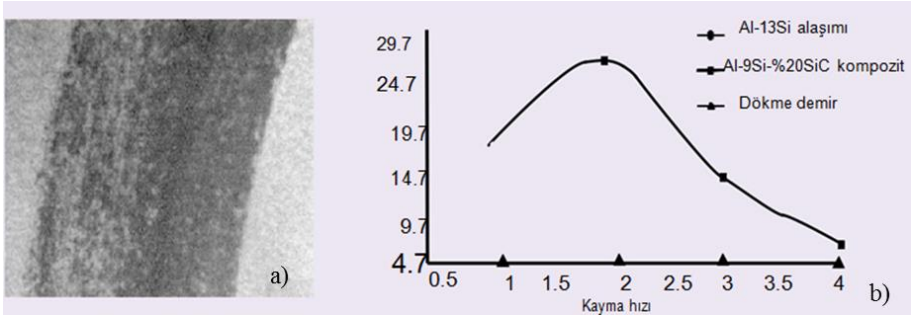
alaşımlarının yaşlanma özelliklerindeki değişimler kısmi olarak yer değişikliği yoğunluğundan kaynaklanmaktadır. Seramik parçacık ile Al alaşım ana yapı arasındaki genleşme katsayısının uyumsuzluğu dislokasyon yoğunluğunun artmasına neden olmaktadır. Artan bu yoğunluk ve sonrasındaki alüminyum alaşımının yaşlanma davranışındaki değişimler, katkı fazının kompozitin içyapısı ile ilgili etkisi açısından önemlidir [74-76].

2.2.10 Artık ısıl stresler

Al kompozitler çoğunlukla 500 ^{o}C'den çok daha yüksek döküm sıcaklıklarında üretilirler. Soğuma esnasında çok fazla termal srtese uğrarlar. Isıl streslerin büyüklüğü katkı fazına, hacimsel oranına ve çekirdek büyüklüğüne bağlıdır. Örneğin, Al-%30SiCp MAK'larda ısıl stresler 200 MPa değerinden daha fazladır. Al kompozitlerin işlevsel çalışma özellikleri ısıl streslerin tesiri altındadır. Katkı fazının sebep olduğu artık stresler MAK'ların yorulma ve kırılma kriterlerine etki eder. [70].

2.2.11 Katkı fazının dış yapıya etkileri

Son yıllarda SiCp parçacıkların dış yapıya etkisi Al kompozitlerden ürün haline gelmiş fren tutucu-fren flanşı çifti için etkili halde kullanılır [70]. Al kompozit fren tutucu fren flanşı üstünde hareket ederken değdiği alanlarda ikili sürtünme, aşınma ve yağlama ara alan tabakaları oluştururlar. Bu şekilde ara alan tabakaları flanşın aşınma dayanımını olumlu yönde çok daha yukarı çeker. İkili katman oksit karışımı içeriyorsa yer değiştirme esnasında tutucu Al kompozit fren flanşına doğru malzeme hareketi oluşur. Malzeme transferi ve tribolojik tabaka çitlerinin oluşumu SiCp etkisi ile oluşmaktadır. Böylece tribolojik tabaka oluşumu SiC'ün dış yapıya etkisi olmaktadır. Şekil 2.28.a'da araç fren tutucunun flanş temas alanı ile oluşturduğu ürtünme, aşınma ve yağlama katman çifti görüebilir. Şekil 2.28.b de Al kompozitler, Al-Si alaşımı ve demir dökümün fren flanşı olarak çizilmiş aşınma oranları görülmektedir. Şekil 2.28.a ile b, ulaşım düzenlerinde hafif fren flanş malzemesi olarak Al kompozitlerin kullanımında değerli bekleyen bir değer olduğunu ifade eder [68].



Şekil 2.28 : Al-MAK disk ile fren pabucu arasında oluşan tribolojik yağlama çifti, fren pabucuna karşılık takviyesiz Al alaşımı [68].

2.2.12 Al-MAK'ların endüstriyel uygulamaları

Al-MAK'lar endüstriye alanlarda gelişmiş ürünler sınıfında kullanılmaktadır. Al kompozitler kullanımda, yaşam döngüsü, verimlilikte rekabetçilik, etkili gücün kazanımı, düşük bakım bedeli, düşük ses kirliliği seviyesi, çevreye duyarlı ve kirlilikten uzaklık gibi faydalar sağlar. Al kompozitler mühendislik çalışmalarında hala gizemini sürdürmekte ve deneme çalışmaları tüm hızıyla devam etmektedir. Whisker/parçacık/kısa elyaf/sürekli elyaf gibi farklı güçlendirici elemanlarına sahip olan katı ya da sıvı üretim metodları ile elde edilen Al kompozitler çok fazla pratik işler için kullanıma müsaittir [70].

2.2.13 Parçacık katkılı Al-MAK'lar

Endüstriyel kullanımda parçacık katkılı Al-MAK'lar bütünün çoğunluğunu oluşturur. Parçacık katkılı Al kompozitler sanayide toz metalürjisi, karıştırma döküm, ergitme infiltrasyonu, püskürtme, doğal olarak elde edilmektedir. SiC, Al_2O_3, TiC, TiB_2, B_4C seramik parçacıkları katkı faz olarak kullanılır. Parçacık katkılı Al-MAK'lar araç üretimi, havacılık, işlevsel ve ısıl elemanlarda sıklıkla kullanılmaktadır. Parçacık katkılı Al kompozit fren rotorları ve kampanalar dökümcülük ile elde edilmektedir. Al-Mg ve Al-Si ana yapılı Al-MAK'lar SiC ve Al_2O_3 parçacık katkısı ile en az %20 hacimsel oranda takviye edilir. Birçok otomobilin fren elemanlarında kullanılmaktadır (Şekil 2.29) [77].



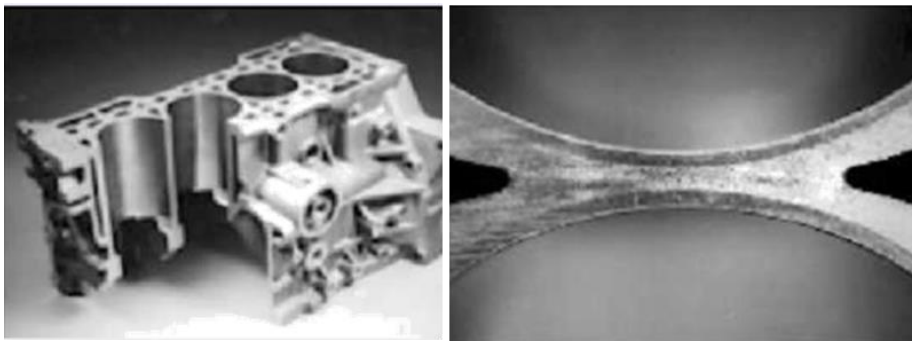
Şekil 2.29 : Al-MAK'lardan mamul otomobil fren elemanları [78].

Parçacık katkılı Al esaslı kompozitler helikopterler pervane kollarında, uçuş ugunluk denetimi sıvı basıncı ile çalışan manifoltlar %40 SiC katkılı bileşenlerde elde edilmekte, başarılı şekilde kullanılmaktadır. En iri çekirdekli ve hacimsel katkılı bileşenler tren ve arabaların durdurma ekipmanlarında kullanılmaktadır. Al kompozitler fren pabuçları genellikle Avrupa'daki demir yollarında kullanılmaktadır [70].

ABD'de ise bazı nitelikli yolcu arabalarında kullanılmaktadır. Avrupa'nın en büyük araba üretici Al-MAK' disk frenleri ile üretimini gerçekleştirmektedir. Otomobil uygulamalarında uygulamalar çoğunlukla valfler, krank mili, dişli parçaları ve süspansiyon kollarında görülebilmektedir [70].

2.2.14 Whisker ve kısa elyaf katkılı alüminyum matrisli kompozitler

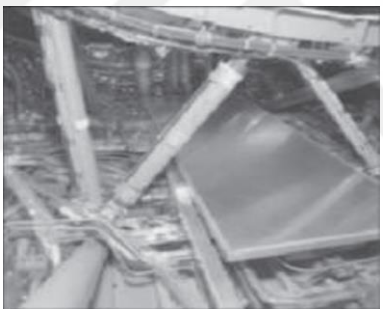
Seramik whiskerlerin korumasız yalın halde transferi sağlık açısından olumsuz sonuçlar doğurduğundan, böyle sınıftaki Al-MAK'ların üretilmesi kısıtlanmıştır. İstisnai olarak sağlık açısında sorun olmayacak ölçülerde SiC whisker'li kompozitlerin üretimi gelişmiş savunma sanayisinde ağır taşıtların ayak paleti halinde kullanılmakta ve üretilmektedir. Böylelikle tankın ağırlığını düşürmede kritik sorumluluk almaktadır. Kısa elyaf katkılı kompozitler piston ve silindir uygulamalarında kullanılmaktadır. Şekil 2.30'da Al-MAK kompozit silindir gömleği karbon ve Al_2O_3 fiber takviyeleri ergimiş alümnyum ana yapı içerisine emdirilerek orta basınçlı döküm yöntemi üretilmektedir [70].



Şekil 2.30 : Fiber takviyeli Al-MAK silindir gömleği [78].

2.2.15 Sürekli elyaf katkılı alüminyum matrisli kompozitler

Karbon elyaf katkılı kompozitler Hubble Uzay Teleskopunun verici ve alıcı direği sinyal kılavuzu şeklinde kullanılmaktadır. Al-MAK çok fazla derinlikte duyarlılık, fazla değerde ısı ve elektrik iletkenliği verirler. 6061 Al-B fiber Al-MAK'lar atmosfer dışına çıkacak mekiğin temel kargo ksımlarında yardımcı olarak kullanılmaktadır (Şekil 2.31).

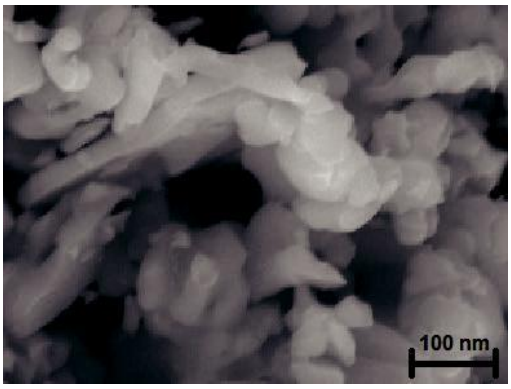


Şekil 2.31 : Al-B Fiber Takviyeli Al-MAK Destekler [68].

Özellikle yakın tarihte alümine elyaf katkılı kompozitler geliştirmiştir. Elyaf katkılı kompozitler çelikle karşılaştırdıklarında yoğunluğu yarısına yakın olmasına rağmen eşit dayanımda Al-MAK'lar oluşturulmaktadır. Bunula birlikte mekanik özellik değerleri 300 °C ve daha iyi çelikle eşit olmaktadır. Çelik Al-MAK'lar kıyaslandığında çeyreği oranında ve saf alüminyumun yarı elektrik iletkenlik değerindedir [70].

2.3 Elyaf takviyeli MMK lar

$AlSi_9Cu_3$ alaşımını güçlendirmek için çeşitli ağırlık oranlarındaki nano ölçülerde (40 nm) ve mikro ölçülerde (50 μm) Al_2O_3 takviye parçacıkları kullanılmıştır. Şekil 2.32 nano ölçülerdeki Al_2O_3 takviye parçacıklarını göstermektedir.



Şekil 2.32 : Nano ölçülerdeki Al_2O_3 takviye parçacıkları SEM görüntüsü [79].

Al_2O_3 takviye parçacıklarının ağırlık oranları ve ölçüleri çizelge 2.7'de verilmiştir [79].

Çizelge 2.7 : Al-MMK ve Al-MNK örnekleri içindeki Al_2O_3 takviye parçacıkları ağırlık oranları ve parçacık ölçüleri [79].

Örnek No	Al_2O_3 (ağırlık oranı) (%)	Al_2O_3 (parçacık ölçüleri)
1	$AlSi_9Cu_3$ alaşımı (takviyesiz)	
2	1	40 nm
3	2	40 nm
4	3	40 nm
5	2,5	50 µm
6	3,5	50 µm
7	5	50 µm
8	10	50 µm

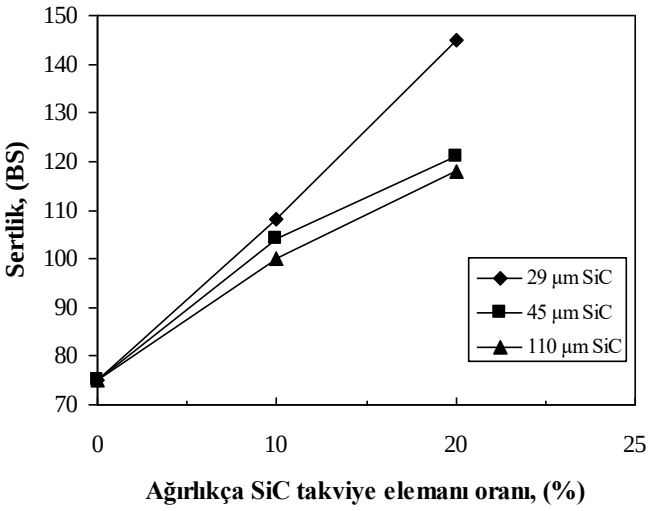
2.4 Elyaf takviyeli Al-MMK ların özellikleri

Uygun takviye malzemesi ve amacına uygun yöntemler ile üretilmiş olan Al-MMK ların mekanik özellikleri belirgin seviyede iyileşmekte ve hatta endüstride çeliğin yerine geçerek yaygınlaşmaktadır. Çizelge 2.8'de 2014 alüminyum alaşımı ile kompozitlerin katkı ağırlık miktarları ve BS (brinell sertlik) ye göre sertlik verileri görülebilmektedir. Üretilen kompozitlerin değerlendirilen sertlik verilerinden, tanecik yüzde ağırlık miktarının artması ve tanecik ölçüsünün azalmasıyla malzemelerin sertliğinin yukarıya çekildiği, fakat artış hızının tanecik yüzde ağırlık miktarının azalmasıyla daha az olduğu anlşılmaktadır [41].

Aynı Al-MMK'nın verilerinin grafiğe dönüştürülmüş hali aşağıdaki şekil 2.33'te görülebilmektedir.

Çizelge 2.8 : 2014 alüminyum alaşımı ile MMK malzemelerin takviye ağırlık oranları ve BS ye göre sertlik değerleri [41].

Malzeme	%SiC (Ağırlıkça)	Sertlik Değeri (BS)
2014 matriks	0	75
2014 + 29 µm SiC	%10	108
2014 + 29 µm SiC	%20	145
2014 + 45 µm SiC	%10	104
2014 + 45 µm SiC	%20	121
2014 + 110 µm SiC	%10	100
2014 + 110 µm SiC	%20	118



Şekil 2.33 : MMK malzemelerin sertliğinin yüzde ağırlık SiC oranı ile değişim [41].

MMK malzemelerde mukavemet artış mekanizmaları aşağıda özetlenmektedir [40]:

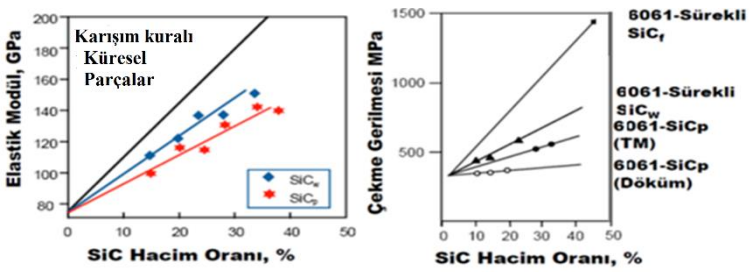
- Klasik kompozit mukavemet artışı (yük transferi).
- Dispersiyonla mukavemet artışı.
- Kalıntı elastik gerilmeler.
- Tekstüre farklılıkları.
- Termal genleşme katsayıları arasındaki farkın bir sonucu olarak dislokasyon oluşumuna bağlı yüksek dislokasyon yoğunlukları.
- Yüksek dislokasyon yoğunluğu oluşumunun sonucu olarak küçük alt tane boyutu.

Matriks olarak çeşitli metal, takviye elemanı olarak sürekli fiber, sürekli fiber, kısa fiber, whisker ve partikül takviyeli MMK malzeme sistemleri ve mekanik özellikleri aşağıdaki Çizelge 2.9'da verilmiştir. Fiberler ve değerleri koyu renkte, partikül takviyeler ve değerleri italik ve altı çizilmiş, matriks ise değişiklik yapılmadan verilmiştir.

Çizelge 2.9 : MMK lardaki matriks metal, sürekli fiber, kısa fiber, whisker ve partikül takviyeli MMK malzeme sistemleri ve mekanik özellikleri [80].

Matriks	**Fiber / *Partikül* (%)**	σ_y (Mpa)	σ_m (Mpa)	e (%)	E_m (Gpa)
Saf Al (Ticari)	-	30	80	40,0	72
Saf Al (Ticari)	**Kısa C (15)**	**-**	**166**	**9,5**	**85**
Al-4.5 Cu-T6	-	107	182	17,0	71
Al-4.5 Cu-T6	*SiC (10)*	*184*	*198*	*3,5*	*82*
Al 1100-T6	-	63	99	41,0	-
2014 Al-T6	-	414	409	10,0	72
2014 Al-T6	*Al_2O_3 (20)*	*483*	*503*	*0,9*	*101*
2024 Al-T6	-	268	388	8,2	-
A 356 Al-T6	-	200	275	6,0	69
A 356 Al-T6	*SiC (20)*	*331*	*352*	*0,4*	*97*
6061 Al-T6	-	276	326	15,0	68
6061 Al-T6	**SiC kaplı B (50)**	**-**	**1400**	**-**	**225**
6061 Al-T6	**Grafit (30)**	**-**	**517**	**0,4**	**152**
6061 Al-T6	*Al_2O_3 (20)*	*359*	*379*	*2,1*	*99*
7010 Al-T6	**Saffil (15)**	**-**	**220**	**0,2**	**92**
Mg-2 Ag-T6	**Saffil+SiCp (15)**	**280**	**340**	**-**	**74**
Ti-6 Al-4 V	**Sürekli SiC (35)**	**-**	**1750**	**-**	**300**
Al 1100	**SiCw(20)**	**183**	**324**	**5,0**	**-**
Al 2124-T6	**SiCw(20)**	**497**	**890**	**3,0**	**130**
Al 2124-T4	*SiC (15)*	*410*	*540*	*10,0*	*98*
A 357	*SiC (20)*	*386*	*393*	*-*	*100*
Mg-Zn-Al	*SiC (20)*	*260*	*328*	*2,5*	*80*

Şekil 2.34'de Al alaşımlında SiC partikül ve whiskerlerin elastik modülene ve mukavemete olan etkileri görülebilmektedir [80].

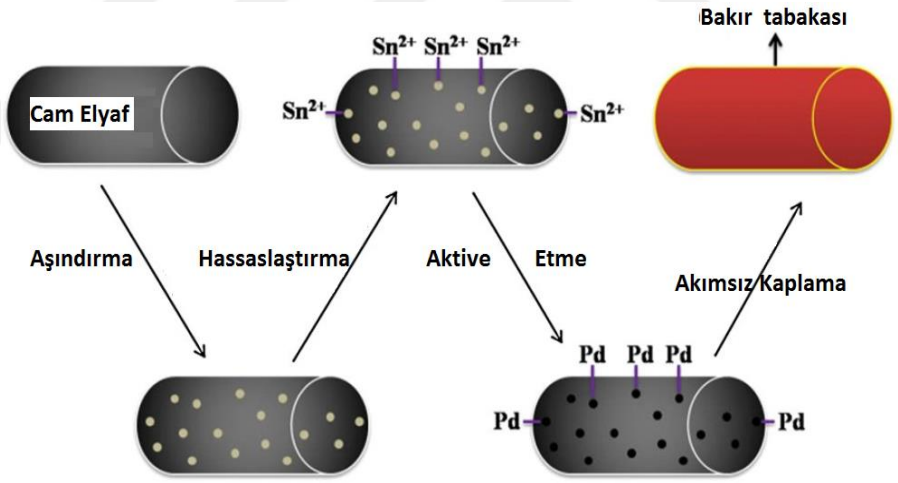


Şekil 2.34 : Al alaşımlında SiC partikül ve whiskerlerin elastik modülüne ve mukavemete olan etkileri [80].

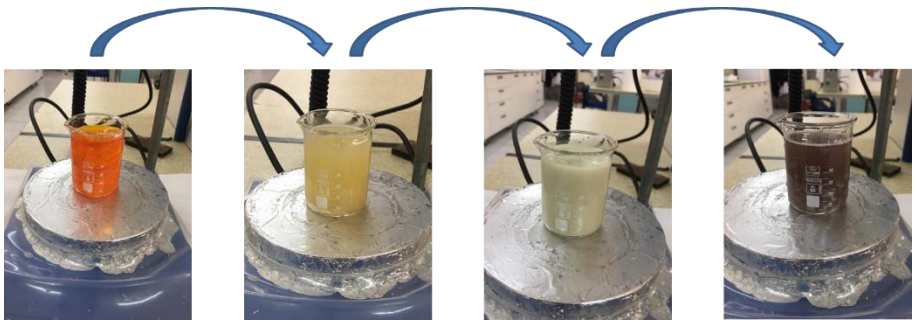
3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1 Ön Çalışma

Cam elyafın kaplanması bu tez çalışmasının kritik parametrelerinden biridir. Bu sebepten gerçekleştirilmiş olan kaplama işlemi proseslerinde optimum şartların elde edilmesi için bir ön çalışma gerçekleştirilmiştir. Ön çalışmada, akımsız bakır kaplama işlemi önceden literatür araştırmaları ile [81] belirlenmiş olan kimyasallar ile akımsız kaplama işlemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bakır kaplı cam elyafı hazırlamak için akımsız bakır kaplama işlemi Şekil 3.1'deki gösterimde olduğu şekilde yapılmıştır. Gerçekleştirilen kaplama işleminin sırayla çözelti görünümleri ise Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.1 : Cam elyafın akımsız bakır kaplama işleminin şematik gösterimi [81].



Şekil 3.2 : Cam elyafın akımsız bakır kaplama işlemi sıralaması.

Takviye elemanı olan cam elyafın akımsız Cu kaplama yöntemi ile kaplanması Konya Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümünde gerçekleştirilmiştir. Kaplama öncesinde cam elyaf malzemelere aşındırma, hassaslaştırma, aktive etme gibi bir dizi yüzey hazırlama işlemi uygulanarak daha sonrasında kaplamaya geçilmiştir.

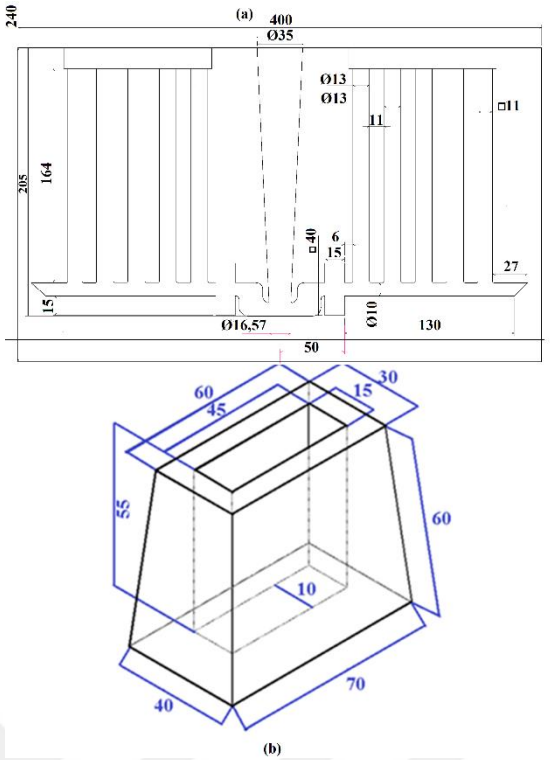
Akımsız bakır kaplama işlemi Şekil 3.1'deki gösterimde olduğu şekilde yapılmıştır. Özetle;

1. işlem: 3 g cam elyafın 100 mL de kabalaştırılması: 3 g potasyum dikromat içeren sulu çözelti ($K_2Cr_2O_7$) ve 6 mL sülfürik asit (H_2SO_4, ağırlıkça %98), 30° C'de 15 dakika boyunca ultrasonic banyoda karıştırıldı ve toplandı.

