

**SiC_p TAKVİYELİ ETİAL 171 (AlSi10Mg) ALÜMİNYUM ALAŞIM
MATRİSLİ KOMPOZİTTEN BASINÇLI PRES DÖKÜM YÖNTEMİYLE
PARÇA ÜRETİMİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Harun BAYAR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ARALIK 2009

ANKARA

Harun BAYAR tarafından hazırlanan SiC_p TAKVİYELİ ETİAL 171 (AlSi10Mg) ALÜMİNYUM ALAŞIM MATRİSLİ KOMPOZİTTEN BASINÇLI PRES DÖKÜM YÖNTEMİYLE PARÇA ÜRETİMİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Çetin KARATAŞ
Tez Danışmanı Makine Eğitimi Anabilim Dalı

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

Prof. Dr. Mehmet TÜRKER
Metal Eğitimi, Gazi Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Çetin KARATAŞ
Makine Eğitimi, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Ahmet ÖZDEMİR
Makine Eğitimi, Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. İbrahim USLAN
Makine Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Hakan DİLİPAK
Makine Eğitimi, Gazi Üniversitesi

Tarih: 31/12/2009

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

Prof. Dr. Bilal TOKLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

Harun BAYAR

**SiC_p TAKVİYELİ ETİAL 171 (AlSi10Mg) ALÜMİNYUM ALAŞIM
MATRİSLİ KOMPOZİTTEN BASINÇLI PRES DÖKÜM YÖNTEMİYLE
PARÇA ÜRETİMİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Harun BAYAR

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Aralık 2009**

ÖZET

Bu çalışmada, SiC parçacık takviyeli alüminyum esaslı kompozit malzeme Vorteks metodu ile üretilmiş ve aynı anda metal enjeksiyon makinesinde basınç altında kalıplanmıştır. Takviye malzemesi olarak 64 µm boyutunda SiC parçacıkları hacimce %10 oranında ilave edilmiştir. Metal matris malzemesi metal enjeksiyon dökümüne uygun olan Etial 171 alüminyum alaşımı seçilmiştir. (Çekme ve Charpy darbe deneyi numuneleri beş farklı basınç altında; takviyesiz alaşım ve kompozit malzemeden beşer adet olmak üzere toplam on farklı parametrede üretilmiştir.) Metal enjeksiyon makinesi basınç değerleri 50, 100, 150, 200, 250 kg/cm²; enjeksiyon basıncı değerleri 313, 625, 938, 1250, 1563 kg/cm² uygulanmıştır. Döküm sıcaklığı 670-680 °C arasında gerçekleşmiştir. Çekme ve Charpy çentik deney numunelerinin dökümü için metal enjeksiyon kalıbı üretilmiştir. Numuneler üzerinde çekme deneyi, Charpy çentik darbe deneyi, sertlik ölçümü, optik mikroskopta mikroyapı incelemesi, gözenek ölçümleri yapılmıştır. SiC parçacık ilavesi ile kompozit numunelerin sertliği artmıştır. Kompozit numunelerin ortalama sertlik değeri 96 BHN, takviyesiz numunelerin ortalama sertlik değeri 86 BHN ölçülmüştür. Darbe deneylerinde alaşıma SiC parçacık ilavesi kompozit numunelerin darbe tokluğunu düşürmüştür. Kompozit numunelerin ortalama darbe tokluğu 3,51 J, takviyesiz alaşım numunelerinin 3,87 J ölçülmüştür. Kompozit numunelerin;

çekme mukavemeti ortalama 233 MPa, akma mukavemeti ortalama 153 MPa, takviyesiz numunelerin; çekme mukavemeti ortalama 279 MPa, akma mukavemeti ortalama 186 MPa ölçülmüştür. Ayrıca enjeksiyon basıncının artmasıyla gözenek miktarının % 0,2'ye kadar düştüğü gözlenmiştir.

Bilim kodu : 708.3.028

Anahtar kelimeler : SiC_p, metal matrisli kompozit, Vorteks yöntemi, parçacık, basınçlı pres döküm, Al alaşımı

Sayfa adedi : 105

Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Çetin KARATAŞ

**PRODUCTION OF ETİAL 171 (AlSi10Mg) ALUMINIUM ALLOY BASED
SiC_p REINFORCED METAL MATRIX COMPOSITE PIECE BY DIE
CASTING METHOD AND INVESTIGATION OF MECHANICAL
PROPERTIES
(M.Sc. Thesis)**