2. işlem hassaslaştırma. 2 g kalay (II) klorür ($SnCl_2$) ve 1 mL hidroklorik asit (HCl, ağırlıkça %37) içeren 100 mL çözeltiye aktarıldı, 15 dakika boyunca karıştırıldı.

3. işlem aktifleştirme. 0,01 g paladyum (II) klorür ($PdCl_2$) ve 0,1 mL HCl'den (ağırlıkça% 37) oluşan 100 mL çözelti içinde gerçekleştirildi, 15 dakika boyunca karıştırıldı, damıtılmış suyla durulandı. Ardından akımsız kaplama işlemi yapıldı. Yani, 3 g $CuS0_4$ 5 H_2O ve 11 g disodyum etilendiamin tetra asetat (EDTA-2Na) 90 mL damıtılmış suda çözündürüldü ve ardından 10 mL sodyum hidroksit çözeltisi (NaOH, 10 M) ilave edildi. Karıştırılan çözelti mavi renkle şeffaf hale geldi ve aktivasyondan sonra cam elyafları eklendi. Sıcaklık 60 °C'ye çıkarıldıktan sonra 2 mL $N_2H_4H_20$ (ağırlıkça% 40) damla damla eklendi. Karışım mekanik olarak karıştırıldı ve reaksiyon 60 °C'de 50 dakika devam etti. Gerçekleştirilen kaplama işleminin sırayla çözelti görünümleri ise Şekil 3.2'de gösterilmiştir.

Cu kaplanmış cam elyaflar hazırlandıktan sonra Şekil 3.3'te gösterilen kum modelleri ile kum kalıpları hazırlanmıştır. ETIAL141 (AlSi12Fe) alaşımı 750 °C'ye kadar ısıtılmıştır. Isıtılmış olan alaşıma 20 dakika foseco marka gaz alma ekipmanı ile rotora bağlı pervane döndürülüp Ar gazı ile gaz giderme işlemi yapılmıştır. Yapılan bu işlemlerden sonra elde edilen kaplanmış cam elyaflar iki farklı yöntem kullanılarak sıvı alüminyuma ilave edilmiştir. İlk yöntemde kaplanmış cam elyaflar kepçedeki sıvı alüminyum içerisine ilave edilerek karıştırılmıştır. Karışım kumdan yapılmış kalıba dökülmüştür. Diğer yöntemde ise karıştırma yapılmamış, sıvı alaşım ve cam elyaf kalıba eş zamanlı beslenmiştir. Ön çalışmada kullanılan kum kalıbı şematik gösterimi Şekil 3.3a'da ve RPT kum kalıbı şematik gösterimi Şekil 3.3b'de görülebilir.



Şekil 3.3 : (a) Ön çalışmada kullanılan kum çekme kalıbına ait ölçüler, (b) RPT kum kalıbına ait ölçüler.

3.2 Ana Çalışma

Bu tezde tedariği ve kullanımı kolay, yaygın olarak kullanılan ve kimyasal kompozisyonu Çizelge 3.1'de verilen A380 (EN AC 46000) alüminyum alaşımı matriks olarak, Çizelge 3.2'de kimyasal kompozisyonu ve özellikleri verilen E-tip cam elyaf takviye elemanı olarak çalışılmıştır.

Çizelge 3.1 : A380 (EN AC 46000) alaşımının spektral analizi.

Alaşım	Si	Fe	Cu	Mn	Zn	Ti	Al
A380 (EN AC 46000)	8.153	0,743	3.087	0.440	0.450	0.020	Kalan

Çizelge 3.2 : E-tip cam elyaf özellik ve kimyasal kompozisyonu.

Fiber	Dia. µm	ρ g/cc	E Gpa	E msi	σ_{TU} Gpa	σ_{TU} ksi	ϵ_f %	α_1 /^{0}F	α_r /^{0}F	ν	Dielektrik gücü V/mil	Termal genleşme 10^{-6} / ^{0}K	Termal iletkenlik Wm^{-1} K^{-1}
E-tip	10	2,54	72	11	3,45	500	4,8	2,8	2,8	0,20	498	5	10,4

	Kompozisyon % değerleri					
	SiO_2	Al_2O_3	B_2O_3	CaO	MgO	Diğerleri
E-tip	55	11	6	18	5	5

A380 alaşımı incelendiğinde %8-11 aralığında Si ve %2-4 oranında Cu içeren bir alaşım olduğu görülmektedir. E-tip cam elyaf ise %50'den fazla oranda SiO_2 içermektedir.

3.2.1 Deneysel çalışmada kullanılan malzemeler ve cihazlar

3.2.1.1 Kaplama işleminde kullanılan malzemeler ve cihazlar

Ultrasonik banyo;

Temizlenmesinin zor olduğu düşünülen maddelerin temizliği için kullanılmaktadır. Su haznesi ve sepetine göre malzemelerin uygunluğu seçilebilmektedir. Çalışma sıcaklığı ve zaman aralığı ayarlanabilmektedir. Ultrasonik dalgalarla oluşan enerjinin mikro düzeyde baloncuklar oluşturması ve patlaması ile kirli yüzeylerin temizlenmesi sağlanmaktadır. Bu tezde, Şekil 3.4'te verilen ultrasonik banyo cam elyafların yüzeyini Ni-B kaplamaya hazırlamak için kullanılmıştır.



Şekil 3.4 : Ultrasonik banyo.

Isıtıcılı manyetik karıştırıcı;

Kimyasal malzemelerin ve sıvıların, camda manyetik alan etkisi ile numunelerin homojen bir şekilde karıştırılmasını sağlamaktadır. Belirlenmiş zaman, hız ve sıcaklık aralıklarında çalışabilmektedir. Aşındırılıp hassaslaştırması tamamlanmış olan cam elyafların, kaplamak üzere Ni-B karışımını ısıtıp karıştırmak için Şekil 3.5'de verilmiş olan ısıtıcılı manyetik karıştırıcı kullanılmıştır.



Şekil 3.5 : Isıtıcılı manyetik karıştırcı (HSD 180).

3.2.1.2 Döküm işleminde kullanılan malzemeler ve cihazlar

Ergitme ocağı;

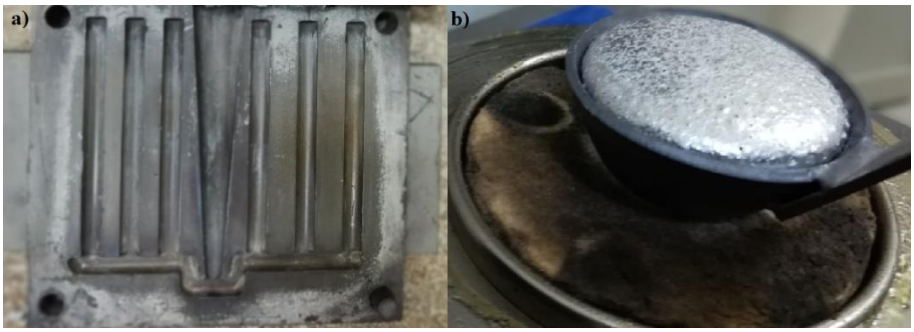
Dökümün ergitilmesi işleminde 5 kW gücündeki 22 kg kapasiteye sahip elektirkli direnç ocağı kullanılmıştır. Şekil 3.5'da elektrikli direnç ocağına ait görsel verilmiştir. Ergitme A50 boyutlarında SiC pota kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.5b'de işlem görmemiş A50 boyutundaki SiC potası (sağda) ve sinterlenip boyanmış pota görseli (solda) verilmiştir.



Şekil 3.6 : a) Elektrikli direnç ocağı, (b) A50 ölçüsünde SiC pota.

Döküm kalıpları ve RPT test cihazı;

Dökümlerde, Ni-B kaplı cam elyafları A380 alaşımına ilave edip çekme test parçası dökmek için Şekil 3.6a'da gösterilmiş olan kokil çekme test kalıbı ve takviye elemanı olarak kullanılan kaplanmış cam elyafların sıvı metal kalitesine etkisini karakterize edebilmek için Şekil 3.6b'de gösterilmiş olan RPT kalıbı kullanılmıştır. Şekil 3.7b'de verilen RPT kalıbı Şekil 3.8'de gösterilen RPT test cihazının vakum odasına yerleştirilerek kullanılmıştır.



Şekil 3.7 : (a) Kokil çekme kalıbına ait resim, (b) RPT kalıba ait resim



Şekil 3.8 : RPT test cihazı.

Gaz giderme;

Dökümün kaliteli ve poroziteden arındırılmış halde gerçekleştirilebilmesi için gaz giderme işleminde grafit lans kullanılmıştır. Sıvı metale gaz giderme işlemi için daldırılmış grafit lans görüntüsü Şekil 3.9'da verilmiştir. 700 ile 1000 °C'ye kadar çalışma aralığına sahip olan grafit lans A50 SiC potada kullanılabilecek şekilde özel ürettirilmiştir. Alaşımlarda Argon (Ar) kullanılarak gaz giderme işlemi yapılır.



Şekil 3.9 : Grafif lansa ait resim.

3.2.1.3 Isıl işlem için kullanılan cihazlar

Kül Fırını;

T6 ısıl işlemi için numunelerin belirli bir sıcaklığa ısıtılması ve o sıcaklıkta belirli bir süre bekletilmesi için Şekil 3.10'da verilen kül fırını tercih edilmiştir. Fırın çalıştırılmadan önce istenilen sıcaklık, istenilen sıcaklığa çıkış süresi, istenilen sıcaklıkta bekleme süresi ve ardından soğuma süresi verileri girilebilmektedir



Şekil 3.10 : Çözeltiye alma işleminde kullanılan Protherm marka kül fırın.

Etüv;

T6 ısıl işlemi için Şekil 3.10'da görülen fırından alınan numuneler kaynar suda su verme işleminin ardından yapay yaşlandırma işlemini gerçekleştirmek için Şekil 3.10'de verilen Binder marka etüve bırakılmıştır. Numunelerin sabitlenmesini istediğimiz sıcaklık etüve manuel olarak girilmiştir. Etüvün herhangi bir kapanma süresi olmamakla birlikte istenilen zamanda kapatılabilmektedir. Ayrıca etüv vakuma da alınabilmektedir. Ayrıca, döküm öncesi kokil kalıpların ön ısıtma işleminde de yine Şekil 3.11'de verilen etüv kullanılmıştır.



Şekil 3.11 : Yaşlandırma ve kalıp ısıtma işleminde kullanılan Binder marka etüv.

3.2.1.4 Karakterizasyon için kullanılan cihazlar

Optik mikroskop;

Mikroyapı incelemelerini gerçekleştirmek üzere hazırlanan numuneler Şekil 3.12'de verilen iki farklı optik mikroskop ile incelenmiştir. Şekil 3.12b'de verilen mikroskop zımpara ve parlatma işlemi esnasında numune yüzey özelliklerinin kontrolü için kullanılmıştır. Şekil 3.12a'da verilen optik mikroskopta ise numunelerin mikroyapı incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Bu mikroskop Nikon marka olup Clemex görüntü analiz sistemi ile desteklenmekte ve bilgisayara entegreli bir şekilde çalışmaktadır.

Büyütme oranı olarak 50X, 100X, 200X, 500X ve 1000X büyütme kapasitesine sahip bu mikroskop ile farklı büyütmelerde mikroyapı görüntüleri elde edilmiştir.

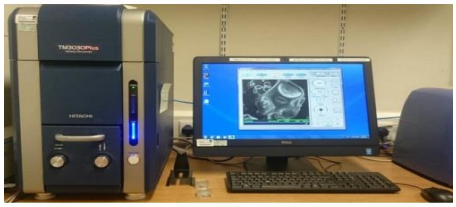


Şekil 3.12 : Optik mikroskoplar; a) Nikon marka Clemex görüntü analiz programı ile entegreli çalışan mikroskop, b) parlatma sonrası ilk incelemelerin yapıldığı Huvitz markalı mikroskop.

Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM);

Aşınma ve korozyon testlerine tabi tutulmuş numunelerin taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemeleri Şekil 3.13a'da verilen Bursa Teknik Üniversitesi Merkezi Laboratuvarda (BTÜ-MERLAB) bulunan Carl Zeiss / Gemini 300 modelindeki SEM cihazı ve Şekil 3.13b'de verilen Uzman Kataforez'deki Hitachi TM3030 model SEM cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Cihaz 2 milyon büyütme kapasitesine sahip ve düşük vakumda yüksek çözünürlüklü sonuç veren, plazma tekniği ile görüntü kirliliğini önleyen, peltier soğutma ile ıslak numuneleri çalışabilen ve elementel analiz ve haritalama yapabilen bir cihaz olarak üstün özelliklere sahiptir.

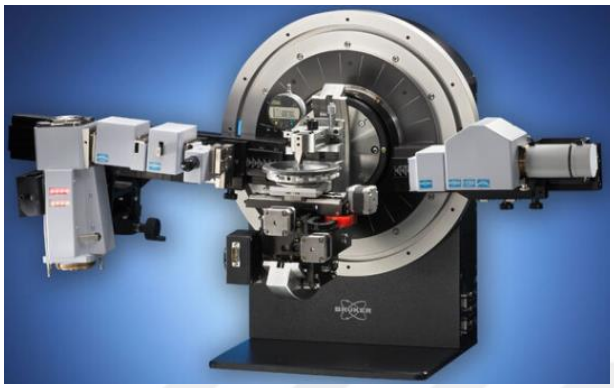




Şekil 3.13 : Taramalı elektron mikroskopları; a) BTÜ-MERLAB'taki Carl Zeiss / Gemini 300 SEM cihazı, b) Uzman Kataforez'deki Hitachi TM3030 model SEM cihazı

XRD analiz cihazı;

Ni-B ile kaplanmış olan cam elyaflarının kaplanıp kaplanmadığını malzeme analizi yaparak ölçmek için Şekil 3.14'te verilen XRD cihaz kullanılmıştır. Cihaz BTÜ-MERLAB'da bulunmaktadır.

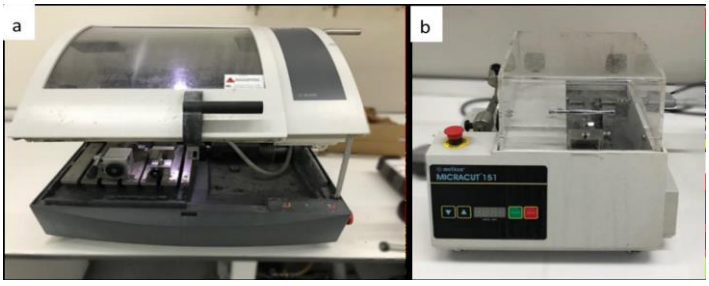


Şekil 3.14 : Ni-B kaplı cam elyafların elementel analizi için kullanılan Bruker AXS/Discovery D8 model X-ray ışınları kırınım cihazı.

3.2.1.5 Numune hazırlamada kullanılan cihazlar

Makro ve mikro kesme cihazları;

Döküm işlemi sonucunda elde edilen parçaların gerekli testlerini yapmak üzere makro ve mikro olarak istenilen boyutlarda kesilmesi Şekil 3.15'de verilen makro ve mikro kesim cihazları ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.15a'da verilen makro kesim cihazı döküm parçalarının kesiminde Konya Teknik Üniversitesi (KTÜN) ve BTÜ'de kullanılmıştır. Cihaza sabitlenen parçaların kesimi cihazın sağ kısmında bulunan ve kesici diskin kesme hareket yönünü belirleyen kol sayesinde gerçekleştirilmektedir. Kesme işlemi iş güvenliği açısından kabin içerisinde ve kapalı bir ortamda gerçekleşmektedir. Cihaz kapağında yüksek darbeye karşı dayanıma sahip şeffaf polimer katkılı malzeme bulunmaktadır. Ayrıca kesme numunesinin ısınmasını önlemek için sisteme bor yağı katkılı su ilavesi yapılmıştır.



Şekil 3.15 : Numune kesiminde kullanılan cihazlar; a) STRUERS marka makro kesme cihazı, b) METKON marka hassas kesme cihazı

Zımpara ve Parlatma Cihazı;

Makro ve mikro kesme işlemi sonunda elde edilen parçaların test ve incelemelerinin gerçekleştirilmesi için numunelere zımparalama işlemi yapılmıştır. Tüm testler ve incelemeler için farklı parametreler altında yapılan zımparalama ve parlatma işlemleri Şekil 3.16'da verilen cihaz yardımıyla gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.16 : Zımparalama ve parlatma işlemlerinin yapıldığı BTÜ'de bulunan ATM marka otomatik cihaz

Cihaz istenilen devir/dakika şeklinde ayarlanabilmekte ve sulu ortamda zımpara yapabilmektedir. Cihaza, zımparalanacak malzemeler bakalite alma işleminden sonra bakalit yatağına takılmakta ve bu işlem otomatik olarak da gerçekleştirilebilmektedir. Ancak bu çalışma kapsamında el ile zımparalama ve parlatma tercih edilmiştir. Cihazın döner diski manyetik olmakta ve manyetiklik özelliği olan zımpara ve parlatma yüzeyleri cihaza kolaylıkla entegre edilebilmektedir.

3.2.1.6 Çekme cihazı

Çekme testlerinin gerçekleştirilebilmesi için şekil 3.17'de gösterilen Bursa Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği laboratuvarındaki SHIMADZU AG-X plus marka 250 kN kapasiteli cihazı kullanılmıştır. Cihaz farkı geometrilerde (silindirik ve düz) ve farklı ölçülerdeki numuneleri sıkabilecek alt ve üst çenelere sahiptir.



Şekil 3.17 : Çekme testi için kullanılan SHIMADZU AG-X plus marka çekme testi cihazı

3.2.1.7 Çentik darbe cihazı

Çentik darbe testlerinin gerçekleştirilebilmesi için Şekil 3.18'de gösterilen Alşa marka ZBC 300J cihazı kullanılmıştır. Bu testler Konya Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümü metalografi laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Cihaz V/U belirli çentikleri açılmış numunelerde kullanılmaktadır. Cihaz önce kendi içinde kalibre edilmekte ve sonrasında 5.5 m/s hızla 160° açı ile düşen çekiç kol vasıtasıyla oluşan enerjiler ölçülebilmektedir.



Şekil 3.18 : Çentik darbe testi için kullanılan Alşa marka ZBC 300J çentik darbe test cihazı.

3.2.1.8 Korozyon cihazı

Korozyon testlerinin gerçekleştirilmesi için Şekil 3.19'da verilen Gamry Interface 1010B Potentiostat/Galvanostat/ZRA cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3.19 : Korozyon testi için kullanılan cihaz ve deney düzeneği.

Cihaz bilgisayar entegreli çalışmaktadır. Çözeltiye birlikte daldırılan referans elektrot, test numunesi ve karşı elektrotun sabitlendiği tutucuların olduğu ayrı bir sistem mevcuttur. Deney düzeneği hassas bir şekilde hazırlandıktan sonra bilgisayar üzerinden Gamry Framework isimli program vasıtasıyla komut verilmekte ve deneyler sıralı bir şekilde otomatik olarak gerçekleştirilmektedir.

3.2.1.9 Bilgisayarlı tomografi (CT) inceleme cihazı

X-RAY görüntüleme ve bilgisayarlı tomografi (X-RAY-CT);

Malzemeye bağlı olarak, malzemenin yoğunluk farkına göre kullanıcılar tarafından yorumlanabilecek görüntü, gözenekliliği, takviye malzemesi homojenliği görüntülemek ve ölçmek için Şekil 3.20'de verilen X-Ray ve C-T cihazı kullanılmıştır. Talaşlı işleme ile test numunesi hazırlama işlemi öncesi ve sonrası numuneler üzrinde X-ray görüntülemeleri ALCAST A.Ş'deki YXLON firması tarafında üretilmiş ve kurulmuş olan CT ve X-RAY özelliği olan cihazda gerçekleştirilmiştir. Cihazın modeli MU2000-D'dir. Cihaz dijital çalışan bir sisteme sahiptir. Talaş kaldırma işlemleri sonrası gerçekleştirilen X-Ray incelemeleri detaylı olarak analiz edilip aralarından seçilen numunelerin bilgisayarlı tomografi (CT) incelemeleri de yine aynı cihazda gerçekleştirilmiştir.

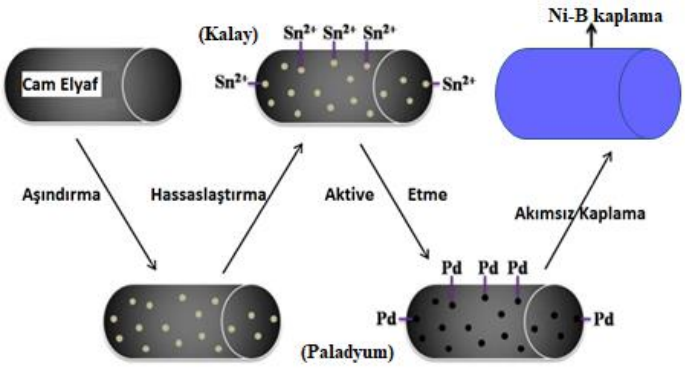


Şekil 3.20 : Döküm içi inceleme X-Ray ve C-T cihazı.

3.2.2 Çalışmanın ve testlerin yapılışı

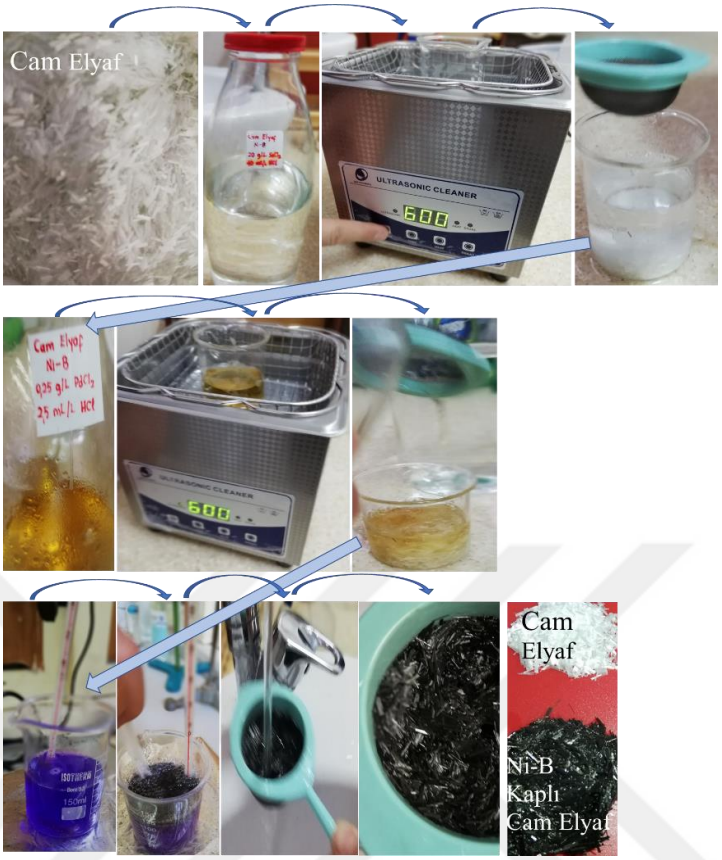
3.2.2.1 Kaplama işlemi

Takviye elemanı olan cam elyafın akımsız Ni-B kaplama yöntemi ile kaplanması Konya Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümünde gerçekleştirilmiştir Kaplama öncesinde cam elyaf malzemelere aşındırma, hassaslaştırma, aktive etme gibi bir dizi yüzey hazırlama işlemi uygulanarak daha sonrasında kaplamaya geçilmiştir. Kaplama banyosu olarak, nikel klorür hegzahidrat, sodyum borhidrür, sodyum hidroksit, etilendiamin ve kurşun nitrat kimyasallarından oluşan sulu çözelti kullanılmıştır.