Harun BAYAR

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
December 2009**

ABSTRACT

In this study, aluminum based SiC_p reinforced metal matrix composite materials had been produced by vortex method and at the same time these materials were moulded under high pressure by die casting machine. The aluminium material was reinforced with 10 vol. % of SiC particles with an average size of 64µm. Etial 171 which is suitable for die casting, was chosen as a metal matrix. By this method; samples were produced at ten different parameters under five different pressures; five samples were produced as Al-alloy, other five samples were produced as metal matrix composites. Die casting machine pressure and inside pressure of mould values were 50, 100, 150, 200, 250 kg/cm²; 313, 625, 938, 1250, 1563 kg/cm². The casting temperatures were between 670 and 680 °C. Die casting mould was produced to be casted Charpy and tensile samples. Tensile strength test, Charpy impact test, hardness test, investigation of microstructure by optical microscope and porosity test were performed on those samples. Composite samples' hardness were increased after adding SiC particles. It was observed that; composite samples' hardness average value is 96 BHN, unreinforced alloy samples' hardness average value is 86 BHN. It was observed that; composite samples' tensile and yield strengths average values are 233 MPa and 153 MPa, unreinforced alloy samples' tensile and yield strengths

average values are 279 MPa and 186 MPa. It was observed that increasing the pressure of injection causes decreasing porosity value is % 0,2.

Science code : 708.3.028

Key Words : SiC_p, metal matrix composite, Vortex method, particle, die casting, Al-alloy

Page number : 105

Adviser : Assist. Prof. Dr. Çetin KARATAŞ

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın her aşamasında benden bilgi ve deneyimlerini esirgemeyerek yol gösteren danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Çetin KARATAŞ'a teşekkür ederim. Laboratuvar çalışmalarında bana yardımcı olan Arş. Gör. Volkan KILIÇLI'ya, araştırmalarımnda bana yardım eden meslektaşım Tolga GÜNALTAY'a, metal enjeksiyon kalıbı yapımında destek olan sevgili meslektaşım Emrah DÜLEK'e ve EVE Makine San. firmasına, tezin hazırlık aşamasında manevi desteğini benden esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xiii
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xviii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR	3
2.1. Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Mekanik Özellikleri.....	6
2.1.1. Çekme mukavemeti.....	6
2.1.2. Tokluk.....	8
3. BASINÇLI PRES DÖKÜM.....	11
3.1. Giriş.....	11
3.2. Basınçlı Döküm Makineleri.....	11
3.2.1. Sıcak kamaralı makineler.....	12
3.2.2. Soğuk kamaralı makineler.....	13
3.3. Basınçlı Döküm Kalıpları.....	16
3.3.1. Kalıp çeşitleri.....	17
3.3.2. Basınçlı döküm kalıp parçaları.....	20
3.3.3. Basınçlı döküm kalıplarında sistemler.....	23

Sayfa

3.3.4. Taşma boşluğu.....	29
3.3.5. Kalıp konstrüksiyonunda dikkat edilecek hususlar.....	30
3.4. Alüminyum Esaslı Alaşımlar.....	31
4. KOMPOZİT MALZEMELER.....	37
4.1. Kompozit Malzemelerin Tanımı.....	37
4.2. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları.....	38
4.3. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	42
4.3.1. Takviye malzemesine göre sınıflandırma.....	42
4.3.2. Matris malzemesine göre sınıflandırma.....	46
4.4. Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri.....	50
4.4.1. Sıvı hal üretim yöntemleri	50
4.4.2. Katı hal üretim yöntemleri.....	57
4.5. Metal Matrisli Kompozit Malzemelerde Islatma.....	58
5. MATERYAL METOT.....	61
5.1. Malzeme.....	61
5.2. Kompozit Malzeme Üretimi.....	62
5.3. Basınçlı Pres Döküm Makinası ve Metal Enjeksiyon Kalıbı.....	65
5.4. Numunelerin Üretimi.....	67
5.5. Mekanik Testler.....	72
5.5.1. Çekme deneyi.....	72
5.5.2. Charpy çentik darbe deneyleri.....	72
5.5.3. Sertlik ölçümleri.....	73
5.6. Mikro Yapı İncelemeleri.....	74

Sayfa

6. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	75
6.1. Çekme Deneyi Sonuçları.....	75
6.2. Charpy Çentik Darbe Deneyi Sonuçları.....	81
6.3. Mikroyapı İncelemesi.....	84
6.4. Sertlik Deneyi Sonuçları.....	94
6.5. Gözenek Ölçüm Sonuçları.....	98
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	100
KAYNAKLAR.....	102
ÖZGEÇMİŞ.....	105