Şekil 3.21 : Cam elyaf üzerine akımsız Ni-B kaplama işleminin şematik gösterimi [57].

Ni-B kaplama işlemi Şekil 3.21'deki gösterimde olduğu şekilde yapılmıştır. Özetle;



Şekil 3.22 : Cam elyaf üzerine akımsız Ni-B kaplama işleminin sıralaması.

1. işlem cam elyafın kabalaştırılması: $SnCl_2$/HCl çözeltisinde 1 g cam elyaf 10 dakika boyunca ultrasonic banyoda karıştırılmıştır.

2. işlem durulama. Bu işlemde ultrasonik banyo sonrası kabalaşmış olan cam elyafların 1 dakika boyunca saf su ile durulanması yapılmıştır.

3. işlem hassaslaştırma. Bu işlemde durulanmış olan cam elyaflar $PdCl_2$/HCl çözeltisinde 10 dakika boyunca ultrasonic banyoda karıştırılmıştır. Bu işlemlerde Pd kullanılmasının sebebi; cam elyafın Ni-B ile kaplanabilmesini sağlayabilmek için cam elyaf çevresinde tutunma yüzeyi, kabuk oluşturmaktır. Pd cam elyaf çevresinde çekirdeklenip (nükleasyon) Ni-B elementlerinin tutunmasını sağlamaktadır.

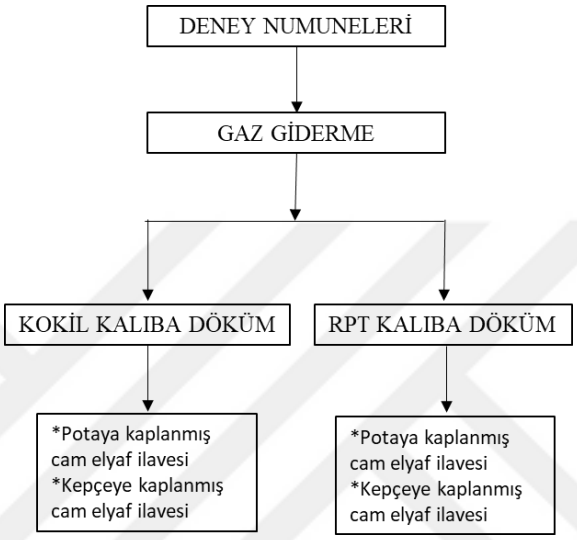
4. işlem durulama. Bu işlemde ultrasonik banyo sonrası hassaslaşmış olan cam elyafların 1 dakika boyunca saf su ile durulanması yapılmıştır.

5. işlem kaplama; Bu işlemede 90 °C'deki Ni-B banyosuna durulanmış olan cam elyaflar 1 dakika boyunca kaplanmıştır.

6. işlem kurutma: Bu işlemde Ni-B kaplanmış olan cam elyaflar 5 dakika 60 °C'de boyunca etüvde kurutulmuşur. Gerçekleştirilen kaplama işleminin sırayla çözelti görünümleri ise Şekil 3.22'de gösterilmiştir.

3.2.2.2 Döküm işlemi

Elde edilen kaplanmış cam elyaflar 2 farklı yöntem kullanılarak sıvı alüminyuma ilave edilmiştir. Deneyin şematik gösterimi Şekil 3.23'te verilmiştir.



Şekil 3.23 : Farklı parametreler altında gerçekleştirilen dökümlerin şematik gösterimi.

İlk yöntemde Şekil 3.24a'da görüldüğü gibi kaplanmış cam elyaflar potadan kepçe ile alınmış sıvı alüminyum içerisine ilave edilerek, el yordamı ile karıştırılmıştır.



(a) (b)

Şekil 3.24 : (a) Ni-B kaplı cam elyafların el ile kepçede alaşıma karıştırılması, (b) Ni-B kaplı cam elyafları potada karıştırmak üzere kullanılan karıştırıcı.

Karışım kokil kalıba ve RPT kalıba dökülmüştür. Diğer yöntemde ise Çizelge 3.3'de verilmş olan oranlarda ve parametrelerdeki cam elyaflar kullanılmıştır. kaplanmış cam eltaflar potaya ilave edilirken, sıvı metal matkaba takılmış ve Şekil 3.24b'de gösterilen karıştırıcı ile karıştırılmıştır. İlave işlemi sırasında karıştırma başlatılmış ve ilave bittikten sonra yaklaşık 2 dakika karıştırma devam ettirilmiştir. Karıştırma işleminde devirli matkap kullanılmış olup yaklaşık 100 rpm devirde çalışılmıştır. Potadaki bu karışım da aynı ölçülerdeki kokil ve RPT kalıplara dökülmüştür. Kokil kalıp ve RPT kalıpları 250 °C'ye 2 saat etüv içinde ön ısıtma yapıldıktan sonra dökümde kullanılmıştır.

Çizelge 3.3 : A380 (EN AC 46000) alaşımına Ni-B kaplı cam elyaf karışım parametreleri.

Grup	Ni-B Kaplı Cam elyaf katkı yöntemi	Cam Elyaf Katkı ağırlığı g	Al Ağırlık g	Katkı oranı %	PPM
C	Breyz ile potada karıştırma	1,5	15.000	0,01	100
D	Breyz ile potada karıştırma	12	12.000	0,10	1,000
E	Breyz ile potada karıştırma	45	9.000	0,50	5,000
F	Breyz ile potada karıştırma	80	8.000	1,00	10,000
B	Elle kepçede karıştırma	5	1.400	0,4	3571,43

Kokil çekme kalıbı ve RPT kalıp kullanılarak Şekil 3.23'te şematik olarak gösterilen deney parametreleri ile döküm gerçekleştirilmiştir. Karıştırma ve takviye ilavesi öncesinde sıvı metale Argon gazı ile yaklaşık 20 dakika gaz giderme işlemi uygulanmıştır. Gaz giderme işlemi lans grafit ile yapılmıştır. Dökümler yapılırken 2-3 bar aralığında basınç altında Argon gazı kullanılarak atmosfer ile sıvı metal yüzeyi arasındaki temas önlenmeye çalışılmıştır. Sistem kapalı olmadığı için sıvı metal yüzeyinin atmosferdeki oksijen ile teması %100 kesilememiş, fakat minimum %50 verim ile çalışıldığı tahmin edilmektedir.

İlk olarak 15000 g'lık Al alaşımı SiC potaya şarj edilmiştir. 750 °C'ye kadar beklenilmiş ve 20 dakika gaz giderme işlemi yapıldıktan sonra matkap ve karıştırıcı

marifeti ile Ni-B katkılı ilave edilen cam elyaflar karıştırılmıştır. 3 kez döküm yapıldıktan sonra tekrar gaz giderme işlemi yapılmış ve ardından 12000 g'lık kalan miktara göre cam elyaf katkıları Çizelge 3.3'e göre ilave edilmiştir. 2. şarjdan da 3 kez döküm yapıldıktan sonra tekrar gaz giderme işlemi yapılmış ve 9000 g'lık kalan miktara göre cam elyaf katkıları Çizelge 3.3'e göre ilave edilmiştir. 3. şarjdan da 3 kez döküm yapılmış ve 6000 g'lık kalan şarja 2000 g'lık yeni EN AC 46000 malzemesi ilave edilmiş ve 750 °C'ye gelene kadar karışım ısıtılmıştır. Sonrasına 20 dakika Argon gazı ile tekrar gaz giderme işlemi yapılmıştır. Son haldeki bu karışıma Çizelge 3.3'teki ilave miktarlarına göre katkılar yapılmış ve dökümler gerçekleştirilmiştir. Her dökümden önce 20 dakika Argon gazı ile gaz giderme işlemleri yapılarak bir önceki işlemden sıvı metal içerisinde kalan cam elyafla uzaklaştırılmıştır.

Her bir şarja ait Ni-B katkıları 750 °C'deki ergiyik alaşıma ilave edilirken Şekil 3.25'te gösterildiği şekilde matkap takılan karıştırıcı marifeti ile her bir katkı için 2 şer dakika karıştırılmış ve sonrasında dökümler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.25 : Sıvı metale ilave edilen Ni-B kaplı cam elyaf katkılarının karıştırılması.

3.2.2.3 Isıl işlem

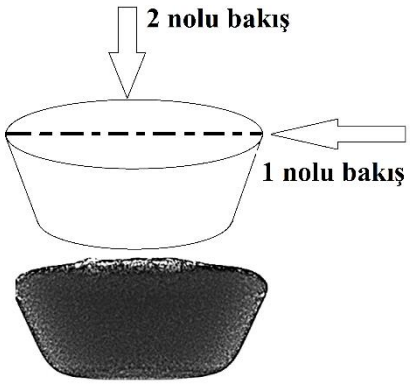
Kokil kalıptan farklı parametreler altında elde edilen 17 adet ısıl işlem görmemiş numune elde edilmiştir. Diğer 17 adet numuneye 495 °C sıcaklıkta 3 saat çözeltiye alma ve 175 °C sıcaklıkta 16 saat yaşlandırma işlemleri T6 ısıl işlemi gerçekleştirilmiştir. Numuneler fırın içerisine manuel olarak uzun bir laboratuvar makası ve eldiven yardımıyla konulmuştur, 3 saat çözeltiye almada kalan dökümler zamanını tamamaladıktan hemen sonra bekletilmeden su verme işlemi gerçekleştirilmiştir. Su verme tankında ısısı oda sıcaklığına düşene kadar

bekletilmiştir. Beklemiş olan bu dökümler yaşlandırma işlemi için etüve bırakılmış ve 16 saat sonunda etivden alınıp serbest halde soğumaya bırakılmıştır.

3.2.2.4 Mikroyapı analizi

Kokil çekme ve RPT kalıbından elde edilen numuneler göz önünde bulundurulduğunda, potaya Ni-B kaplı cam elyaf ilaveli olarak 15 adet ve kepçede Ni-B kaplı cam elyaf ilaveli de 2 adet olmak üzere toplam 17 adet numunenin farklı büyütmelerde mikroyapı görüntüleri alınmıştır.

Mikroyapı görüntüleri 3 farklı yerden alınmıştır. İlk olarak düşey yolluktan alınmıştır. Alındığı yer ise düşey yolluğun yatay yolluk ile birleştiği en alt noktanın 20mm yüksekliğidir. İkinci numune ise dökümün yatay yollukta en son ulaştığı dış kollardaki silindirden alınan dikey kesitinden, 3. numune ise yatay kesitten alınmıştır. Ni-B kaplı cam elyaf katkı dağılımına zımparalama ve parlatma işleminden sonra bakılmıştır. Makro ölçekte Ø13x15 ölçülerinde silindir numuneler kesilmiştir. Mikroyapı analizi gerçekleştirilmeden önce numune test için hazır hale getirilmiştir. Her bir numune 200 devirde 4 farklı (180, 400, 800 ve 1200) kum derecelerine sahip zımpara kâğıtları ile zımparalanmış ve yüzeylerinde bulunan oksit tabakası ve pürüzlülük yok edilmiştir. Zımparalama işlemi sulu bir ortamda gerçekleştirilmiş ve test numunelerinden zımpara sonucu kopan parçaların tekrar numune yüzeyini çizmeleri engellenmiştir. Zımparalanan her numuneye parlatma işlemi yapılmıştır. Parlatma işlemi için döner diske sabitlenen parlatma çuhası kullanılmış ve beraberinde 6 μm'lik elmas sıvı tercih edilmiştir. Elmas sıvının parlatma işlemindeki etkinliğini arttırmak için etil alkol ilavesi yapılmıştır. Mikroyapı incelemeleri Eclipse markalı bir optik mikroskop ile gerçekleştirilmiştir. Bilgisayara entegreli bir şekilde çalışan bu mikroskop yardımı ile 50, 100, 200 ve 500 büyütmelerinde görüntüler elde edilmiştir. RPT mikroyapı analizleri 180, 500, 800 derecelerine sahip zımparalar kullanılarak yapılmış ve yüzeylerinde bulunan oksit tabakası ve pürüzlülük yok edilmiştir. RPT ler 2 farklı görüntüde X-Ray incelemesine tabi tutulduğu için 2 nolu görüntünün alındığı yönden 1 nolu görüntü ile örtüşecek şekilde kesilmiştir. Şekil 3.26'da X-Ray alınan açılar şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.26 : RPT X-Ray görüntü alma açıları.

3.2.2.5 SEM analizi

Kaplanmış cam elyaf incelemesi;

Ni-B kaplamalarda B miktarı kaplamanın özelliklerini doğrudan etkilediği için belirlenmesi gereken kaplama özelliklerindendir. Bu bağlamda SEM incelemeleri ile EDS analizleri de yapılmıştır. Bu çalışmada cam elyafları incelerken enine kesitten kaplama kalınlıkları da ölçülmüştür. Bu yöntem, en güvenilir kaplama kalınlık ölçüm yöntemi olmasının yanında kaplamaların içyapısı hakkında bilgi veren bir inceleme yöntemidir.

Konya Teknik Üniversite'sinde kaplanmış olan nıumuneler Bursa Teknik Üniversitesi MERLAB'ta SEM altında Ni-B kaplanmış haldeki 1 gram cam elyafın incelenmiş EDS ölçümleri yapılmıştır. İncelemede kaplama kalınlıkları ve spektral analizleri ile ilgili veriler alınmıştır.

Ni-B kaplı cam elyaf takviyeli alaşım incelemesi;

Gaz giderme işlemi yapılmış, %0,01 katkı oranlı, %0,1 katkı oranlı, %0,5 katkı oranlı, %1 katkı oranlı ve %0,4 katkı oranlı ve katkı karıştırma yöntemi farklı olan parametreler altında elde edilmiş numunelerin SEM analizleri de gerçekleştirilmiştir. SEM analizi Bursa Teknik Üniversitesi MERLAB'ta yapılmıştır. SEM analizleri dökülen numunelerin dikey kesitine, yatay kesitine, yolluk ve RPT kesitlerine yapılmıştır. Görüntülemeler sonrası veriler alınmıştır.

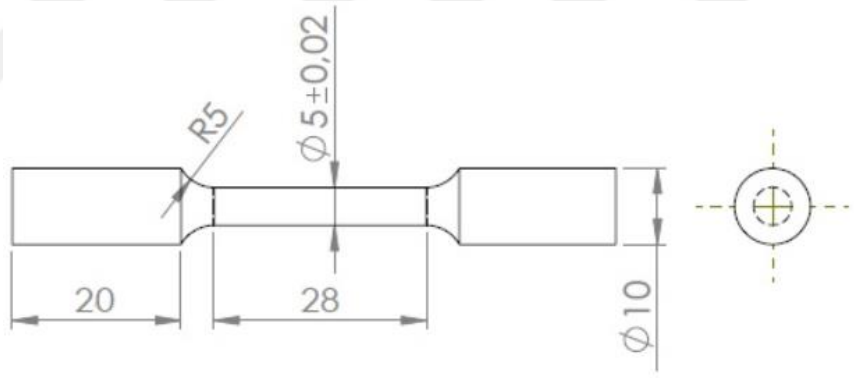
3.2.2.6 Yoğunluk indeksi analizi

Yoğunluk indeks analizi RPT yani azaltılmış basınç testinde dökülen numuneler üzerinden yapılmıştır. Bu işlemde, sıvı alüminyum kalıba dökülüp vakum altında 85 kPa (85 mbar) altında basınç düşürülmesi ile yapılmıştır. Deneyde katılaşma sırasında

vakum 240 saniye uygulanmıştır. Dökümler katılaştıktan sonra hassas terazide (Arşimet prensibine göre) yoğunlukları hesaplanmıştır. Hesaplanan yoğunluk değerleri formülde ilgili hücreye koyulup indeks hesaplamaları tamamlanmıştır. Alüminyumun yoğunluk indeksi, döküm parçasının gözenekliliğini, sıvı metalin temizliğini ölçmek için yapılmış ve ölçümler ALCAST A.Ş.'de gerçekleştirilmiştir.

3.2.2.7 Çekme testlerinin yapılışı

Dökülmüş olan malzemelerin mekanik özelliklerini, akma, kopma ve çekme mukavemeti ile uzama değerlerini analiz etmek üzere çekme testi gerçekleştirilmiştir. Öncelikli olarak dökülmüş olan numunelerin ölçülerinin belirli standartlara göre uygun olabilmesi için silindirik numunelerden ve yolluklardan T6 ısıl işlemli halde çekme test çubukları talaşlı imalat yöntemi ile işlenmiştir. Çekme test numuneleri ISO 6892-1 standardına göre hazırlanmıştır. Hazırlanmış olan çekme test çubukları numunelerine ait ölçüleri Şekil 3.27'de gösterilmektedir. Cihaza çekme test numunesi tipi, numunenin merkez çap değeri ve merkez çap ile dış çaplar arası radius geçişinin olduğu kesitteki uzaklık ölçüleri tanıtılmış ve çekme testleri gerçekleştirilmiştir



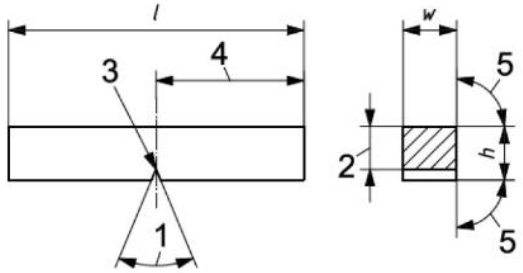
Şekil 3.27 : ISO 6892-1 e göre hazırlanmış çekme test çubuğu ölçüleri.

X-Ray görüntüsü alınmış olan çekme test çubuğu numunelerinin Bursa Teknik Üniversite Makine Mühendisliği laboratuvarında çekme test cihazında çekme testleri gerçekleştirilmiştir.

3.2.2.8 Çentik darbe testlerinin yapılışı

Çentik darbe testi numuneleri 2 farklı ölçüde ISO 148-1'e göre işlenmiştir. Yolluklardan çıkarılan çentik darbe test numuneleri standarta göre, silindirlerden çıkarılan çentik darbe test numuneleri ise sadece genişlik değeri 5 mm olacak şekilde işlenmiştir. ISO 148-1'e göre çentik darbe test numunesi ölçüleri Şekil 3.28'de

görülebilir. Kırmızı çerçeve içine alınmış olan ölçü standart olmayan, düşük genişlikteki parça içindir. Standart test numunesi ölçüleri 10x10x55 mm, standart olmayan ise 5x10x55 mm ölçülerindedir.



Tanım	Sembol ve no	Gerçek boyutlar	İşleme Toleransları	
				Tolerans sınıfı [a]
Uzunluk	l	55 mm	± 0,60 mm	js 15
Yükseklik [b]	h	10 mm	± 0,075 mm	js 12
Genişlik [b]	w			
Standart Test Parçası		10 mm	± 0,11 mm	js 13
Düşük genişlikteki parça		5[c]	± 0,06 mm	js 12
Çentik Açısı	1	45 °	±2 °	-
Çentik harici yükseklik	2	8 mm	± 0,075 mm	js 12
Çentik tabanı V kavis açısı	3	0,25 mm	± 0,025 mm	-
Çentik taban ortasının kenarlara uzaklığı [b]	4	27,5 mm	±0,42 mm	js 15
Çentiğin boyuna yüzeye olan açısı		90 °	±2 °	-
Bitişik boyuna yüzeyler arası açı	5	90 °	±2 °	-

[a] ISO 286-'e göre

[b] Test parçaları R_a 5 µm'dan daha az yüzey pürüzlülüğüne sahip olmalıdır.

Şekil 3.28 : ISO 148-1 e göre hazırlanmış çentik darbe test numunesi ölçüleri.

X-Ray görüntüsü alınmış olan numunelerin çentik darbe testleri Konya Teknik Üniversite'sinde çentik darbe test cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Sarkaç tipi cihaz ile bu test gerçekleştirilmiştir. Sarkaç numune üzerine belirli başlangıç açı ve yüksekliğinden düşürülmüştür. Sarkaç bırakıldığında numune üzerine gelen çekiç darbe test numunesini kırmış ve bu işlem esnasında numunelere ait veriler bilgisayar yazılımı yardımıyla alınmıştır.

3.2.2.9 Korozyon testlerinin yapılışı

Numunelerin korozyon testleri Konya Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği korozyon laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Isıl işlemsiz ve T6 ısıl işlemli her bir döküme ait 2 mm kalınlığında numunelerin korozyon testleri yapılmıştır. Korozyon testleri için 0,1 M sodyum klorür (NaCl) çözeltisi kullanılmıştır.

Hazırlanmış numunelerin yüzeyleri 1cm^2'lik olacak şekilde özel hücre yardımıyla korozyon cihazında üç elektrotlu sistem kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Deneyler oda sıcaklığında ve karıştırmasız ortamda yapılmıştır. Burada, döküm numuneleri çalışma elektrotu (WE), grafit çubuk karşı elektrot (CE) ve Ag/AgCl elektrot ise referans elektrot (RE) olarak kullanılmıştır. Numunelere açık devre potansiyeli (OCP), potansiyodinamik polarizasyon testi (PDP) ve 3 farklı korozyon testi uygulanmıştır. OCP testinde test süresi 600 saniye olarak belirlenmiştir. OCP testinin ardından (potansiyodinamik polarizasyon) PDP testine geçilmiştir. Potansiyodinamik eğriler OCP'ye göre başlangıç potansiyeli -250 mV ve bitiş potansiyeli +1000 mV olarak seçilmiş ve tarama 1 mV/sn hızda yapılmıştır. Bir numune için tüm korozyon testlerinin toplam süresi yaklaşık bir saati bulmuştur. Isıl işlemsiz numunelerin korozyon testleri bittikten sonra, T6 ısıl işlemi görmüş numunelerle aynı çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

3.2.2.10 Bilgisayarlı tomografi (CT) analizleri işlemleri

X-Ray görüntüleme

Dökümlerin talaşlı imalat yöntemi ile çekme ve çentik darbe test numunesi ölçülerine getirilmeden önceki X-ray görüntülemeleri DÖKTAŞ A.Ş'deki YXLON firması tarafında kurulmuş olan MCN 225 ve MCN 451 ssteme sahip 450kV'luk tüplerin kullanıldığı manuel sistem ile gerçekleştirilmiştir.