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Al esaslı bazı kompozit malzemelerin mekanik özellikleri.....	6
Çizelge 2.2. Takviyesiz alaşımlarla bazı MMK lerin tokluklarının karşılaştırılması.....	9
Çizelge 2.3. Al 2124 takviyesiz alaşımı ve kompozitlerinin sıcaklığa bağlı çentik darbe deneyi sonuçları.....	10
Çizelge 3.1. Alüminyum alaşımlarının kimyasal kompozisyonu.....	36
Çizelge 3.2. Alüminyum alaşımlarının tipik özellikleri.....	36
Çizelge 4.1. MMK malzemelerde matris malzemesi olarak en çok kullanılan bazı metal ve alaşımların mekanik özellikleri.....	48
Çizelge 5.1. Etial 171 alaşımın kimyasal kompozisyonu.....	61
Çizelge 5.2. Etial 171 alaşımın tipik özellikleri.....	61
Çizelge 5.3. SiC parçacık takviye malzemesinin özellikleri.....	62
Çizelge 5.4. Basınçlı döküm numuneleri.....	71
Çizelge 6.1. Çekme deneyi değerleri.....	75
Çizelge 6.2. Charpy darbe deneyi değerleri.....	81
Çizelge 6.3. Brinell sertlik ölçüm deneyi sonuçları.....	95
Çizelge 6.4. Arşimed prensibine göre gözenek ölçüm değerleri.....	98

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. AA2080/SiCp-T8 kompozitin çekme mukavemetinin hacim oranına göre değişimi.....	7
Şekil 2.2. AA2080/SiCp-T8 kompozitin çekme mukavemetinin parçacık boyutuna göre değişimi.....	8
Şekil 3.1. Pistonlu sıcak kamaralı makine.....	13
Şekil 3.2. Soğuk kamara tipi makinede döküm sırası.....	14
Şekil 3.3. Yatay soğuk kamara tipi basınçlı döküm makinesi.....	15
Şekil 3.4. Tek gözlü basınçlı döküm kalıbı.....	17
Şekil 3.5. Çok gözlü basınçlı döküm kalıbı	18
Şekil 3.6. Kombinasyon kalıpları.....	19
Şekil 3.7. Ünite kalıpları.....	20
Şekil 3.8. Hareketli maça yerleşimi.....	22
Şekil 3.9. İtici pimlerin örnek konumları.....	24
Şekil 3.10. Çok gözlü kalıplarda yolluk sistemleri.....	24
Şekil 3.11. Çok gözlü kalıplarda yolluk sistemleri.....	24
Şekil 3.12. Kombinasyon kalıplarında yolluk sistemleri.....	25
Şekil 3.13. Yolluk kanal tipleri A elverişli B elverişsiz.....	26
Şekil 3.14. Çeşitli yolluk kanal tipleri.....	26
Şekil 3.15. Basınçlı döküm kalıbına soğutma kanallarının yerleştirilmesi.....	28
Şekil 3.16. Havalandırma boşluğu ve hava tahliye kanalı tasarımı.....	30
Şekil 3.17. Al-Si faz diyagramı	34
Şekil 4.1. Mirage savaş uçağı.....	38

Şekil	Sayfa
Şekil 4.2 Otomobilde kullanılan kompozit parçalar	
(a) otomobilin dış aksamalarında kullanılan kompozit parçalar.....	39
(b) otomobilin iç kısımlarında kullanılan kompozit parçalar	
Şekil 4.3. Kompozit yaprak yay.....	40
Şekil 4.4. Otomobil motorunda kullanılan kompozit parçalar.....	41
Şekil 4.5. Kompozit şaft ve çelik şaft	41
Şekil 4.6. Kompozitlerin takviye malzemesine göre sınıflandırılması	
(a) Fiber, (b) Kısa lif (whiskers), (c) Parçacık.....	43
Şekil 4.7. Parçacık takviyeli metal matrisli kompozitin şematik yapısı.....	44
Şekil 4.8. Sıkıştırma (Squeeze) döküm yöntemi.....	51
Şekil 4.9. Kompo döküm düzeneği.....	52
Şekil 4.10. Basınçlı infiltrasyon yöntemi.....	53
Şekil 4.11. Basınçsız infiltrasyon yöntemi.....	54
Şekil 4.12. Tipik bir Vorteks üretim tekniğinin temel aşamaları.....	54
Şekil 4.13. Vakum infiltrasyon düzeneği.....	56
Şekil 4.14. Plazma püskürtme yönteminin şematik gösterimi.....	57
Şekil 4.15. Toz metalurjisi yöntemi ile kompozit üretim aşamaları.....	58
Şekil 4.16. Islatma olayının şematik gösterimi.....	58
Şekil 5.1. Vorteks döküm yönteminin şematik gösterimi.....	64
Şekil 6.1. Alaşım ve kompozit numunelerin akma dayanımlarının basınca bağlı değişimi.....	77
Şekil 6.2. Alaşım ve kompozit numunelerin çekme dayanımlarının basınca bağlı değişimi.....	77
Şekil 6.3. Alaşım ve kompozit numunelerin darbe enerjilerinin basınca bağlı değişimi.....	82
Şekil 6.4. Charpy darbe deneyi alaşım numunelerinin bölgesel sertlik değişimi.....	96