X-Ray görüntülemeleri yapılmadan önce numune parçaların her biri kodlanarak tanımlamaları yapılmıştır. Tanımlanmış olan numuneler X-Ray tablasına dikey konumda yerleştirilmiştir. Döküm parçasından kesilmiş olan numuneler, yolluk ve RPT den oluşan parçalar X-ray tablasında 2 boyutlu olarak görüntülenmiştir X-Ray ünitesi çalıştırılıp numunenin tahribatsız muayene yöntemine göre içindeki boşluklar görüntülenmiştir. Boşlukların ve alümiyumun X ışınlarını emmesi ya da geçirgenliğine göre görüntüler elektronik ortamda alınmış ve yazılım desteği ile görüntüye çevrilmiştir. ALCAST A.Ş. deki CT de 160kW ve X-ray 135 kW, 1,75mm Cu filtre kullanılmıştır. Tanımlamalara göre elde edilen görüntülerin isimlendirmeleri birbirine uyumlu şekilde gerçekleştirilmiştir. Silindir haldeki talaşlı imalatta henüz test numunesine dönüştürülmemiş dökümler, dikey yolluklar ve RPT numunelerin de X-Ray görüntülemeleri gerçekleştirilmiştir.

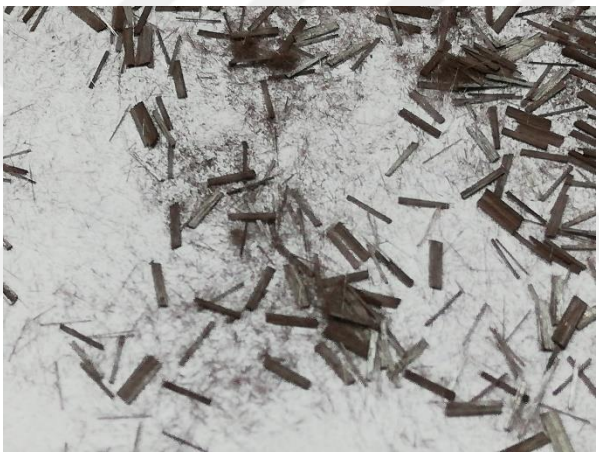
Bilgisayarlı tomografi görüntüleme

Bilgisayarlı tomografi (CT) görüntüleme işlemi ALCAST A.Ş. de gerçekleştirilmiştir. T6 ısıl işlem yapılmış Ni-B kaplı cam elyaf katkılı işlenmiş numunelerden 8 adetine bilgisayarlı tomografi işlemi uygulanmış ve görüntüler alınmıştır. Bunlardan 2 adeti çekme test çubuğundan ve 6 adedi ise çentik darbe test numunesinden alınmıştır. Çekme test numunesinden CT yapılan parça kodları E32 (% 0,5 Ni-B kaplı cam elyaf katkılı 3.denemenin 2.silindir parçası) ve F23 (% 1 Ni-B kaplı cam elyaf katkılı 2.denemenin 3.silindir parçası) tür. Darbe test numunesinden CT yapılan parça kodları E34-1 (% 0,5 Ni-B kaplı cam elyaf katkılı 3.denemenin 4.silindirin ilk parçası) ve E34-2 (% 0,5 Ni-B kaplı cam elyaf katkılı 3.denemenin 4.silindirin ikinci parçası) dir ve bunlar silindirlerden çıkarılan numunelerdir. Yolluklardan çıkarılan CT görüntüleme yapılan darbe test numunesi kodları ise E3Y (% 0,5 Ni-B kaplı cam elyaf katkılı 3.denemenin yolluğu) ve F2Y (% 1 Ni-B kaplı cam elyaf katkılı 2.denemenin yolluğu) dir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

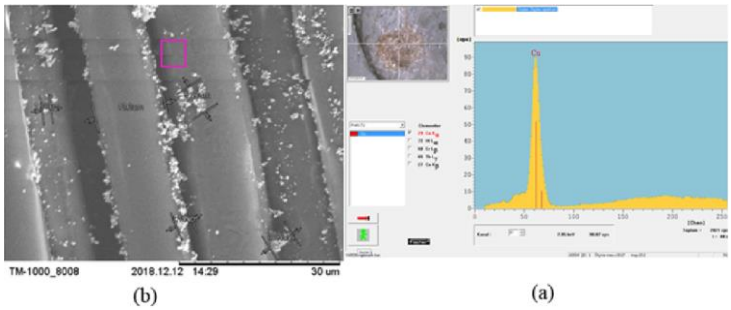
4.1 Ön Çalışma Sonuçları

Ön çalışmada, cam elyafların Cu kaplama işlemi literatür araştırması [81] sonrası belirlenmiş olan proses ile akımsız kaplama işlemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Cam elyafların bakır kaplanmış görüntüleri Şekil 4.1'de verilmiştir. Deneysel çalışma kısmında detayları verilen kaplama prosesi ile gerçekleştirilen kaplama işleminde başarılı olunmuştur.



Şekil 4.1 : Bakır kaplı cam elyaf görüntüsü.

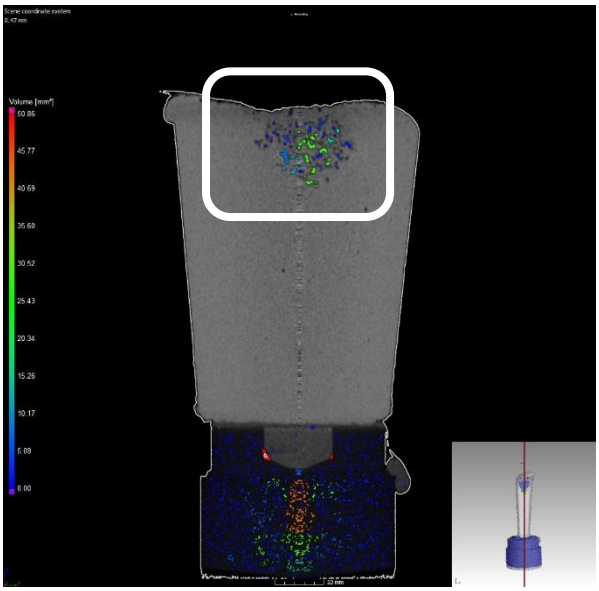
Cam elyafa yapılan bakır kaplama işleminin başarılı olduğu yapılan karakterizasyon işlemleri ile kanıtlanmıştır. Bakır kaplanmış cam elyaflarına uygulanmış olan SEM incelemeleri ve EDS analizleri sonucunda kaplamanın başarılı olduğu anlaşılmıştır. İncelemeler sonucunda elde edilen SEM ve EDS sonuçları Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.2 : (a) Ön çalışma sonucu Cu kaplanmış cam elyafın EDS analizi sonucu, (b) Ön çalışma sonucu Cu kaplanmış cam elyafın SEM görüntüsü.

Şekil 4.2a'da bakır kaplı cam elyafların EDS analizine göre bakır ile kaplandığı görülmektedir. Şekil 4.2b'de ise bakır kaplı cam elyaflara ait SEM görüntüsü verilmiştir.

Cam elyafların Cu ile kaplama işleminden sonra döküm aşamasına geçilmiştir. Dökümlerde kullanılan RPT ve kum çekme testi kalıplarında cam elyaf takviyeli dökümler yapılmaya çalışılmıştır. Potadan kepçeye alınan sıvı metale Cu kaplı cam elyaflar ilave edilmiş ve çelik bir çubuk kullanılarak el ile karıştırma işlemi uygulanmıştır. Cu kaplı cam elyafların sıvı metale karışmadığı sıvı metal yüzeyinde aglomera olduğu tecrübe edilmiştir. Bu aglomerasyon probleminin kaplama prosesinden kaynaklı olduğu düşünülmektedir. RPT numuneleri üzerinde bilgisayarlı tomografi incelemeleri gerçekleştirilmiş ve bu aglomerasyonun etkisi RPT numunelerinde gözlenmiştir. Bilgisayarlı tomografi inelemesine ait görüntü Şekil 4.3'te verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi sıvı metale ilave edilmeye çalışılan Cu kaplı cam elyafların döküm parçasının yüzeyine yakın bölgede toplandığı anlaşılmıştır. Sıvı metalin içerisine karışmış cam elyafların ıslatılabilirlik konusunda herhangi bir olumsuz etkiye sahip olmadığı RPT numunelerinin incelenmesinde gözlenmiştir. Ön çalışmadan elde edilebilecek sonuçları özetlemek gerekirse; cam elyafların Cu ile kaplanması işleminde başarılı olunmuş fakat aglomerasyonu önlemek için kaplama esnasında ya da sonrasında ek bir adıma daha ihtiyaç olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.3 : RPT kalıbına Cu kalplı cam elyaf takviyeli olarak dökülmüş alaşımın bilgisayarlı tomografi görüntüsü.

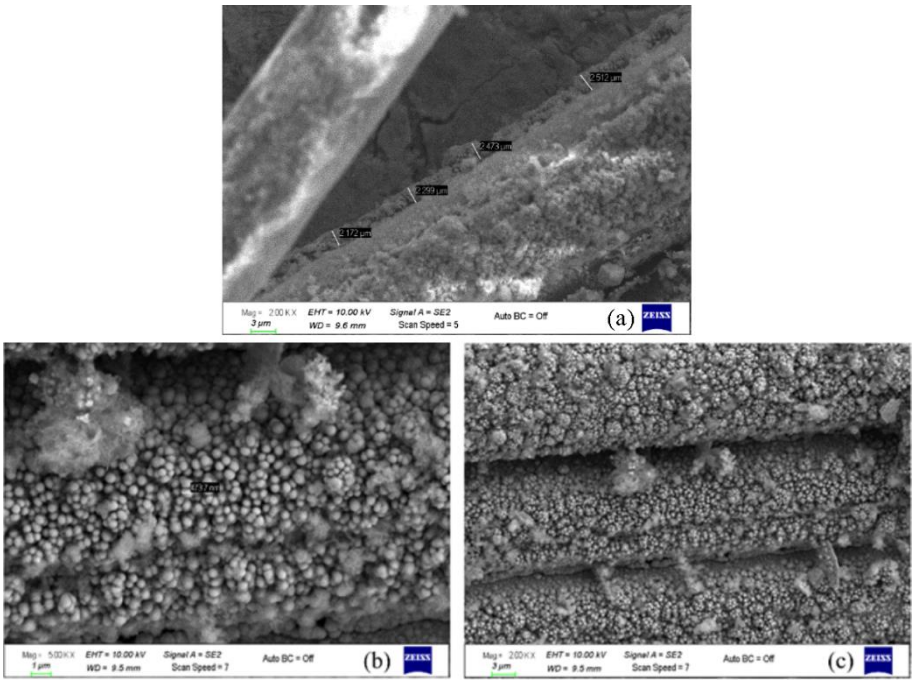
Cu kaplı cam elyafların aglomerasyona uğraması, sıvı metale karışma kabiliyeti üzerinde ciddi bir olumsuz etkiye sahiptir. Sıvı metalin içerisine karıştırılabilenlerin ise ıslanabildiklerini söylemek yanlış olmayacaktır. Kaplanmış cam elyafların kum kalıpta homojen dağılmamasına sebep olarak kaplama sonrası cam elyafların arasında oluşan aglomerasyon eğilimden kaynaklandığı tespit edilmiştir

4.2 Deneysel Çalışmadan Elde Edilen Sonuçlar

Ön çalışmadan elde edilen bulgular ve devamında gerçekleştirilen literatür [57, 81, 82] araştırmaları sonucunda deneysel çalışmaya cam elyafların Ni-B ile kaplanması ile devam edilmesine karar verilmiştir.

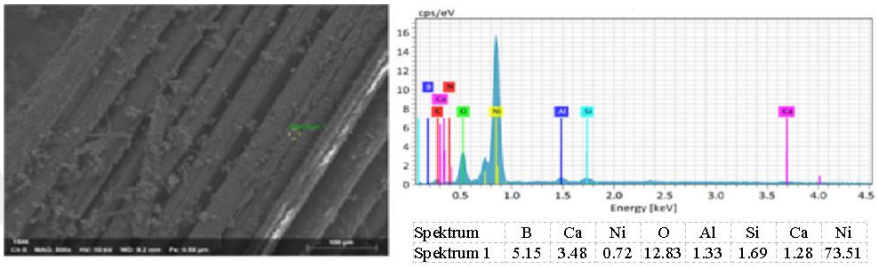
4.2.1 Cam elyafın Ni-B kaplamasına ait sonuçlar

Fiziksel ve kimyasal özellikleri deneysel çalışmalar bölümünde detaylı verilen E-tipi cam elyafların Ni-B ile kaplanması yine ön çalışmada kullanılan akımsız kaplama prosesi ile gerçekleştirilmiştir. Kaplanmış olan cam elyafların kaplama kalınlık ve kaplanabilirlik incelemesi SEM ve EDS analizleri ile yapılmıştır. SEM ve EDS analizlerine ait sonuçlar Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.4 : Ni-B kaplı cam elyafların enine kesit (a) ve farklı büyütmelerde yüzey SEM görüntüleri (b ve c)

Şekilde verilen SEM ve EDS sonuçlarına göre cam elyafların Ni-B ile başarılı bir şekilde kaplandığı görülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre elyafların istenilen seviyede yani 2 - 2,5 µm arası kalınlıkta kaplandığı ölçülmüştür. Ayrıca, EDS sonucuna göre elyafların % 73.51 Ni ve % 5,15 B içerdiği ölçülmüştür. Daha önce Dışpınar ve ark. [57] tarafından yapılmış olan deneylerde kaplama kalınlık değeri 0,9 µm ölçülürken bu çalışmada Ni-B kaplamasının daha kalın olduğu ölçülmüştür. Dışpınar ve ark. yaptıkları bu çalışmada akımsız kaplama kullanılmıştır [57]. Kaplama sonrası karbon elyaflar ile sıkıştıma döküm yöntemini kullanarak Al esaslı MMK üretmeye çalışmışlardır.



Spektrum	B	Ca	Ni	O	Al	Si	Ca	Ni
Spektrum 1	5.15	3.48	0.72	12.83	1.33	1.69	1.28	73.51

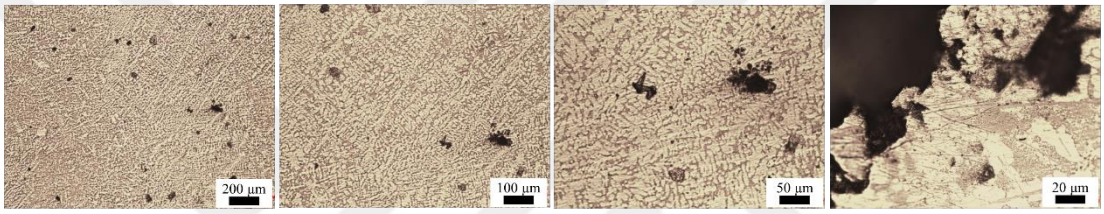
(a) (b)

Şekil 4.5 : Ni-B kaplı cam elyafın EDS analizi (a) ve EDS analiz sonucu (b).

4.2.2 Mikroyapı analizleri

Mikroyapı incelemeleri için farklı noklardan ve farklı eksenlerden numune analizleri yapıldığı deneysel çalışma bölümünde belirtilmiştir. Çekme test kalıbına yapılan dökümlerin dikey yolluk bitiminden alınan numunelere ait mikroyapı incelemeleri detaylı bir şekilde analiz edilmiş ve %0,1 Ni-B kaplanmış cam elyaf takviyeli D şarjına ait temsili görüntüler Şekil 4.6'da verilmiştir. Temsili verilen görüntüden de anlaşılacağı gibi alaşım karakteristik bir ötektik altı katılaşma morfolojine sahiptir. Birincil α–Al dendirtleri arasında şekillenmiş ötektik morfolojiden bahsetmek mümkündür. Takviye edilmiş Ni-B kaplı cam elyaflar ise yapı içerisinde %100 homojen olmasa da homejenliğe yakın bir şekilde dağılım göstermiştir. Mikroyapı numunesi hazırlama işlemleri sırasında yapı içerisindeki takviye elemanlarının kopması ve yerinde sadece bir boşluk benzeri görüntü bırakması, yapıda cam elyaf varlığının optik mikroskop ile kanıtlanmasını sınırlandırmaktadır. Her ne kadar metalografik numune hazırlama işlemleri sırasında cam elyaflar olumsuz etkinlenmiş olsa da Şekil 4.6'da verilen farklı büyütmelerdeki görüntüler takviye elemanından kaynaklı boşlukların varlığını göstermektedir. Porozite oluşum morfolojisi ile

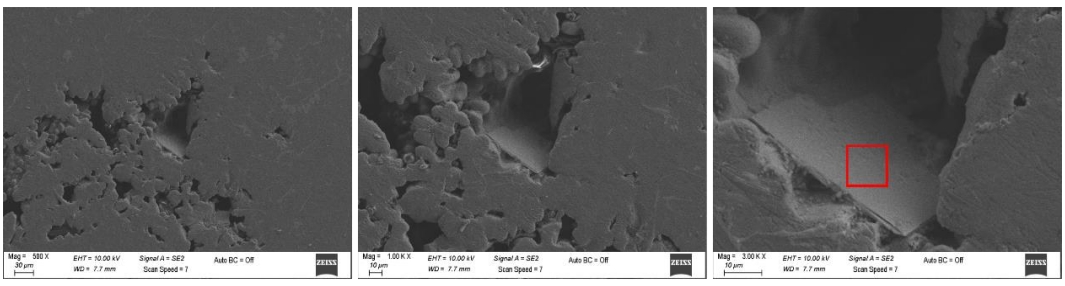
karşılaştırıldığında, görüntülerde elde edilen koyu renkli bölgelerin ne gaz porozitesi [83], ne çekme porozitesi [84] ne de bifilm [84] oluşumuna benzemediği anlaşılmaktadır. T. Shalu ve arkadaşlarının [85] yapmış olduğu çalışmanın sonucu incelendiğinde mikroyapıda eksen yüzeyinde kesitte dağıldığı görülmektedir. Benzer şekilde katılaşma sırasında elyafların alümiyum alaşım matriksinde iyi ve eşit şekilde dağıldığını, ayrıca preformların içine sıkıştırılmış ince elyafların uzunluk ve çaplarını da ortaya çıkardığı görülebilmektedir. Yapılan incelemeler sonrası E (%0,5 katkı oranına sahip) grubuna ait numunelerde mikroyapı görüntülerinden katılaşma sırasında cam elyafın sıvı alüminyum içerisinde çekirdekleşleştirici görevi görerek, sıvı haldeki alüminyumun elyaf çevresinden katılaşmaya başladığı ve elyaf çevresindeki katının elyaf geometrisine göre şekillendiği anlaşılmıştır.



(a) (b) (c) (d)

Şekil 4.6: Ni-B kaplanmış cam elyafın % 0,1 oranında takviyesi ile elde edilmiş D şarjına ait çekme test kalıbının yolluğundan alınmış mikroyapı görüntüleri; (a) 50X büyütme, (b) 100X büyütme, (c) 200X büyütme ve (d) 500X büyütme.

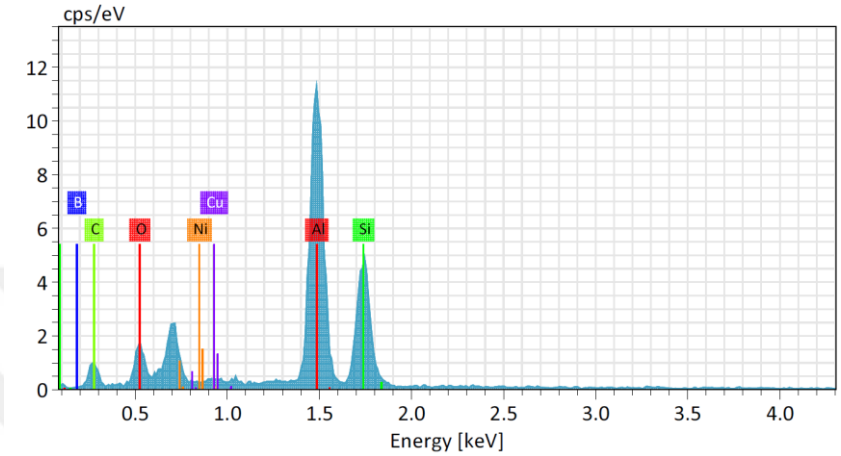
Mikroyapı incelemeleri sonucunda elde edilen verilerin doğrulanması için ileri karakterizasyon yöntemlerinden Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), Enerji Dağılımlı Spektroskopi (EDS) ve X-Işınları Difraktometre (XRD) analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerde % 0,5 Ni-B kaplanmış cam elyaf takviyesine sahip E şarjına ait mikroyapı numunesi ve % 1 içeriğe sahip F şarjına ait RPT numunesi incelenmiştir.



(a) (b) (c)

Şekil 4.7: Ni-B kaplanmış cam elyafların % 0,5 oranında şarj edildiği F dökümüne ait SEM inceleme sonuçları; (a) 500X büyütme, (b) 1000X büyütme ve (c) 3000X büyütme.

% 0,5 içerikli şarja ait SEM incelemelerine ait sonuçlar Şekil 4.7'de verilmiştir. Şekil 4.7c de verilen bölgeye ait EDS analizine ait sonuç da Şekil 4.8'de verilmiştir. Hem Şekil 4.7'de verilen SEM görüntüleri hem de Şekil 4.8'de verilen EDS analiz sonucu birlikte incelendiğinde Ni-B kaplı cam elyafların sıvı metal içerisine karıştırılabildiği ve sıvı alaşımın elyaf çevresinde elyaf geometrisine bağlı olarak katılaştığı net bir şekilde anlaşılmaktadır.



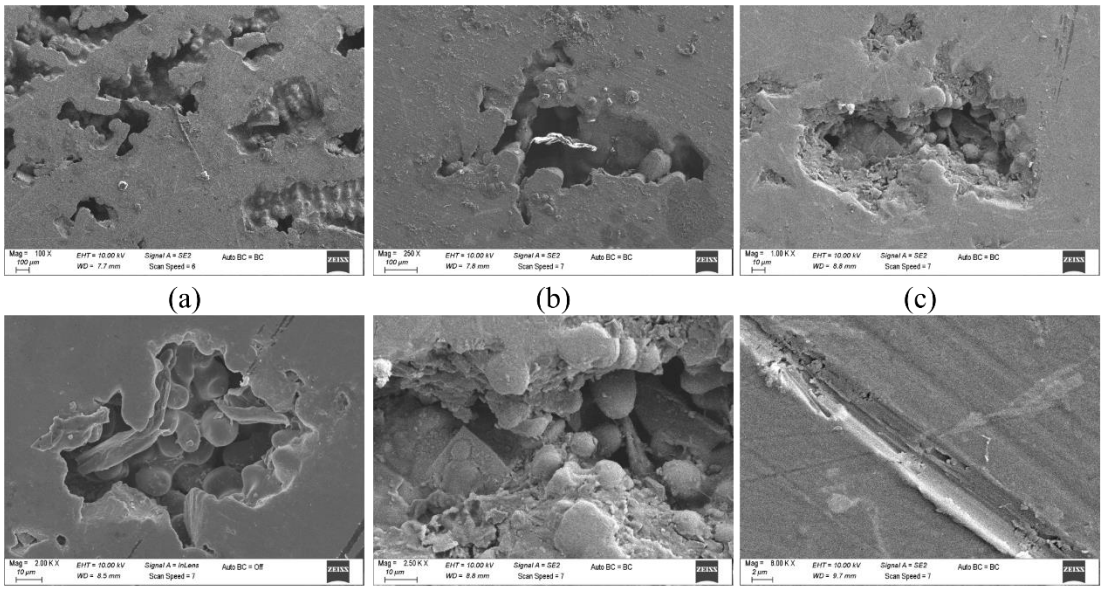
Spectrum	Boron	Carbon	Oxygen	Aluminium	Silicon	Nickel	Copper
Spectrum 1	11.00	19.42	11.44	32.02	22.62	1.85	1.65

Şekil 4.8: Şekil 4.7c'de kırmızı renkte gösterilen % 0,5 cam elyaf takviyesine ait bölgenin EDS analizi sonucu.

% 1 içeriğe sahip F şarjına ait RPT numune kesitleri üzerinde detaylı bir SEM görüntüleme yapılmış ve bu görüntülemelere bağlı olarak özel seçilen bölgelerde EDS haritalama incelemesi gerçekleştirilmiştir. RPT numunesi üzerinde gerçekleştirilen SEM incelemesine ait farklı büyütmelerdeki görüntüler Şekil 4.9'da verilmiştir. Şekil 9e'de verilen 2500 büyütme incelemesine ait görüntü üzerinde EDS haritalama yapılmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 4.10'da sunulmuştur.

Şekil 4.9 detaylı bir şekilde incelendiğinde hem küçük büyütmelerde hem de büyük büyütmelerde döküm parçası içerisinde Ni-B kaplanmış cam elyaf varlığından söz etmek mümkündür.

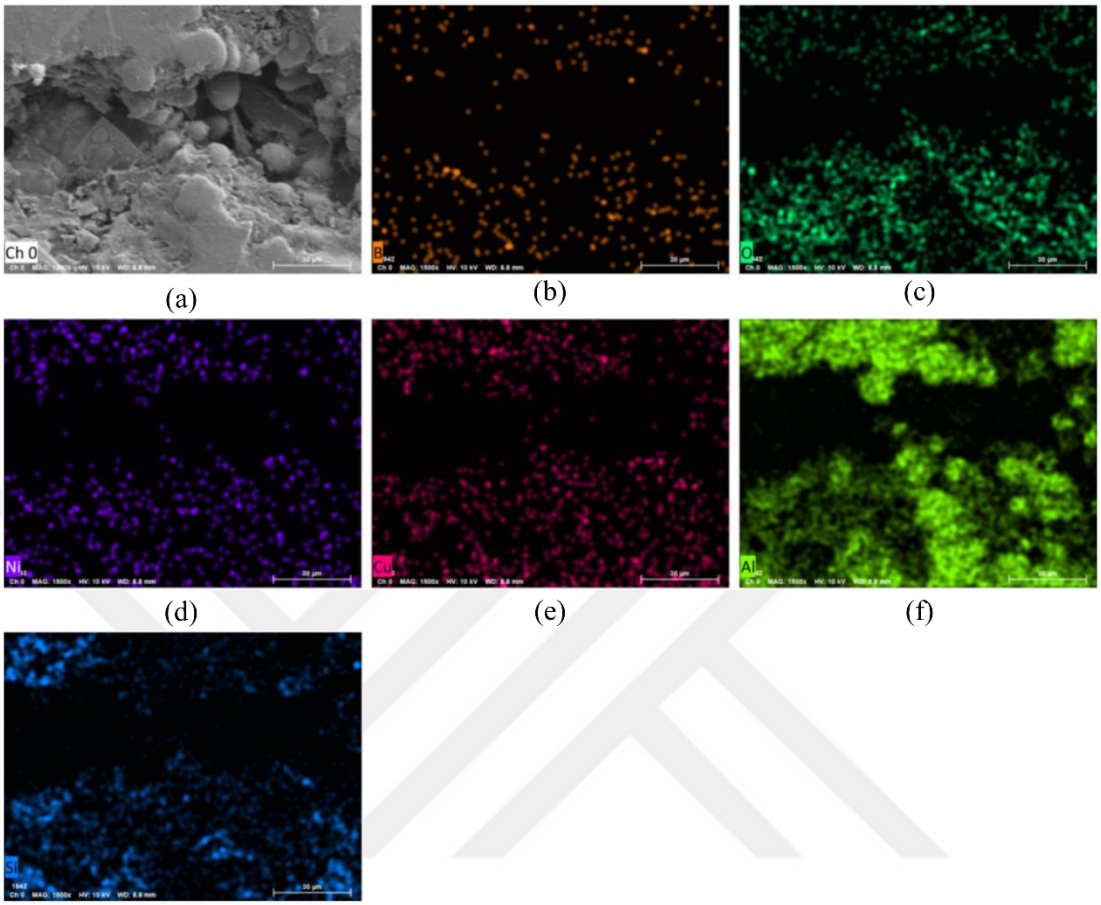
Yapılan incelemer sonucunda cam elyafların sıvı alüminyum ile ıslatılabildiği ve daha çok dendritik morfoloji çevresinde sıkışıp yapı içerisinde kendine yer bulduğu anlaşılmaktadır. Diğer bir değişle, yukarıda da bahsedildiği gibi cam elyaf çevresindeki sıvı alaşım ilk olarak α-Al dendritleri oluşturarak katılaşmayı tamamlamıştır.



Şekil 4.9: Ni-B kaplanmış cam elyafların % 1 oranında takviyesi ile elde edilmiş F şarjına ait RPT döküm numunelerinin farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri; (a) 100X büyütme, (b) 250X büyütme, (c) 1000X büyütme, (d) 2000X büyütme, (e) 2500X büyütme ve (f) 8000X büyütme.

Bu incelemeye istinaden cam elyafların dendrit kolları arasında kendini daha fazla gösterdiğini söylemek yanlış olmayacaktır. Bu yaklaşım Şekil 4.9c ve e'de net bir şekilde görülebilmektedir. Şekil 4.9f'de verilen görüntü incelendiğinde ise cam elyafın rijit bir şekilde yapıda yer aldığı ve numune hazırlama işlemleri esnasında bulunduğu yerden koptuğu fakat bulunduğu yerde boşluk şeklinde bir görüntü bıraktığı anlaşılmaktadır. Şekil 4.9e'de verilen görüntüye ait EDS haritalama sonucu (Şekil 4.10) incelendiğinde ise mikroyapının farklı bölgelerinde cam elyafın kaplanmasında kullanılan Ni ve B elementlerinin valığından söz etmek mümkündür. Bu tezin deneysel çalışmasından kullanılan ana matriks olan A380 alaşımının kimyasal kompozisyonun mevcut olan ana alaşım elemetleri (Al, Si ve Cu) EDS haritalamada beklendiği şekilde görüntülenmiştir. Oksit oluşumundan kaynaklanan ve yapı içerisinde sıkıştığı bölgede şekillenen bifilmlerden dolayı oksijen varlığı da tespit edilmiştir. Çalışmamızın ana konusu olan cam elyafın kaplama prosesinde kullanılan Ni ve B elementlerinin EDS analizinde varlığı ile yapıda mevcut olduğu kanıtlanmıştır. Şekil 4.10b ve e'de B ve Ni için verilen sonuçlar analiz edildiğinde olması gerektiği gibi her iki element de benzer bölgelerde yoğunlaşmıştır. Ni oranının fazla olması, görüntüde daha fazla yer işgal etmesine ve B oranının az olması da eş bölgelerde fakat daha az yer iş etmesine yol açmıştır. Şekilde verilen görüntüler üzerindeki yoğunluk farkları da dikkate alındığında alaşımın ana elementi olan Al çok yoğun olarak görülmektedir. Ana alaşım

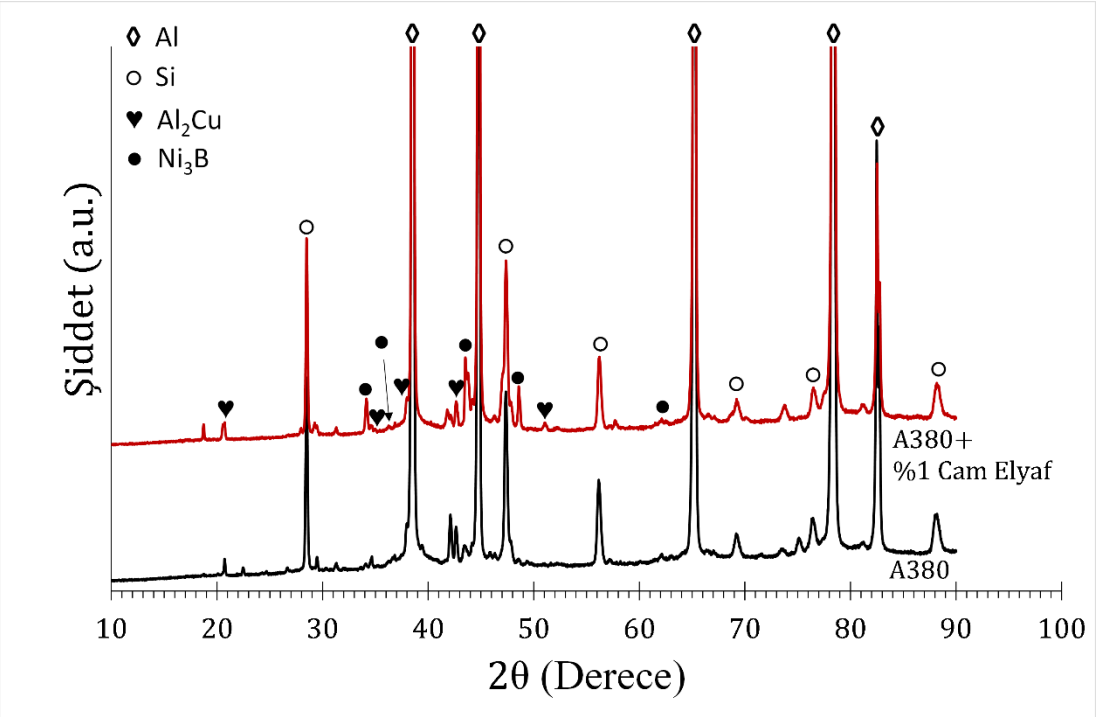
elementleri olan Si ve Cu elementlerinin de Al kadar olmasa da yoğun olarak yapıda yer aldığı görülmektedir.



Şekil 4.10 : Ni-B kaplanmış cam elyafın % 1 oranda takviyesi ile dökülmüş F şarjının RPT döküm numunesinden elde edilmiş ve Şekil 4.9e'de verilen bölgenin EDS haritalama sonucu; (a) EDS haritalama yapılan bölgenin görüntüsü, (b) B elementinin EDS haritalandırması, (c) O elementinin EDS haritalandırması, (d) Ni elementinin EDS haritalandırması, (e) Cu elementinin EDS haritalandırması, (f) Al elementinin EDS haritalandırması ve (g) Si elementinin EDS haritalandırması.

Dökümlerden elde edilen % 1 cam elyaf takviye parametresine ait mikroyapı numunesi ve ilavesiz A380 alaşımı üzerinde XRD analizi gerçekleştirilmiştir. XRD analizine ait sonuçlar Şekil 4.11'de verilmiştir. A380 alaşımı için literatürde mevcut olan çalışmalar incelendiğinde [86-88] bu çalışmada elde edilen sonuçların olması gerektiği gibi elde edildiği anlaşılmaktadır.

Hem Al hem de Si elementleri tipik olarak XRD kartlarında ve literatürdeki diğer çalışmalarda [89, 90] gösterilmiş olan açılarda pikler göstermiştir. A380 alaşımı için Al_2Cu fazının da varlığı incelendiğinde yine bu fazın da mevcut piklerinin XRD sonucunda elde edildiği görülmüştür.



Şekil 4.11: A380 alaşımının ve %1 cam elyaf takviyeli A380 dökümün XRD analizi.

Diğer taraftan % 1 cam elyaf takviyeli A380 alaşımının dökümüne ait ısıl işlem görmüş numunenin XRD sonucu incelendiğinde, Ni_3B fazına ait piklerin oluştuğu görülmüştür. Ni_3B fazına ait piklerin oluşması literatürde mevcut olan Li [91] ve arkadaşlarının çalışması ile açıklanabilmektedir. Kaplama işleminde kullanılan Ni-B amorf yapısının 250 °C sıcaklık üzerinde kristalleştiği görülmektedir. Bu çalışmada da numuneler 495 °C sıcaklık 3 saat çözeltiye alınmıştır. Bu T6 ısıl işleminin ilk aşaması esnasında cam elyaf kaplamasında kullanılan N-B amorf yapısının kristalleştiği anlaşılmaktadır. Bunun yanında XRD sonuçlarında Ni_3B fazına ait piklerin oluşması ilave edilen cam elyaf takviyesinin sıvı alaşıma karıştığı anlamına gelmektedir.

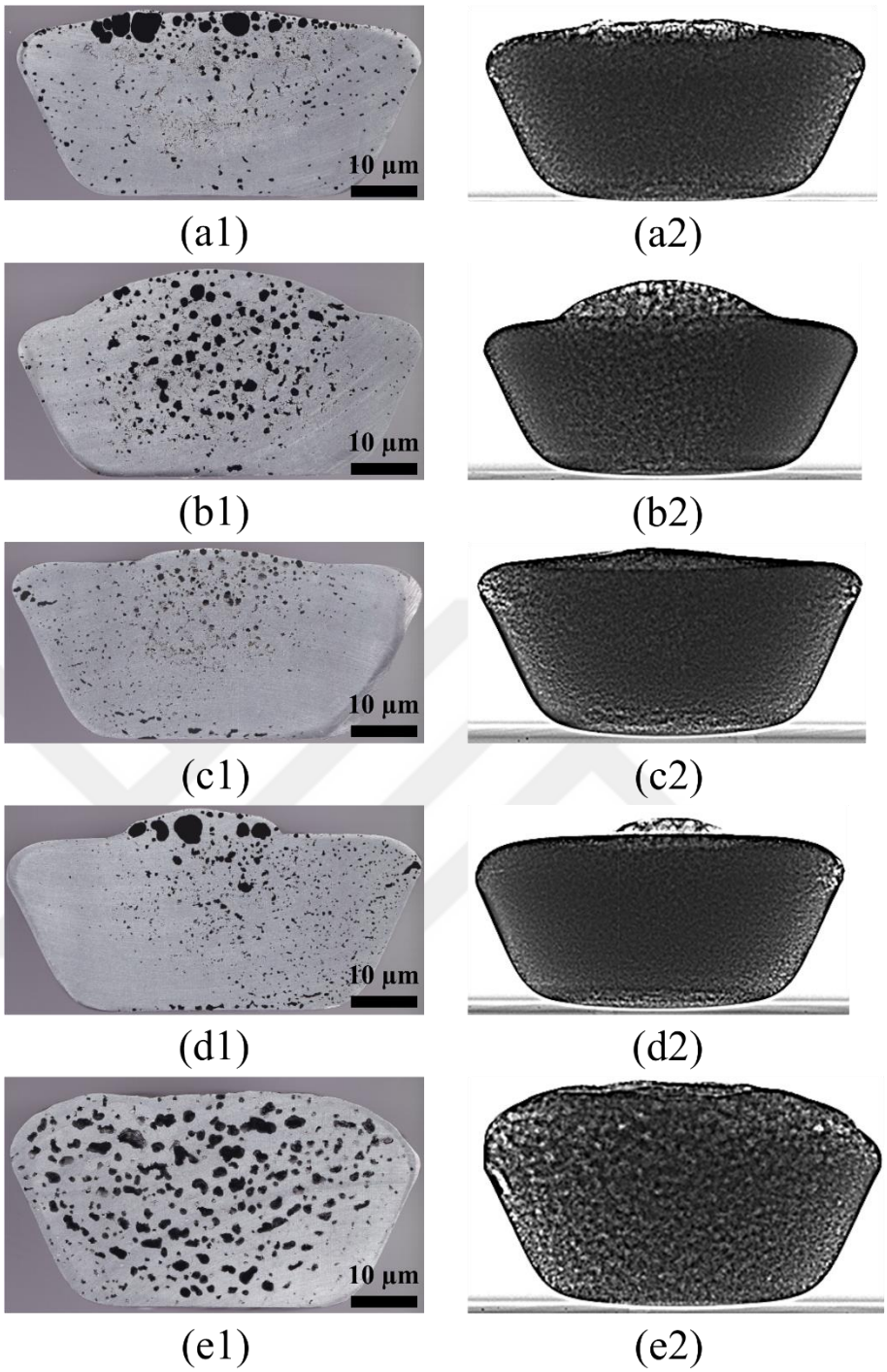
4.2.3 Azaltılmış basınç testi (RPT) sonuçları

Azaltılmış basınç testi (RPT) numuneleri üzerinde detaylı incelemeler yapılmıştır. İlk olarak X-Ray inlemesi yapılmış ve ardından numuneler dikey olarak kesilere kesit görüntüleri incelenmiştir. Yapılan bu incelemelere ait görüntüler Şekil 4.12'de sunulmuştur. Şekilde sağ taraftaki görüntüler X-Ray incelemeleri sonucu cam elyaf ilavesine göre elde edilen sonuçlar ve sol taraftaki görüntüler ise kesildikten sonra kesitler üzerinde yapılan incelemelere ait görselleri temsil etmektedir. Elde edilen bu sonuçlar ile ilgili öncelikle şunu söylemek gerekir; X-Ray sonuçları ile kesit

incelemesine ait sonuçlar bir biri ile örtüşmektedir. Cam elyaf katkı oranları dikkate alınarak RPT görselleri incelendiğinde katkı oranı arttıkça oluşan porların azalma eğiliminde olduğunu ve bununla beraber ortalama por uzunluklarının da azalma eğiliminde olduğunu söylemek mümkündür. Fakat % 0,4 katkı oranında ve kepçede ilave yapılıp el ile karıştırma yapılan dökümlerde porların ciddi bir oranda arttığı da görülmüştür. Mekanik karıştırma ve el ile karıştırma arasında dağılım açısında büyük bir fark vardır. Şekildeki görüntüler detaylı incelendiğinde el ile karıştırılan dökümlerde (Şekil 4.12e1) porların oldukça homojen dağıldığı ve por büyüklüklerinin de bir birine yakın olduğu kolaylıkla görülecektir. Diğer taraftan mekanik karıştırma yapılan dökümlerde (Şekil 4.12a1, b1, c1 ve d1) porların homojen dağılmadığı ve por boyutlarının da çok değişken olduğu görülmektedir.

Şekil 4.12'de verilen RPT görüntüleri üzerinde bifilm indeks hesaplamaları yapılmıştır. Elde edilen bifilm sonuçları Çizelge 4.1'de verilmiştir. Kesit incelemelerinden elde edilen sonuçlar bifilm sonuçları ile desteklenmektedir. Çizelge 4.1'de verilen bifilm indeks (por toplam uzunluğu) değerleri incelendiğinde cam elyaf takviyesinin ve karıştırma yönteminin etkisi net bir şekilde görülebilmektedir. Mekanik karıştırma için, düşük cam elyaf takviyesinde (% 0,01 ve 0,1) yüksek bifilm indeks değeri elde edilirken yüksek cam elyaf takviyesinde (% 0,5 ve % 1) nispeten daha düşük bifilm indeks değeri elde edilmiştir. Bu bifilm indeks için yapılan yorum ortalama bifilm indeks için de yapılabilmektedir. El ile karıştırma yöntemine ait sonuçların ise daha yüksek olduğu görülmektedir. İlave oranın (% 0,4) olmasına rağmen el ile karıştırma yapıldığı durumlarda daha büyük porların oluştuğu gözlenmiştir.

0-25mm bifilm indeks değerine sahip alaşımlar çok kaliteli, 25-50 mm bifilm indeks değerine sahip alaşımları kaliteli ve >50 mm bifilm indeks değerine sahip alaşımlarını da kalitesiz döküm olarak sınıflandırmıştır (D. Dışpınar 2010). Aşağıdaki sonuçlar ile değerlendirildiğinde çokta kaliteli olmayan bir döküm yaptığımız elyafın matrikse karıştırılması ve bu esnada dökümüde kusurlu hale getirdiği anlamna gelmektedir. Bifilmlerin mekanik özellikleri düşürdüğüde açıktır. Katkı oranı artışı ile por oranı artışı da açıktır.



Şekil 4.12 : Azaltılmış basınç testi (RPT) numunelerinde yapılan kesit incelemeleri (sol taraf) ve X-Ray incelemeleri (sağ taraf) sonuçları; (a1) ve (a2) % 0,01 cam elyaf katkılı döküm, (b1) ve (b2) % 0,1 cam elyaf katkılı döküm, (c1) ve (c2) % 0,5 cam elyaf katkılı döküm, (d1) ve (d2) % 1 cam eylaf katkılı döküm ve (e1) ve (e2) % 0,4 cam elyaf katkılı ve el ile karıştırılan döküm.

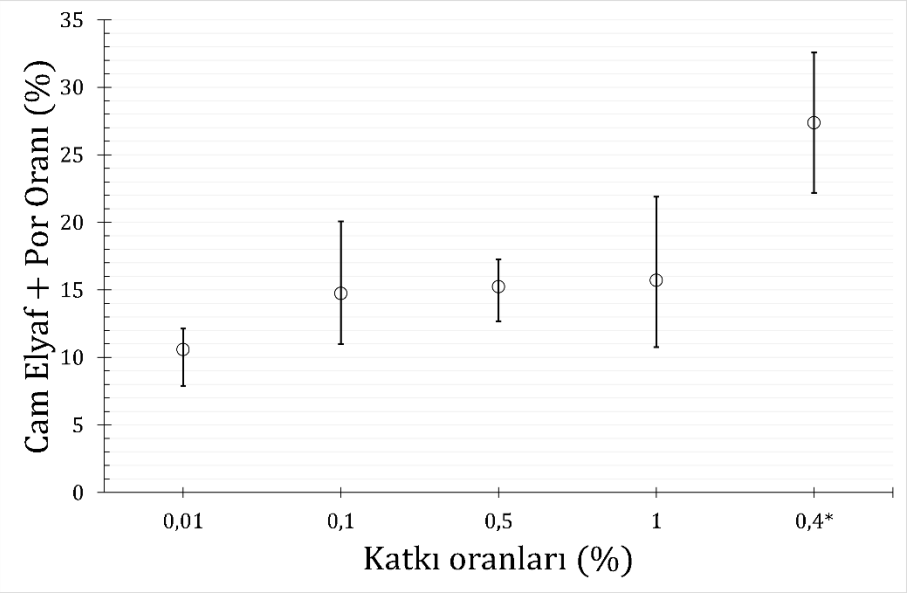
Yapılan çalışmalarda RPT üzerinden yoğunluk indeksi analizi yapılmıştır. Yoğunluk indeksi incelemesinden elde edilen sonuçlar Şekil 4.13'de verilmiştir. Şekilde verilen sonuçlarda sadece cam elyafın sebep olduğu yoğunluk değişim etkisi değil aynı zamanda katılaşma esnasında oluşan porların da etkisi dikkate alınmıştır. Yoğunluk

indeksi sonucuna göre Ni-B kaplı cam elyafın matriks yapıya karıştığı ve karışım oranının artması ile yoğunluğunda azaldığı görülmüştür.

Çizelge 4.1 : RPT lere ait bifilm tablosu.

Cam Elyaf Takviye Oranı	Bifilm İndeks (mm)	Bifilm Sayısı	Bifilm Alanı (mm^2)	Ortalama Bifilm İndeks
%0,01	163	133	90	1,23
%0,1	252	199	133	1,26
%0,5	108	108	37	1,00
%1	137	132	60	1,04
%0,4*	347	212	259	1,63

Hem Şekil 4.12'de verilen görsellerden elde edilen sonuçlar hem de Çizelge 4.1'de verilen sonuçlar Şekil 4.13'de verilen yoğunluk sonuçları ile örtüşmektedir. Ünat T. ve arkadaşlarının [79] yapmış olduğu çalışmalarda da katkı ile güçlendirilmemiş alaşımların yoğunluklarının deneyde ürettiğimiz kompozit yoğunluğuna paralel daha az çıkmıştır. Bununla birlikte cam elyaf ile porozitenin yapıya karıştığı katkı oranlarına göre de kıyaslama yapıldığında oranın paralel arttığı hesaplanmıştır.



Şekil 4.13 : Azaltılmış basınç testi (RPT) numunelerinde hesaplanan yoğunluk ölçüm sonuçlar; % 0,01, % 0,1, % 0,5 ve % 1 mekanik karıştırma ve % 0,4 de el ile karıştırma dökümüne ait sonuçlar.

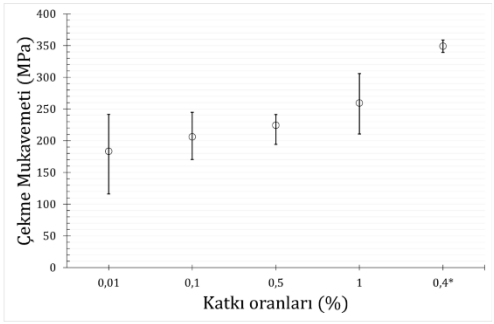
4.2.4 Çekme testi ve çentik darbe testi sonuçları

X-Ray görüntüsü alınmış olan çekme testi numunelerinin Bursa Teknik Üniversite'sinde SHIMADZU AG-X plus 250kN çekme cihazı ile çekme testleri

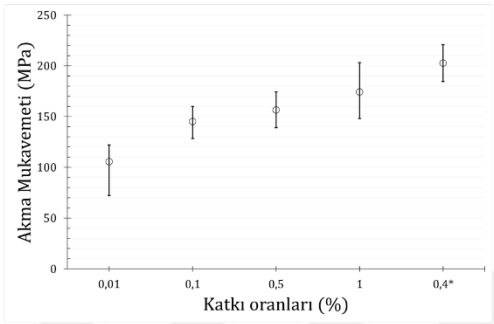
gerçekleştirilmiştir. Çekme testi sonucunda elde edilen çekme mukavemeti, akma mukavemeti ve % uzama değerleri Şekil 4.14'de verilmiştir. Şekilde verilen sonuçlar incelendiğinde katkı oranı arttıkça cam elyaf takviyeli alüminyum alaşım kompozitinin mekanik özelliklerinin iyileştiği görülmektedir. Sadece mekanik karıştırma ile elde edilen döküm numunelerine ait sonuçlar ele alındığında, en düşük katkı oranınında (% 0,01) en düşük mekanik özellik değeri ve en yüksek katkı oranında (% 1) ise en yüksek mekanik özellik elde edildiği anlaşılmaktadır. Fakat katkı oranının % 0,4 yani mekanik karıştırmada kullanılan katkı oranlarına göre ortalama bir katkı oranı olmasına rağmen el ile karıştırma yapıldığı için çok daha yüksek mekanik özellik elde edilmiştir. Hem katkı oranları için hem de karıştırma yöntemi için elde edilen bu bulgular çekme testinden elden edilen tüm sonuçlar (çekme mukavemeti, akma mukavemeti ve % uzama) için geçerlidir. Gerçekleştirilen bu çekme testinden elde edilen diğer bir sonuç ise elde edilen verilen dağılımı üzerinedir. Yine karıştırma yöntemine göre gruplandırıp yorumlamak gerekirse, mekanik karıştırmada düşük katkı oranlarından yüksek katkı oranlarına çıkıldıkça dağılımın daha az dolduğunu ve elde edilen verilerin daha istikrarlı olduğu hata barlarından anlaşılabilmektedir. Fakat bu istikrarlı dağılım % 0,5 oranında cam elyaf ilavesine kadar iyileşmekte, katkı oranı % 1'e çıktığında verilerin saçılımı artmaktadır. Ortalama olarak yüksek değer elde edilmiş olsa da % 1 cam elyaf katkısının % 0,5 katkı oranına göre daha istikrarsız olduğu söylenebilmektedir. Benzer şekilde bu hata barları üzerinden mekanik karıştırma için yapılan yorumun her üç özellik (çekme mukavemeti, akma muavemeti ve % uzama) için geçerli olduğunu söylemek yanlış olmayacaktır. El ile karıştırma yönteminde geldiğimizde ise yine her üç özellik için de en iyi sonuçların alındığı görülmektedir. Mekanik karıştırma yöntemine göre hem ortalama değerlerde hem de tekrarlanabilirlik anlamında çok daha iyi sonuçların elde edildiği görülmüştür.

Himanshu Kala ve arkadaşlarının [92] yapmış olduğu çalışmalar neticesinde bizimde çalışmamızda olduğu gibi katkı maddesi oranı arttıkça çekme dayanımının da arttığı gözlemlenmiştir.

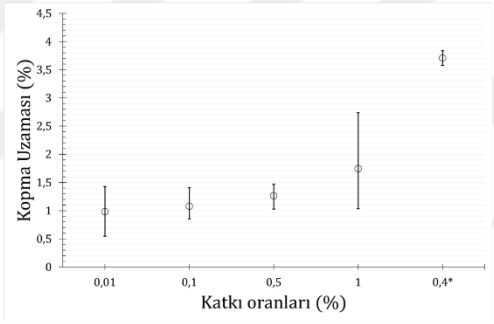
Çekme testine tabi tutulmuş en düşük (% 0,01 oranına sahip C şarjı) ve en yüksek (% 1 oranına sahip F şarjı) katkı oranına sahip döküm numuneleri üzerinde SEM incelemeleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 4.15'de sunulmuştur.



(a)



(b)

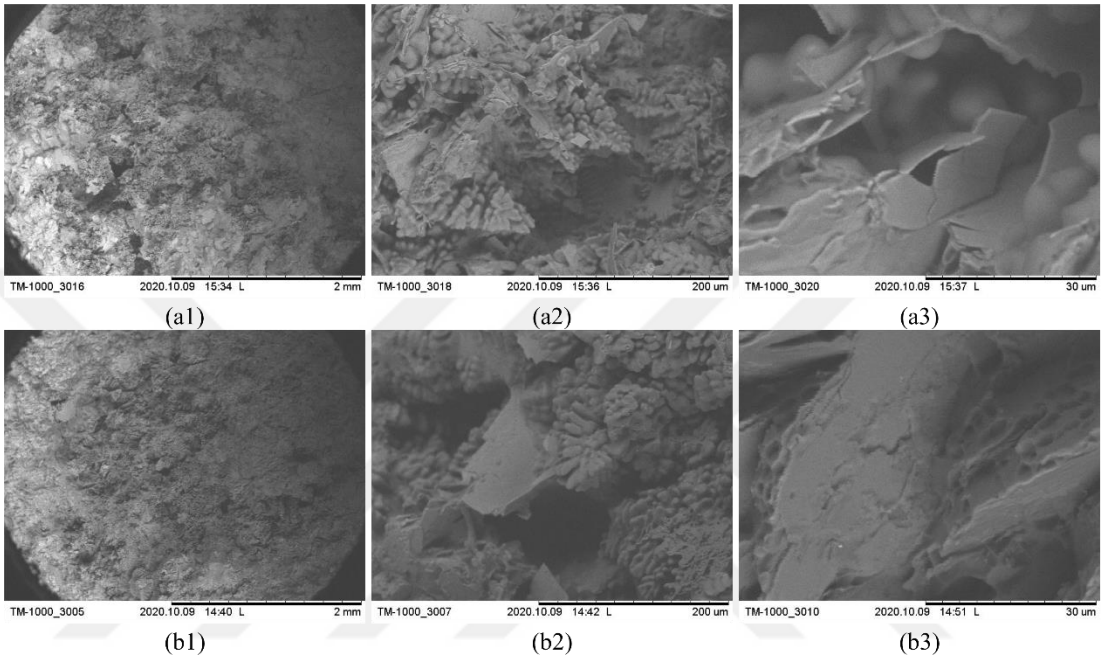


(c)

Şekil 4.14 : Çekme testi sonuçları (a) Çekme mukavemeti, (b) Akma mukavemeti ve (c) % Kopma uzaması.

Şekilde verilen SEM görüntüleri incelendiğinde kırık yüzeylerde cam elyaf takviyesinin varlığı ve etkisi net bir şekilde görülmektedir. Kırık yüzeylerden cam elyaf katkı oranının artmasıyla katılaşma sırasında alaşımda oluşan porların çok küçük oluştuğu ve buna bağlı olarak mikroyapının daha düzenli oluştuğu anlaşılmaktadır. Şekilde verilen a1 ve b1 görüntüleri detaylı incelendiğinde cam elyaf takviyesinin por ve mikroyapı üzerindeki etkisi anlaşılacaktır. Daha büyük büyütmelerde elde edilen görüntüler incelendiğinde (% 0,01 oranı için a2 ve a3 görünleri ile % 1 oranı için b2 ve b3 görüntüleri) cam elyaf ilevesinin dendritik morfolojiler arasında kendini gösterdiği görülmektedir. Şekilde 4.15'de verilen temsili görüntüler ile birlikte incelemeler esnasında elde edilen tüm görüntüler dikkate alındığında cam elyaf takviyesinin mikroyapı ve por oluşum morfolojisi üzerinde büyük bir etkiye sahip

olduğu sonucuna varılmıştır. Diğer taraftan cam elyaf her ne kadar katılaşma morfolojisini etkilemiş olsada kendi moroflojisi de döküm sıcaklığından dolayı etkilenmiştir. Katılaşma morfolojisine bağlı olarak bazı noktalarda rjitliğini korurken bazı noktlarda ise rijitliğini koruyamamış ve mikroyapı morfolojisinin zorlayıcı etkisi ile ya kopup birkaç parçaya ayrılmış ya da sıvının katılaşma morfojisinin şeklini alarak farklı formlarda şekillenmiştir.

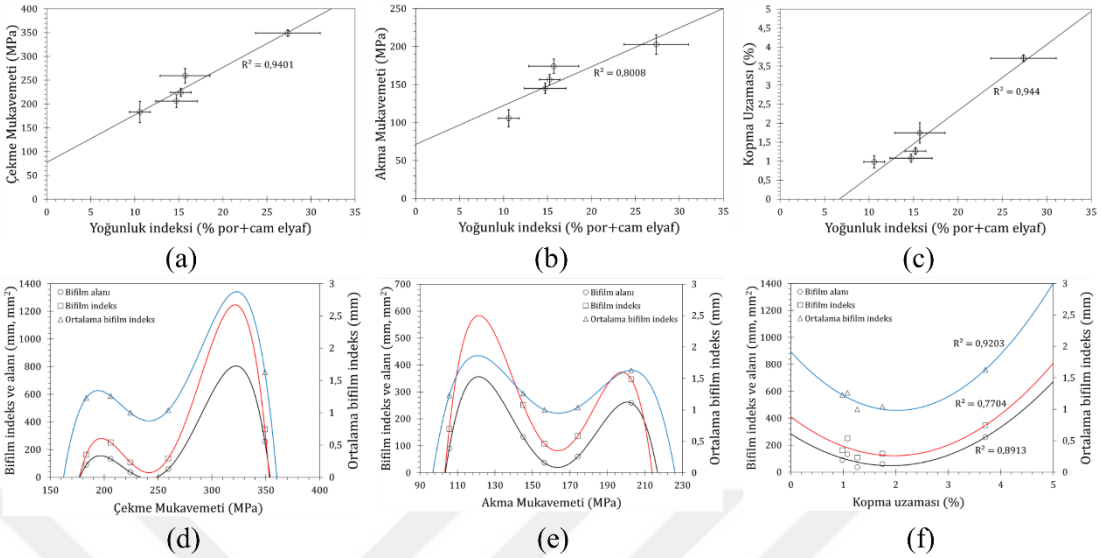


Şekil 4.15 : Çekme testi sonrası iki farklı katkı oranına ait numunelerden alınmış farklı büyütmelerdeki SEM görüntüleri (a1), (a2) ve (a3) görüntüleri C şarjına (% 0,01) ait ve (b1), (b2) ve (b3) görüntüleri F şarjına (% 1) ait.

Hem çekme testi sonuçlarınlarında hem de kırık yüzeylerde gerçekleştirilen SEM incelemelerinden anlaşılmaktadır ki; bifilm oluşumu ve mikroyapı oluşumu üzerinde takviye elemanlarının büyük bir etkisi vardır. Porlar ne kadar homojen oluşursa elde edilecek mekanik özellikler o derece yüksek olacaktır. Bifilm indeks ve yoğunluk indeksi sonuçlarının mekanik özellikler üzerine etkisi incelenmiş ve elde edilen ilişki Şekil 4.16'da verilmiştir.

Aşağıdaki grafikler incelendiğinde yoğunluk indeksi arttığında çekme ve akma mukavemeti ile birlikte kopma uzamasınında arttığı buda porların homojen oluştuğu anlamına gelmektedir. Aynı zamanda katkı oranı artışıda mekanik özelliklerdeki artışta etkisi vardır. Bifilm alanı ve bifilm indeks değerlerinin birbirine paralel mekanizmada olduğu, kopma uzaması ve çekme mukavemeti arttıkça bifilm indeks ve

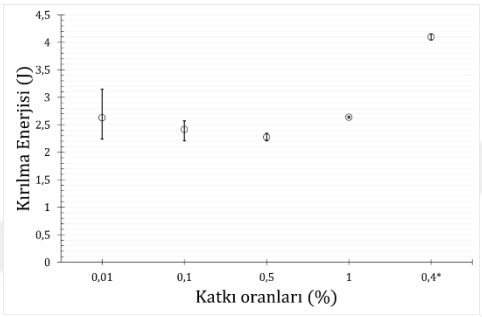
bifilm alanının arttığı, akma mukavemeti arttıkça yine bu değerlerin birbirine paralel mekanizmada çalıştığı anlaşılmaktadır.



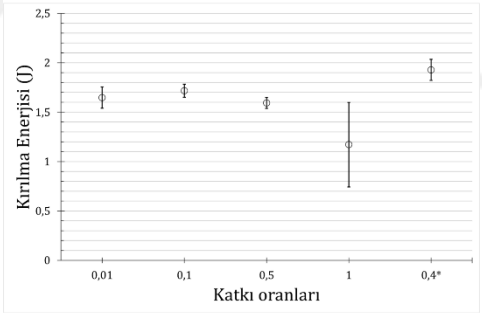
Şekil 4.16 : Yoğunluk indeksi ve bifilmler ile mekanik özellikler arasındaki ilişki; (a) yoğunluk indeksi ile çekme mukavemeti arası ilişki, (b) yoğunluk indeksi ile akma mukavemeti arasındaki ilişki, (c) yoğunluk indeksi ile kopma uzaması arasındaki ilişki, (d) bifilmler ile çekme mukavemeti arasındaki ilişki, (e) bifilmler ile akma mukavemeti arasındaki ilişki ve (f) bifilmler ile kopma uzaması arasındaki ilişki.

Numunenin gevrek kırılmaya müsait şartlardaki mekanik özellikleri hakkında fikir elde etmek amacı ile ve bununla birlikte numunenin dinamik zorlanma altında kırılması için gerekli enerji miktarını belirlemek için çentik darbe testi yapılmıştır. X-ray görüntüsü alınmış olan numunelerin 300J çentik darbe test cihazı ile çentik darbe testleri gerçekleştirilmiştir. Testlerden elde edilen sonuçlar Şekil 4.17'de verilmiştir. Çentik Darbe testi sonuçlarına göre yolluklardan elde edilen numunelerin (10X10mm) kıyaslanmasında en iyi darbe direncine sahip olan dökümün B şarjı olduğu, ve sonrasında F şarjı olduğu en az darbe direncine sahip malzemenin ise en az oranda katkı yapılan C şarjına ait olduğu değerlendirilmiştir. Çentik darbe testi numune hazırlama standardına göre hazırlanan 10X10X55 ölçülerindeki numune testleri göstermiştir ki mekanik karıştırma ve el ile karıştırma arasında darbe davranışı açısından da farklar mevcuttur. Mekanik karıştırmada artan cam elyaf katkı oranı ile absorbe edilen enerji artmış olsa da el ile karıştırmada çok daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Bunun sebebi mekanik karıştırma esnasında oksit oluşumunun daha fazla olması ve buna bağlı olarak sıvı metal içerisine daha fazla bifilm girmesi olarak görülmektedir. Diğer taraftan standart dışı numune ölçüleri (5X10X55) dikkate alındığında en düşük darbe enerjisi değeri % 1 cam elyaf takviyesi yapıldığında elde

edilmiştir. Bu takviye oranında sadece enerji değeri düşmemiş aynı zamanda standart sapma da artmış ve bu parametre için elde edilen sonuçlara güvenirlilik azalmıştır. Karıştırma yöntemi dikkate alındığında standart ölçülere sahip numune için yapılan yorumun da bu standart dışı numuneler için de yapılması mümkün olmaktadır. Çentik darbe testine ait tüm sonuçlar özellikle standart ölçülere sahip numuneler dikkate alındığında genel olarak ifade etmek gerekirse, artan cam elyaf ilavesi ile darbe enerjisi üzerinde değişimler düşüktür. Fakat darbe testlerinin tekrarlanabilirliği iyileşmektedir. El ile karıştırma yönteminde hem darbe enejisi değeri yükselmiştir hem de tekrarlanabilirliği iyileşmiştir.



(a)



(b)

Şekil 4.17 : Kırılma enerjisi a) çentik darbe 10 mm genişlikteki numune b) çentik darbe 5 mm genişlikteki numune.

Yapılan çalışmalardan çıkan sonuçlardan da anlaşılacağı üzere üretilen Ni-B kaplamalı cam elyaf katkılı alüminyum matriksli kompozitin el ile karışımından ASTM standart mekanik özelliklerine göre artmıştır. Buna paralel olarak referanslarda gösterilen çalışmalarında standart katkısız malzemeye göre mekanik özelliklerinin iyileştiği tespit edilmiştir.

Çizelge 4.2 : Deneysel çalışmadan elde edilen çekme testi sonuçlarının literatür ile karşılaştırılması.

REF	Malzeme içeriği	Üretim yöntemi veya üretici firma	Çekme Mukavemeti (MPa)	Akma Mukavemeti (MPa)	% Uzama	Not
EN 755-2	6061 A-T6	-	260	240	9-10	EN 755-2
EN 755-2	6061 A-T4	-	180	110	15	EN 755-2
EN 755-2	2014 A-T6	-	415-465	320-420	5-7	EN 755-2
EN 755-2	7075 A-T6	-	470-560	400-500	5-7	EN 755-2
ASTM	A356-T61	-	255	179	5,0	ASTM
ASTM	A380-F	-	324	159	3,5	ASTM
[93, 94]	%10 Al_2O_3/6061 Al-T6	Duralcan, Alcan	338	296	7,5	Süreksiz takviyeli
[93-95]	%15 Al_2O_3/6061 Al-T6	Duralcan, Alcan	359	317	5,4 - 6	Süreksiz takviyeli
[93, 94]	%20 Al_2O_3/6061 Al-T6	Duralcan, Alcan	379	359	2,1	Süreksiz takviyeli
[93-95]	%20 Al_2O_3/6061 Al-T6	Comral 85, Comalco	330	305	3,4	Süreksiz takviyeli
[93, 94]	%15 SiC/6061 Al-T6	Cospray, Alcan	364	342	3,2	Süreksiz takviyeli
[93]	%15 SiC/6061 Al-T4	DWA	460	405	7,0	Süreksiz takviyeli
[93]	%20 SiC/6061 Al-T4	DWA	500	420	5,0	Süreksiz takviyeli
[94]	%20 SiC/6061 Al-T6	TM+ Ekstrüzyon	498	415	6,0	Süreksiz takviyeli
[94]	%20 $SiC_{(kılcal\ kristal)}$/6061 Al-T6	TM+ Ekstrüzyon	-	440	4,0	Fiber takviyeli
[95]	%12 $SiC_{(kılcal\ kristal)}$/6061 Al-T6	Sıkıştırma döküm	-	197 (250^0C) 153 (300^0C) 94 (350^0C)	-	Fiber takviyeli
[95, 96]	%20 SiC/2014 Al-T6	Döküm+ Ekstrüzyon	497	479	2,5	Süreksiz takviyeli

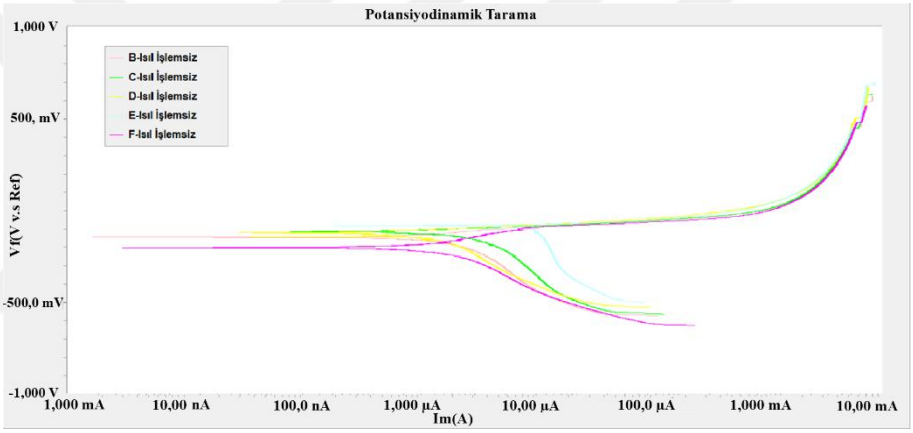
Çizelge 4.2 (devam): Deneysel çalışmadan elde edilen çekme testi sonuçlarının literatür ile karşılaştırılması.

REF	Malzeme içeriği	Üretim yöntemi veya üretici firma	Çekme Mukavemeti (MPa)	Akma Mukavemeti (MPa)	% Uzama	Not
[95]	%15 SiC/7075 Al-T6	Döküm+ Ekstrüzyon	610	581	3,0	Süreksiz takviyeli
[93, 94]	%10 SiC/A356-T61	Duralcan, Alcan	303-308	283-287	0,6	Süreksiz takviyeli
[93, 94]	%15 SiC/A356-T61	Duralcan, Alcan	331-336	324-329	0,3	Süreksiz takviyeli
[93, 94]	%20 SiC/A356-T61	Duralcan, Alcan	352-357	331-336	0,4	Süreksiz takviyeli
[93, 95]	%10 SiC/A380-F	Duralcan, Alcan	332	245	0,7-1,0	Süreksiz takviyeli
[97]	%16 $SiC_{(kılcal\ kristal)}$/2124 Al-T6	Toz metalurjisi	-	440	3,0	Fiber takviyeli
[93]	%20 $SiC_{(kılcal\ kristal)}$/2124 Al-T6	-	-	497	2,4	Fiber takviyeli
[97]	%15 $SiC_{(kılcal\ kristal)}$/2009 Al-T6	Toz metalurjisi	-	355	3,9	Fiber takviyeli
Mevcut çalışma	A380 + % 0.01 E tip cam elyaf	Kokil kalıba döküm	183	102	1,2	Breyz ile karıştırma
Mevcut çalışma	A380 + % 0.1 E tip cam elyaf	Kokil kalıba döküm	206	145	1,19	Breyz ile karıştırma
Mevcut çalışma	A380 + % 0.5 E tip cam elyaf	Kokil kalıba döküm	224	156	1,26	Breyz ile karıştırma
Mevcut çalışma	A380 + % 1 E tip cam elyaf	Kokil kalıba döküm	259	174	1,74	Breyz ile karıştırma
Mevcut çalışma	A380 + % 0.4 E tip cam elyaf	Kokil kalıba döküm	349	202	3,7	Elle karıştırma

4.2.5 Korozyon test sonuçları

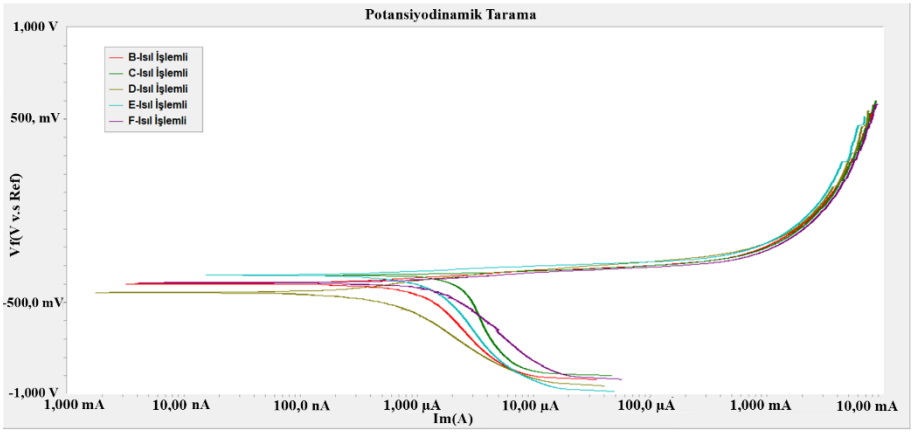
Farklı oranlarda Ni-B kaplı cam elyaf katkı oranlarına göre oluşan döküm parametreleri altında elde edilen test numunelerine T6 ısıl işlemi öncesi ve sonrası korozyon testleri uygulanmıştır. Korozyon teslerinden elde edilen potansiyodinamik polarizasyon (PDP) sonuçları T6 ısıl işlemi öncesi ve sonrası için sırasıyla Şekil 4.18 ve Şekil 4.19'da toplu deney sonuçları ise Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Şekil 4.18 ve Şekil 4.19 incelendiğinde incelendiğinde T6 ısıl işlemsiz test numunesinin diğer test numunelere göre daha düşük bir E_{kor} değerine sahip olduğu görülmüştür. Tüm koşullarda elde edilen E_{kor} değerleri birbirlerine oldukça yakın ve ve grafik karakteristikleri de birbirlerine yakın sonuçlar verilmiştir. Korozyon hızı ve ilave parametrelerinin etkisi i_{kor} değerleri üzerinden değerlendirilmiştir.



Şekil 4.18 : Farklı oranlarda Ni-B kaplı cam elyaf katkı oranlarına göre oluşan döküm parametreleri altında elde edilen T6 ısıl işlemsiz kompozit için polarizasyon eğrileri.

T6 ısıl işlemli numunenin test sonuçları diğerlerine göre farklılık göstermiş, özellikle E_{kor} değerinde azalma görülmüştür (Şekil 4.19). Malzemenin T6 ısıl işlemi ile birlikte korozyona karşı göstermiş olduğu dirençte nasıl bir değişimin meydana geldiğini gözlemlemek için gerçekleştirilen bu testte ısıl işlem ile birlikte korozyona karşı dayanımın Ni-B cam elyaf katkısının bu konuda düzenli bir eğilime sahip olduğu söylenememektedir.



Şekil 4.19 : Farklı oranlarda Ni-B kaplı cam elyaf katkı oranlarına göre oluşan döküm parametreleri altında elde edilen T6 ısıl işlemli kompozit için polarizasyon eğrileri**.**

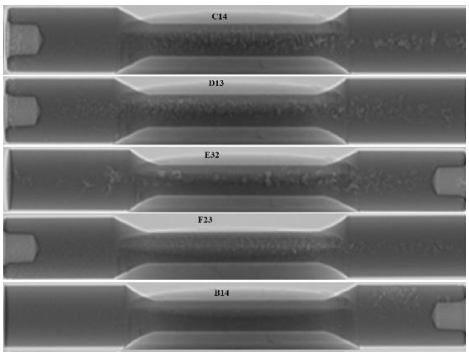
Çizelge 4.3 : Elektrokimyasal deney verileri

Numune ismi	OCP (mV)	E_{kor} (mV)	I_{kor} (nA)	i_{kor} (nA/cm^2)
B Isıl İşlemli	-421,7	-399,4	340	435,8
B Isıl İşlemsiz	-474,6	-436,6	240	307,6
C Isıl İşlemli	-399,7	-353,7	1596	2040
C Isıl İşlemsiz	-461,4	-399,2	518	664,1
D Isıl İşlemli	-454,1	-445,9	159	203,8
D Isıl İşlemsiz	-415,1	-405,1	191	244,8
E Isıl İşlemli	-485,9	-350,4	512	656,4
E Isıl İşlemsiz	-379,7	-357,6	2930	3750
F Isıl İşlemli	-419,6	-392,1	767	983,3
F Isıl İşlemsiz	-538,9	-510,1	262	335,8

Veriler incelendiğinde Ni-B kaplı cam elyaf katkısının %0,5 olan E ısıl işlemsiz şarjınıda üretilen numunenin en hızlı korozyona uğradığı anlaşılmış, en yavaş korozyonun ise %0,1 katkılı D şarjının T6 ısıl işlemli numuneden elde edilmiştir. Yapılan ısıl işlemler ile birlikte korozyon davranışında düzenli bir gelişme tespit edilememiştir.

4.2.6 Bilgisayarlı tomografi inceleme sonuçları

Çekme testi numunelerine X-Ray ve CT incelemleri çekme testleri öncesinde yapılmış olup, elde edilen X-Ray görüntüleri Şekil 4.20'de verilmiştir. Çekme testi numuneleri üzerinde X-Ray incelemelerinden elde görüntülere göre ilave edilen cam elyafların her katkı oranında varlığından söz etmek mümkündür.

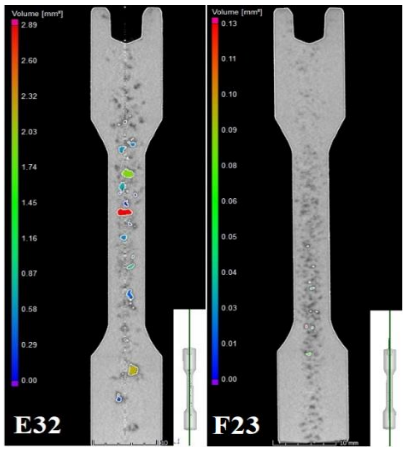


Şekil 4.20 : Çekme Testi Numunelerin X-Ray görüntüleri.

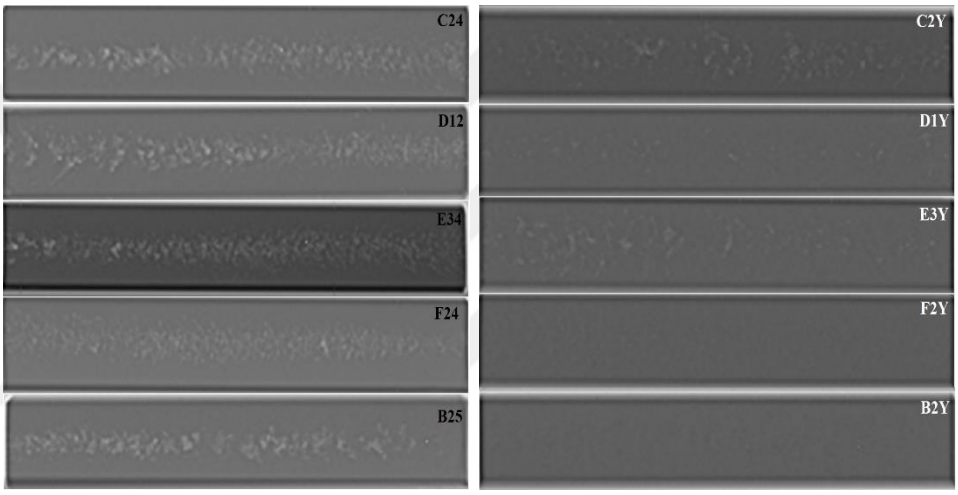
X-Ray incelemeleri sonrası % 0,5 ve % 1 cam elyaf katkılı döküm numunelerinden seçilen 2 adet numuneye bilgisayarlı tomografi (CT) incelemesi yapılmıştır. İnceleme sonucunda elde dilen görüntüler Şekil 4.21'de sunulmuştur. Yoğunluk farkından dolayı gri tonlu görüntülerin alüminyum harici farklı bir malzeme katkısının olduğu dikkate alındığında Şekil 4.21'de verilen görüntülerde cam elyaf takviyesinin etkisi olabileceğine yönelik değerlendirilmiştir. % 0,5 cam elyaf takviyeli görüntüde (solda) takviye elemanlarının hem çekme bölgesinde hem de numunenin baş kısmında yoğunlaştığı görülmüştür. Katkı oranı % 1 olan görüntüde ise (sağda) yoğunlaşmanın daha çok çekme bölgesinde olduğu anlaşılmaktadır.

Çentik darbe testi numulerine X-Ray incelemeleri yapılmış ve elde edilen görüntüler Şekil 4.22'de verilmiştir. Şekil 4.22'de solda verilen görüntüler standart çekme testi ölçülerinde hazırlanan (10x10x55 mm) numunelere ait görüntüler ve sağ tarafta verilen görütüler de standart dışı ölçülerde hazırlanan (5x10x55 mm) numunelere ait görüntülerdir.

Şekil 4.22'deki görüntüler incelendiğinde standart ölçülerde silindir kollarından hazırlanmış soldaki resimlerde dağılım görülebilmektedir. Her bir numunede dağılım farklılık göstermektedir fakat cam elyaflar görülebilmektedir. En iyi dağılımın %0,5 katkı oranlı E34 numunesindedir. Sağdaki standart olmayan numuneler yolluklardan üretilmiştir. Yolluklardan üretilen standart dışı numunelerden en iyi cam elyaf dağılımı %0,5 katkı oranlı E3Y dir.



Şekil 4.21 : Çekme testi numunelerinin CT görüntüler; % 0,5 cam elyaf takviyesine ait görüntü solda verilmiş ve % 1 cam elyaf takviyesine ait görüntü sağda verilmiştir.

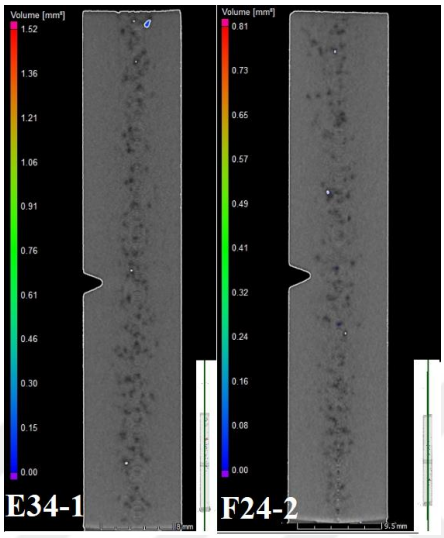


Şekil 4.22 : Çentik darbe testi numunelerin X-Ray görüntüleri; Standart ölçülerde hazırlanan (10X10X55mm) çentik darbe numunelerine ait X-Ray görüntüleri solda verilmiş ve standart dışı ölçülerde hazırlanan (5X10x55mm) çentik darbe numunelerine ait X-Ray görüntüleri sağda verilmiştir.

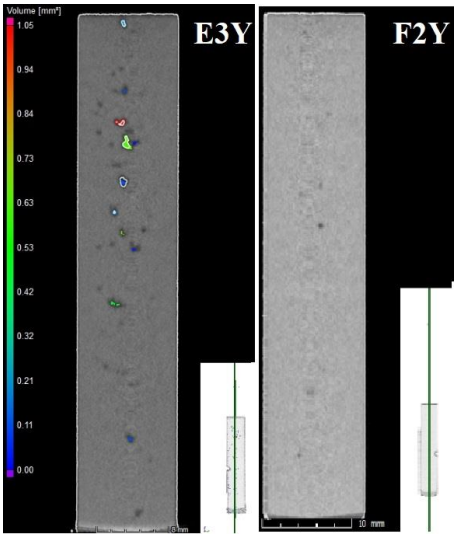
X-Ray incelemeleri sonrası % 0,5 ve %1 cam elyaf takviyeli dökümlerden elde edilen çentik darbe testi numunelerine CT incelemeleri yapılmıştır. İncelemelerden elde edilen sonuçlar standart dışı ölçülerde hazırlanan (5X10x55mm) numuneler için Şekil 4.23'de ve standarta göre hazırlanan (10X10x55mm) numuneler için Şekil 4.24'de verilmiştir.

Şekil 4.23'teki görüntüler incelendiğinde CT analizi numunelerin tam orta kesitlerinden yapılmıştır. Standart dışı olan silindirden üretimiş bu numunelerin CT incelemelerinde cam elyafın yoğunluğunun alüminyuma göre farklı olmasından dolayı siyah-gri ton dışı renklerde cam elyafların olabileceğinden söz edilebilir. En iyi dağılım ise %0.5 katkılı E34-1 standart dışı numunededir. Şekil 4.24'teki görüntüler

incelendiğinde CT analizi numunelerin tam orta kesitlerinden yapılmıştır. Standart dışı olan yolluktan üretilmiş numunelerin CT incelemelerinde cam elyafın yoğunluğunun alüminyuma göre farklı olmasından dolayı siyah-gri ton dışı renklerde cam elyafların olabileceğinden söz edilebilir. En iyi dağılım ise %0,5 katkılı E3Y standart dışı numunededir.



Şekil 4.23 : Standart dışı ölçülere göre hazırlanmış (5x10x55mm)numunelerden alınmış CT görüntüleri; solda % 0,5 cam elyaf tekviyesine ait numunin CT görüntüsü verilmiş ve sağda % 1 cam elyaf takviyesine ait CT görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.24 : Standarta göre hazırlanmış (10x10x55 mm)numunelerden alınmış CT görüntüleri; solda % 0,5 cam elyaf tekviyesine ait numunin CT görüntüsü verilmiş ve sağda % 1 cam elyaf takviyesine ait CT görüntüsü verilmiştir.

Cam elyafın Ni-B kaplandığı yapılan SEM ve EDS analizlerinde tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre elyafların istenilen seviyede yani 2 - 2,5 µm arası kalınlıkta kaplandığı ölçülmüştür. Elde edilen mikroyapı analizlerinde yine cam elyafın

malzemeye karıştığı farklı büyütmelerdeki görüntüler takviye elemanından kaynaklı boşlukların varlığını göstermektedir.

XRD sonucu incelendiğinde, Ni_3B fazına ait piklerin oluştuğu görülmüştür. X-Ray sonuçları ile kesit incelemesine ait sonuçlar bir biri ile örtüşmektedir. Cam elyaf katkı oranları dikkate alınarak RPT görüselleri incelendiğinde katkı oranı arttıkça oluşan porların azalma eğiliminde olduğunu ve bununla beraber ortalama por uzunluklarının da azalma eğiliminde olduğunu söylemek mümkündür.

RPT üzerinden yoğunluk indeksi analizi sonuçlarında sadece cam elyafın sebep olduğu yoğunluk değişim etkisi değil aynı zamanda katılaşma esnasında oluşan porların da etkisi dikkate alınmıştır. Yoğunluk indeksi sonucuna göre Ni-B kaplı cam elyafın matriks yapıya karıştığı ve karışım oranının artması ile yoğunluğunda azaldığı görülmüştür. Gerçekleştirilen çekme testinden elde edilen diğer bir sonuç ise elde edilen verilen dağılımı üzerinedir. Yine karıştırma yöntemine göre gruplandırıp yorumlamak gerekirse, mekanik karıştırmada düşük katkı oranlarından yüksek katkı oranlarına çıkıldıkça dağılımın daha az dolduğunu ve elde edilen verilerin daha istikrarlı olduğu hata barlarından anlaşılabilmektedir. Fakat bu istikrarlı dağılım % 0,5 oranında cam elyaf ilavesine kadar iyileşmekte, katkı oranı % 1'e çıktığında verilerin saçılımı artmaktadır. Ortalama olarak yüksek değer elde edilmiş olsa da % 1 cam elyaf katkısının % 0,5 katkı oranına göre daha istikrarsız olduğu söylenebilmektedir. Çekme testine tabi tutulmuş en düşük (% 0,01 oranına sahip C şarjı) ve en yüksek (% 1 oranına sahip F şarjı) katkı oranına sahip döküm numuneleri üzerinde SEM incelemeleri yapılmış ve kırık yüzeylerden cam elyaf katkı oranının artmasıyla katılaşma sırasında alaşımda oluşan porların çok küçük oluştuğu ve buna bağlı olarak mikroyapının daha düzenli oluştuğu anlaşılmaktadır. X-ray ve CT incelemelerine göre cam elyafların en yoğun olduğu numunelerin %0.5 cam elyaf katkılı şarja ait olduğu söylenebilmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

E sınıfı 3-12 mm arası kırpılmış cam elyafın Ni-B ile akımsız kaplama yöntemi kullanılarak kaplanması işlemi olumlu sonuçlanmıştır. Ni-B akımsız kaplama işlemi sırasında cam elyafın aglomera olmaması ve topaklanmaması sonucuna göre kaplama zamanının en önemli parametrelerden biri olduğu sonucuna varılmıştır. Kaplama süresi uzatıldıkça topaklanmanın oluştuğu, kısaltıldığında ise akımsız kaplama işleminin cam elyaf üzerinde gerçekleşmediği anlaşılmıştır. Ön çalışmada Cu kaplamadaki 50 dakikalık akımsız kaplama süresi Ni-B kaplama çalışması ile 1 dakikaya indirilmiş hali en uygun zaman olduğu ve endüstriyel kullanımda verimliliği arttıracak bir çalışma olarak sonuçlanmıştr.

Akımsız Ni-B kaplı cam elyafın SEM görüntülerine göre elyafların istenilen 2-2,5 µm arası kalınlıkta kaplandığı ölçülmüştür. EDS sonucuna göre elyafların %73,51 Ni ve %5,15 B oranında kaplandığı ölçülmüştür. Elde edilen bu sonuçlar akımsız Ni-B kaplama işleminin başarılı olduğunun göstergesidir.

Ni-B kaplı cam elyafların beslenmesinde ise mikroyapı analizlerine göre en iyi beslemenin E ve F şarjlarında yani oranının en yüksek olduğu ve pota içine yapılan besleme ile olduğu anlaşılmaktadır. Yapılan incelemeler sonrası E (%0.5 katkı oranına sahip) grubuna ait numunelerde mikroyapı görüntülerinden katılaşma sırasında cam elyafın sıvı alüminyum içerisinde çekirdekleştirici görevi görerek, sıvı haldeki alüminyumun elyaf çevresinden katılaşmaya başladığı ve elyaf çevresindeki katının elyaf geometrisine göre şekillendiği anlaşılmıştır.

Kesiti alınmış döküm parçaları dikey, yatay ve yolluklar ile RPT kesitleri üzerinden SEM görüntüleme ve EDS sonuçlarında, Ni-B kaplı cam elyafların dökümün içine karıştığı ve aglomera olmadığı görülmüştür. EDS sonucuna göre Ni-B kaplı elyafların dökümdeki oranları %1,85 Ni ve %11 B ölçülmüştür. SEM görüntülerinde ise açıkça cam elyaflar görülmüştür.

Cam elyaf çevresindeki sıvı alaşım ilk olarak α-Al dendritleri oluşturarak katılaşmayı tamamlamıştır. Bu incelemeye istinaden cam elyafların dendrit kolları arasında kendini daha fazla gösterdiğini söylemek yanlış olmayacaktır. Cam elyafın rijit bir şekilde yapıda yer aldığı ve numune hazırlama işlemleri esnasında bulunduğu yerden koptuğu ve boşluk şeklinde bir görüntü bıraktığı gözlemlenmiştir. EDS haritalama sonucu incelendiğinde ise mikroyapının farklı bölgelerinde cam elyafın kaplanmasında kullanılan Ni ve B elementlerinin varlığından söz etmek mümkündür. Bu tezin deneysel çalışmasından kullanılan ana matriks olan A380 alaşımının kimyasal kompozisyonun mevcut olan ana alaşım elemetleri (Al, Si ve Cu) EDS haritalamada beklendiği şekilde görüntülenmiştir. Oksit oluşumundan kaynaklanan ve yapı içerisinde sıkıştığı bölgede şekillenen bifilmlerden dolayı oksijen varlığı da tespit edilmiştir. Çalışmamızın ana konusu olan cam elyafın kaplama prosesinde kullanılan Ni ve B elementlerinin EDS analizinde varlığı ile yapıda mevcut olduğu kanıtlanmıştır.

Çekme test sonuçlarına göre ise en iyi kopma değerleri elle katkı yapılan numunede, % uzama değerlerinin değerlendirilmesi sonucunda ise en iyi sonuçların elle katkı yapılan dökümde çıktığı test edilmiştir. Çekme testi sonucuna göre ise yapılan CT ve X-ray görüntüleri, SEM görüntüleri sonucu ile paraleldir. El ile karıştırma yönteminde geldiğimizde ise yine her üç özellik için de en iyi sonuçların alındığı görülmektedir. Mekanik karıştırma yöntemine göre hem ortalama değerlerde hem de tekrarlanabilirlik anlamında çok daha iyi sonuçların elde edildiği görülmüştür.

Yoğunluk indeksi arttığında çekme ve akma mukavemeti ile birlikte kopma uzamasının da arttığı bu da porların homojen oluştuğu anlamına gelmektedir. Aynı zamanda katkı oranı artışı da mekanik özelliklerdeki artışa etkisi olmuştur.

Darbe çentik testleri hem yolluklardan çıkarılan ve hem de silindir halde dökülmüş olan parçalardan işlenerek çıkarılmış olan T6 ısıl işlemli parçaların test sonuçları incelendiğinde yolluklarda en iyi darbe dayanımın en fazla katkı yapılmış olan şarja ait olduğu, silindirlerden işlenmiş darbe test numunelerine göre ise en iyi darbe dayanımına sahip olan şarjın elle kepçede karışımın gerçekleştirildiği şarja ait olduğu hemen arkasından ise yine katkı oranlı D şarjının darbe dayanımının iyi olduğu sonucuna varılmıştır. Bu durum Ni-B kaplı cam elyaf katkısının katkısız yapı ile kıyaslandığında, yapıyı sünekleştirdiğini göstermektedir. Ni-B kaplamalı cam elyaf katkılı alüminyum matriksli kompozitin el ile karışımından ASTM standart mekanik

özelliklerine göre artmıştır. Buna paralel olarak referanslarda gösterilen çalışmalarında standart katkısız malzemeye göre mekanik özelliklerinin iyileştiği tespit edilmiştir.

Farklı oranlarda Ni-B kaplı cam elyaf katkılı EN AC 46000 alaşımla üretilen kompozitin T6 ısıl işlemli test numunelerinde korozyon karakteristiklerinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen elektrokimyasal testlerinin sonuçları incelendiğinde, OCP ve E_{kor} değerleri birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir. Bu da Ni-B kaplı cam elyaf katkısının korozyon direncini olumsuz anlamda etkilemediğinin bir göstergesidir. Malzemenin T6 ısıl işlemi ile birlikte korozyona karşı göstermiş olduğu dirençte nasıl bir değişimin meydana geldiğini gözlemlemek için gerçekleştirilen bu testte ısıl işlem ile birlikte korozyona karşı dayanımın Ni-B cam elyaf katkısının bu konuda düzenli bir eğilime sahip olduğu söylenememektedir. Korozyon hızı ve ilave parametrelerinin etkisi $İ_{kor}$ değerleri üzerinden değerlendirilmiştir. Elektrokimyasal deneyler sonucu Ni-B kaplı cam elyaf ilaveli numunenin $İ_{kor}$ değerlerinde ısıl işlem ile birlikte bir değişiklik olduğu söylenememektedir.

5.2 Öneriler

Alüminyum matriksli kompozit üretimi ve cam elyaf ve karbon elyaf katkılı kompozitlerin üretimine dair literatürde çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Bu sebeple hem cam elyafın akımsız kaplanması ve hem de kaplanmış olan katkı malzemesinin döküm ile üretim yöntemleri incelenebilir.

Katkı malzemesinin akımsız kaplanması burada en önemli parametrelerden birisini oluşturduğu için büyük çaplı banyolarda sadece cam elyaf değil, akımsız kaplanacak diğer metalik olmayan malzemelerde kaplamaların yapılması ve endüstriye transferi tezdeki sonuçların doğruluğunu ve güvenilirliğini arttıracaktır.

Ni-B kaplı cam elyafın katkısı ise iki farklı yöntemle denenmiştir. Denemelerden ikinci yöntemin yani breyz ile sabit devir altInda karıştırılması sonucu, elle kepçeye karıştırma sonucuna göre daha yakın değerler çıkmasından dolayı katkının döküme karıştırma yöntemi geliştirilebilir. Uygulanan karıştırmalı (stir) döküm yönteminde katkısız yapılan döküm ile katkılı döküm yöntemi kıyaslandığında döküm, katkı ve karıştırma işlemleri sırasında potanın yaklaşık 5 cm üzerinden oksijeni uzaklaştırmak için argon gazı süpürülse de, numunelerde ilk döküme göre daha fazla porozite

oluştuğu görülebilmektedir. Döküm yöntemi, katkı malzemesi, karıştırma yöntemi, oksijen uzaklaştırma ve çalkantının önüne geçecek yöntemler ile döküm çeşitlendirilip çalışma daha da genişletilebilir.

Korozyon davranışının belirlenmesi çok fazla zaman alan ve karmaşık bir süreçtir. Bu sebeple gerçeğe daha yakın olması ve hassas sonuçlar elde edebilmek için daha fazla korozyon dayanım testleri yapılabilir. Bununla birlikte korozyon dayanımında temel ölçüt olan çevresel faktörler de değiştirilip farklı korozif ortamlarda çalışmalar yapılabilir.

Numunlerin içindeki elyafların dizilimi dağınık olduğu için mikroyapı ve elektron mikroskop görüntüleme çalışmalarında elyafın hangi yönde dağıldığı bilinmeden alınıp kesitler üzerinden çalışmalar yapılmıştır. Döküm sırasında elyafların istenilen yöne doğru yönlendirilebilmesi için yolluk çevresi manyetik alan ile şartlandırılıp elyafların tek düze yönlenmesi sağlanabilir.

KAYNAKLAR

[1] **Url-1** <http://www.world-aluminium.org>, Erişim Tarihi 12.08.2020.

[2] **Url-2** <http://www.world-aluminium.org>, Erişim Tarihi 01.09.2020.

[3] **Url-3** <https://www.metalurji.org.tr>, Erişim Tarihi 10.09.2020.

[4] **Kaufman, J.G. and Rooy, E.L.,** (2004). *Aluminum alloy castings: properties, processes, and applications,* Illinois: Asm International

[5] **Url-4** <https://www.atbank.com.tr>, Erişim Tarihi 20.09.2020.

[6] **Zeren, M.**, (2005). Effect of copper and silicon content on mechanical properties in Al–Cu–Si–Mg alloys. *Journal of Materials Processing Technology*, **169**(2). 292-298.

[7] **Wang, Q., Apelian, D., and Lados, D.**, (2001). Fatigue behavior of A356-T6 aluminum cast alloys. Part I. Effect of casting defects. *Journal of light metals*, **1**(1). 73-84.

[8] **Url-5** <https://www.mta.gov.tr>, Erişim Tarihi 17.09.2020.

[9] **Çetin, H.,** (2006). *Alüminyum alaşımı hafif metal levhaların prizmatik derin çekmede biçimlendirilebilirlik özelliklerinin araştırılması (*Doktora Tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

[10] **Dispinar, D., Akhtar, S., Nordmark, A., Di Sabatino, M., and Arnberg, L.**, (2010). Degassing, hydrogen and porosity phenomena in A356. *Materials Science and Engineering: A*, **527**(16-17). 3719-3725.

[11] **Doğan, M.,** (1989). *Alüminyumların ısıl işlemi (*Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[12] **Ak, M.,** (2012). *Aa206 Alüminyum Döküm Alaşımında Empürite Demirin Mekanik Özelliklere Etkilerinin İncelenmesi (*Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[13] **Özdemir, İ., Cöcen, Ü., and Önel, K.**, (2000). The effect of forging on the properties of particulate-SiC-reinforced aluminium-alloy composites. *Composites Science and Technology*, **60**(3). 411-419.

[14] **Srivastava, A.**, (2017). Recent advances in metal matrix composites (MMCs): a review. *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*, **1**(2). 520-522.

[15] **Bozchaloei, G.E., Varahram, N., Davami, P., and Kim, S.K.**, (2012). Effect of oxide bifilms on the mechanical properties of cast Al–7Si–0.3 Mg alloy and the roll of runner height after filter on their formation. *Materials Science and Engineering: A*, **548**. 99-105.

[16] **Buffiere, J.-Y., Savelli, S., Jouneau, P.-H., Maire, E., and Fougeres, R.**, (2001). Experimental study of porosity and its relation to fatigue

mechanisms of model Al–Si7–Mg0. 3 cast Al alloys. *Materials Science and Engineering: A*, **316**(1-2). 115-126.

[17] **Campbell, J. and Harding, R.A.**, (1994). Solidification defects in castings. *Talat lecture*, **3207**. 29.

[18] **Campbell, J.,** (2003). *Castings*, Oxford: Elsevier

[19] **Çetin, R., Uludağ, M., and Dışpınar, D.**, (2016). Bifilms and hot tearing of Al-Si alloys.

[20] **Dispinar, D. and Campbell, J.**, (2011). Porosity, hydrogen and bifilm content in Al alloy castings. *Materials Science and Engineering: A*, **528**(10-11). 3860-3865.

[21] **Rappaz, M., Drezet, J.-M., and Gremaud, M.**, (1999). A new hot-tearing criterion. *Metallurgical and materials transactions A*, **30**(2). 449-455.

[22] **Uludag, M., Kocabas, M., Dispinar, D., Çetin, R., and Consever, N.**, (2017). Effect of Sr and Ti Addition on the Corrosion Behaviour of Al-7Si-0.3 Mg Alloy. *Archives of Foundry Engineering*, **17**.

[23] **Campbell, J.,** (2004). *Castings practice: the ten rules of castings*, Oxford: Elsevier

[24] **Davami, P., Kim, S., and Tiryakioğlu, M.**, (2013). The effect of melt quality and filtering on the Weibull distributions of tensile properties in Al–7% Si–Mg alloy castings. *Materials Science and Engineering: A*, **579**. 64-70.

[25] **Dispinar, D.,** (2006). *Determination of metal quality of aluminium and its alloys (*Doktora tezi). University of Birmingham, Birmingham.

[26] **Puclin, T. and Kaczmarek, W.**, (1998). Synthesis of alumina-nitride nanocomposites by successive reduction-nitridation in mechanochemically activated reactions. *Journal of alloys and compounds*, **266**(1-2). 283-292.

[27] **Uludağ, M., Çetin, R., Dispinar, D., and Tiryakioğlu, M.**, (2018). The effects of degassing, grain refinement & Sr-addition on melt quality-hot tear sensitivity relationships in cast A380 aluminum alloy. *Engineering Failure Analysis*, **90**. 90-102.

[28] **Miresmaeili, S., Shabestari, S., and Boutorabi, S.**, (2003). Effect of melt filtration on porosity formation in Sr-modified A356 aluminium alloy. *International Journal of Cast Metals Research*, **16**(6). 541-548.

[29] **Basavakumar, K., Mukunda, P., and Chakraborty, M.**, (2007). Influence of grain refinement and modification on dry sliding wear behaviour of Al–7Si and Al–7Si–2.5 Cu cast alloys. *Journal of Materials Processing Technology*, **186**(1-3). 236-245.

[30] **Chandrashekharaiah, T. and Kori, S.**, (2009). Effect of grain refinement and modification on the dry sliding wear behaviour of eutectic Al–Si alloys. *Tribology international*, **42**(1). 59-65.

[31] **Ersümer, A.,** (1960). *Alüminyum alaşımlarının ısıl ve mekanik işlemleri,* İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi

[32] **Köksal, F.,** (2004). *Al-Cu-SiC ve Al-Cu-B_4C Kompozitlerin sıcak presleme yöntemi ile üretimi ve aşınma özelliklerinin araştırılması (*Doktora Tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

[33] **Mampaey, F. and Xu, Z.**, (1999). Hoyt Memorial Lecture-Natural Convection in Cast Iron (99-59). *Transactions of the American Foundrymen's Society*, **107**. 529-536.

[34] **Mostafaei, M., Ghobadi, M., Eisaabadi, G., Uludağ, M., and Tiryakioğlu, M.**, (2016). Evaluation of the effects of rotary degassing process variables on the quality of A357 aluminum alloy castings. *Metallurgical and Materials Transactions B,* **47**(6). 3469-3475.

[35] **Froes, F., Suryanarayana, C., and Eliezer, D.**, (1992). Synthesis, properties and applications of titanium aluminides. *Journal of materials science,* **27**(19). 5113-5140.

[36] **Riedel, U. and Nickel, J.**, (2005). Applications of natural fiber composites for constructive parts in aerospace, automobiles, and other areas. *Biopolymers Online: Biology• Chemistry• Biotechnology• Applications*, **10**.

[37] **Şahin, Y.,** (2000). *Kompozit malzemelere giriş,* Ankara: Gazi Kitabevi

[38] **Rathee, S., Maheshwari, S., Siddiquee, A.N., and Srivastava, M.**, (2018). A review of recent progress in solid state fabrication of composites and functionally graded systems via friction stir processing. *Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences,* **43**(4). 334-366.

[39] **Suthar, J. and Patel, K.**, (2018). Processing issues, machining, and applications of aluminum metal matrix composites. *Materials and Manufacturing Processes,* **33**(5). 499-527.

[40] **Akbulut, H.,** (1994). *Alümina fiber takviyeli Al-Si metal matriksli kompozitlerin üretimi ve mikroyapı-özellik ilişkilerinin incelenmesi (*Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[41] **Çiftçi, İ.,** (2003). *Alüminyum esaslı kompozitlerde takviye oranı ve boyutunun mekanik özellikler ve işlenebilirlik üzerine etkisinin araştırılması (*Doktora Tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

[42] **Gül, F. and İnem, B.**, (1997). Döküm Yoluyla SiC Takviyeli MMK'ların Geliştirilmesi. *Savunma Sanayindeki Teknolojik Gelişmeler Sempozyumu, Ankara*. 999-1005.

[43] **Sahin, Y. and Sur, G.**, (2004). The effect of Al_2O_3, TiN and Ti (C, N) based CVD coatings on tool wear in machining metal matrix composites. *Surface and Coatings Technology,* **179**(2-3). 349-355.

[44] **Seo, Y.-H. and Kang, C.-G.**, (1995). The effect of applied pressure on particle-dispersion characteristics and mechanical properties in melt-stirring squeeze-cast SiCp/Al composites. *Journal of materials processing Technology,* **55**(3-4). 370-379.

[45] **Moustafa, S., Abdel-Hamid, Z., and Abd-Elhay, A.**, (2002). Copper matrix SiC and Al2O3 particulate composites by powder metallurgy technique. *Materials Letters,* **53**(4-5). 244-249.

[46] **Cöcen, Ü., Önel, K., and Özdemir, I.**, (1997). Microstructures and age hardenability of Al-5% Si-0.2% Mg based composites reinforced with particulate SiC. *Composites science and technology*, **57**(7). 801-808.

[47] **Sur, G.,** (2002). *Alüminyum Esaslı Metal Matriksli Kompozitlerin Üretimi, Mekanik Özellikleri ve İşlenebilirliği (*Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

[48] **Kannan, C. and Ramanujam, R.**, (2017). Comparative study on the mechanical and microstructural characterisation of AA 7075 nano and hybrid nanocomposites produced by stir and squeeze casting. *Journal of advanced research*, **8**(4). 309-319.

[49] **Doğanay, S. and Ulcay, Y.**, (2007). Farklı oranlarda takviye edilmiş cam lifi polyester kompozitlerin deniz suyu etkisi altında yorulma davranışının incelenmesi. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, **12**(2).

[50] **Özdemir, D., Mecit, H.D., Seventekin, N., and Öktem, T.**, (2006). Glass fibers. *Tekstil ve Konfeksiyon*, **16**(1). 281-287.

[51] **Url-6** <https://www.fibercamelyaf.com/>, Erişim Tarihi 15.09.2020.

[52] **Fu, S.-Y., Lauke, B., and Mai, Y.-W.,** (2019). *Science and Engineering of Short Fibre-reinforced Polymer Composites*, Cambridge: Woodhead Publishing

[53] **Rosato, D.V.**, (1997). Designing with reinforced composites: technology, performance, economics. *SPE books*.

[54] **Hyer, M. and White, S.,** (1998). *Stress analysis of fiberreinforced composite materials*, Pennsylvania: DEStech Publications, Inc.

[55] **Landry, K., Kalogeropoulou, S., and Eustathopoulos, N.**, (1998). Wettability of carbon by aluminum and aluminum alloys. *Materials Science and Engineering: A*, **254**(1-2). 99-111.

[56] **Ustinov, A., Falchenko, Y., Melnichenko, T., Shishkin, A., Kharchenko, G., and Petrushinets, L.**, (2013). Diffusion welding of aluminium alloy strengthened by Al_2O_3 particles through an Al/Cu multilayer foil. *Journal of Materials Processing Technology*, **213**(4). 543-552.

[57] **Alten, A., Erzi, E., Gürsoy, Ö., Ağaoğlu, G.H., Dispinar, D., and Orhan, G.**, (2019). Production and mechanical characterization of Ni-coated carbon fibers reinforced Al-6063 alloy matrix composites. *Journal of Alloys and Compounds*, **787**. 543-550.

[58] **Sha, W., Wu, X., and Keong, K.G.,** (2011). *Electroless copper and nickel-phosphorus plating: processing, characterisation and modelling*, Cambridge: Elsevier

[59] **Hashim, J., Looney, L., and Hashmi, M.**, (1999). Metal matrix composites: production by the stir casting method. *Journal of materials processing technology*, **92**. 1-7.

[60] **İnem, B.,** (1993). *The development of the structures and properties of magnesium matrix silicon carbide reinforced composites (*PhD Thesis). University of Leeds, School of Materials, Leeds, England.

[61] **Lee, H., Boey, F., Khor, K., Tan, M., Gan, J., and Loh, N.**, (1992). The production of aluminium alloy composites using a cold isostatic press and extrusion approach. *Journal of Materials Processing Technology*, **29**(1-3). 245-253.

[62] **Lin, J., Bhattacharyya, D., and Ferguson, W.**, (1998). Chip formation in the machining of SiC-particle-reinforced aluminium-matrix composites. *Composites Science and Technology*, **58**(2). 285-291.

[63] **Lin, J., Bhattacharyya, D., and Lane, C.**, (1995). Machinability of a silicon carbide reinforced aluminium metal matrix composite. *Wear*, **181**. 883-888.

[64] **Çağlar, B. and Kurnaz, C.**, (2003). Sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilen Ti-B ilaveli Za-12 alaşımının özelliklerinin incelenmesi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **7**(2). 210-218.

[65] **Manoharan, M. and Lewandowski, J.**, (1992). Effect of reinforcement size and matrix microstructure on the fracture properties of an aluminum metal matrix composite. *Materials Science and Engineering: A*, **150**(2). 179-186.

[66] **Gray Iii, G., Lowe, T., Cady, C., Valiev, R., and Aleksandrov, I.**, (1997). Influence of strain rate & temperature on the mechanical response of ultrafine-grained Cu, Ni, and Al-4Cu-0.5 Zr. *Nanostructured Materials*, **9**(1-8). 477-480.

[67] **Peng, H., Fan, Z., Mudher, D., and Evans, J.**, (2002). Microstructures and mechanical properties of engineered short fibre reinforced aluminium matrix composites. *Materials Science and Engineering: A*, **335**(1-2). 207-216.

[68] **Surappa, M.**, (2003). Aluminium matrix composites: Challenges and opportunities. *Sadhana*, **28**(1-2). 319-334.

[69] **Ramnath, B.V., Elanchezhian, C., Jaivignesh, M., Rajesh, S., Parswajinan, C., and Ghias, A.S.A.**, (2014). Evaluation of mechanical properties of aluminium alloy–alumina–boron carbide metal matrix composites. *Materials & Design*, **58**. 332-338.

[70] **Bedir, F.**, (2006). Alüminyum kompozitlerin üretimi, karakteristik özellikleri ve endüstriyel uygulamaları. *Mühendis ve Makine*, **47**(554). 28-35.

[71] **Etemadi, R., Pillai, K.M., Rohatgi, P.K., and Hamidi, S.A.**, (2015). On porosity formation in metal matrix composites made with dual-scale fiber reinforcements using pressure infiltration process. *Metallurgical and Materials Transactions A*, **46**(5). 2119-2133.

[72] **Altunpak, Y., Aslan, S., Güler, M., and Akbulut, H.**, (2016). Effect of Alternative Heat-Treatment Parameters on the Aging Behavior of Short-Fiber-Reinforced 2124 Al Composites. *Materiali in tehnologije*, **50**(6). 1011-1016.

[73] **Rohatgi, P., Asthana, R., and Das, S.**, (1986). Solidification, structures, and properties of cast metal-ceramic particle composites. *International metals reviews*, **31**(1). 115-139.

[74] **Das, T., Munroe, P., and Bandyopadhyay, S.**, (1996). The effect of Al_2O_3 particulates on the precipitation behaviour of 6061 aluminium-matrix composites. *Journal of materials science*, **31**(20). 5351-5361.

[75] **Salvador, M., Amigó, V., Martinez, N., and Busquets, D.**, (2003). Microstructure and mechanical behaviour of Al–Si–Mg alloys reinforced with Ti–Al intermetallics. *Journal of Materials Processing Technology*, **143**. 605-611.

[76] **Surappa, M. and Rohatgi, P.**, (1981). Preparation and properties of cast aluminium-ceramic particle composites. *Journal of materials science*, **16**(4). 983-993.

[77] **Kalemtaş, A.**, (2014). Metal matrisli kompozitlere genel bir bakış. *Putech&Composites*, **22**. 18-30.

[78] **Haghshenas, M.**, (2016). Metal–matrix composites. *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*. 03950-3.

[79] **Ünal, T.G. and Diler, E.A.**, (2018). Properties of $AlSi_9Cu_3$ metal matrix micro and nano composites produced via stir casting. *Open Chemistry*, **16**(1). 726-731.

[80] **Gibson, R.F.,** (2016). *Principles of composite material mechanics*, Florida: CRC press

[81] **Xu, C., Liu, G., Chen, H., Zhou, R., and Liu, Y.**, (2014). Fabrication of conductive copper-coated glass fibers through electroless plating process. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, **25**(6). 2611-2617.

[82] **Li, G.-j., Huang, X.-x., and Guo, J.-k.**, (2001). Fabrication of Ni-coated Al2O3 powders by the heterogeneous precipitation method. *Materials research bulletin*, **36**(7-8). 1307-1315.

[83] **Uludağ, M., Gemi, L., Yavaş, Z., Öztürk, Ü., Ülvan, N.S., and Dispinar, D.** 2014. The microstructural change of hypereutectic Al-Si alloy by addition of Sr and B. *IMMC'17 Uluslararası Metalurji ve Malzemem Kongresi*. İstanbul, Türkiye, 11-13 Eylül.

[84] **Uludağ, M.,** (2011). *Farklı şartlarda dökülmüş modifiyeli Al-12Si alaşımlarında yapı ve özellikler (*Yüksek Lisans Tezi). Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

[85] **Shalu, T., Abhilash, E., and Joseph, M.**, (2009). Development and characterization of liquid carbon fibre reinforced aluminium matrix composite. *Journal of Materials Processing Technology*, **209**(10). 4809-4813.

[86] **Ao, X.-h., Xing, S.-m., Yu, B.-s., and Han, Q.-y.**, (2018). Effect of Ce addition on microstructures and mechanical properties of A380 aluminum alloy prepared by squeeze-casting. *International Journal of Minerals, Metallurgy, and Materials*, **25**(5). 553-564.

[87] **Liang, Z., Ye, B., Zhang, L., Wang, Q., Yang, W., and Wang, Q.**, (2013). A new high-strength and corrosion-resistant Al–Si based casting alloy. *Materials Letters*, **97**. 104-107.

[88] **Meng, F., Lv, S., Yang, Q., Qin, P., Zhang, J., Guan, K., Huang, Y., Hort, N., Li, B., and Liu, X.**, (2019). Developing a die casting magnesium alloy with excellent mechanical performance by controlling intermetallic phase. *Journal of Alloys and Compounds*, **795**. 436-445.

[89] **Rejaeian, M., Karamouz, M., Emamy, M., and Hajizamani, M.**, (2015). Effects of Be additions on microstructure, hardness and tensile properties of A380 aluminum alloy. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, **25**(11). 3539-3545.

[90] **Szymczak, T., Gumienny, G., Klimek, L., Goły, M., and Pacyniak, T.**, (2020). Microstructural Characteristics of AlSi9Cu3 (Fe) Alloy with High Melting Point Elements. *Metals*, **10**(10). 1278.

[91] **Li, H., Li, H., and Deng, J.-F.**, (2001). The crystallization process of ultrafine Ni–B amorphous alloy. *Materials letters*, **50**(1). 41-46.

[92] **Kala, H., Mer, K., and Kumar, S.**, (2014). A review on mechanical and tribological behaviors of stir cast aluminum matrix composites. *Procedia Materials Science*, **6**. 1951-1960.

[93] **Lloyd, D.**, (1994). Particle reinforced aluminium and magnesium matrix composites. *International materials reviews*, **39**(1). 1-23.

[94] **Srivatsan, T.S., Ibrahim, I., Mohamed, F., and Lavernia, E.J.**, (1991). Processing techniques for particulate-reinforced metal aluminium matrix composites. *Journal of Materials Science*, **26**(22). 5965-5978.

[95] **Eliasson, J. and Sandström, R.** 1995. Applications of aluminium matrix composites. *Key engineering materials*. 12-15 Temmuz.

[96] **Huda, M., Hashmi, M., and El-Baradie, M.** 1995. MMCs: materials, manufacturing and mechanical properties. *Key Engineering Materials*. 12-15 Temmuz.

[97] **Lee, S., Kim, T.H., and Kwon, D.**, (1994). Microstructural analysis of fracture toughness variation in 2XXX-series aluminum alloy composites reinforced with SiC whiskers. *Metallurgical and Materials Transactions A*, **25**(10). 2213-2223.

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad **: Ahmet YILMAZ**

Doğum Tarihi ve Yeri **: 25.07.1978 / BURSA**

E-posta **:** ahmety16@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** **:** 2002, Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Miamrlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü
- **Yüksek Lisans (Devam ediyor) :** 2021, Bursa Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İleri Teknolojiler Anabilim Dalı, Malzeme Bilimi

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- Angst+Pfister Teknik Çözümler A.Ş., Satınalma Yöneticisi
- Döktaş Dökümcülük A.Ş., Tedarikçi Kalite Mühendisi

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- Uludağ Muhammet, **Yılmaz Ahmet**, Kocabaş Mustafa, "Akımsız Bakır Kaplı Cam Elyaf Takviyesi ile Alüminyum Matriksli Kompozit Üretimi Üzerine Deneysel Bir Çalışma", IMSMATEC 2019, Nevşehir.