Şekil	Sayfa
Şekil 6.5. Charpy darbe deneyi kompozit numunelerinin bölgesel sertlik değişimi.....	96
Şekil 6.6. Kompozit numune ile alaşım numunesi ortalama sertlik değerleri	97
Şekil 6.7. Alaşım ve kompozit numunelerin gözeneklerinin basınca bağlı değişimi.....	99

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 5.1. Vorteks düzeneği ve alüminyum ergitme ocağı	64
Resim 5.2. Metal enjeksiyon kalıbı hareketli taraf katı modeli.....	66
Resim 5.3. Metal enjeksiyon kalıbı katı modeli.....	67
Resim 5.4. Yatay soğuk kamaralı 160 tonluk metal enjeksiyon makinesi.....	68
Resim 5.5. Metal enjeksiyon kalıbı hareketli taraf	69
Resim 5.6. Metal enjeksiyon kalıbı sabit taraf	69
Resim 5.7. Yolluklu ve taşama kanallı parçaların katı modeli.....	70
Resim 5.8. Çekme deneyi numuneleri.....	72
Resim 5.9. V çentikli numune.....	73
Resim 6.1. Ara yüzeyde oluşan mikro gözenekler	76
Resim 6.2. K2 kompozitindeki parçacık kümesi	78
Resim 6.3. K1 kompozitinin mikro yapısı.....	78
Resim 6.4. K3 kompozitinin mikro yapısı.....	78
Resim 6.5. Çekme deneyi yapılmış kompozit numuneler a) K1, b) K2, c) K3, d) K4, e) K5	79
Resim 6.6. Charpy çentik darbe testi sonrası kırık yüzeye ait SEM görüntüsü.....	83
Resim 6.7. Charpy çentik darbe testi sonrası diğer bir kırık yüzeye ait SEM görüntüsü.....	83
Resim 6.8. Charpy darbe deneyi numunesi.....	84
Resim 6.9. A1 ve A2 Charpy darbe deneyi numunelerinin mikroyapısı (a) A1'in hava tahliye kısmı, (b) A1'in orta kısmı, (c) A1'in giriş kısmı, (c) A2'nin hava tahliye kısmı, (e) A2'nin orta kısmı, (f) A2'nin giriş kısmı.....	85

Resim**Sayfa**

Resim 6.10. A3 ve A4 Charpy darbe deneyi numunelerinin mikroyapısı (a) A3'ün hava tahliye kısmı, (b) A3'ün orta kısmı, (c) A3'ün giriş kısmı, (d) A4'ün hava tahliye kısmı, (e) A4'ün orta kısmı, (f) A4'ün giriş kısmı.....	86
Resim 6.11. A5 Charpy darbe deneyi numunesinin mikroyapısı (a) A5'in tahliye kısmı, (b) A5'in orta kısmı, (c) A5'in giriş kısmı.....	87
Resim 6.12. K1 ve K2 Charpy darbe deneyi numunelerinin mikroyapısı (a) K1'in hava tahliye kısmı, (b) K1'in orta kısmı, (c) K1'in giriş kısmı, (d) K2'nin hava tahliye kısmı, (e) K2'nin orta kısmı, (f) K2'nin giriş kısmı.....	88
Resim 6.13. K3 ve K4 Charpy darbe deneyi numunelerinin mikroyapısı (a) K3'ün hava tahliye kısmı, (b) K3'ün orta kısmı, (c) K3'ün giriş kısmı, (d) K4'ün hava tahliye kısmı, (e) K4'ün orta kısmı, (f) K4'ün giriş kısmı.....	89
Resim 6.14. K5 Charpy darbe deneyi numunesinin mikroyapısı (a) K5'in hava tahliye kısmı, (b) K5'in orta kısmı, (c) K5'in giriş kısmı.....	90
Resim 6.15. Çekme numunesi.....	91
Resim 6.16. K1 ve K2 Çekme numunelerinin mikroyapısı (a) K1'in hava tahliye kısmı, (b) K1'in orta kısmı, (c) K1'in giriş kısmı, (d) K2'nin hava tahliye kısmı, (e) K2'nin orta kısmı, (f) K2'nin giriş kısmı.....	92
Resim 6.17. K3 ve K4 Çekme numunelerinin mikroyapısı (a) K3'ün hava tahliye kısmı, (b) K3'ün orta kısmı, (c) K3'ün giriş kısmı, (d) K4'ün hava tahliye kısmı, (e) K4'ün orta kısmı, (f) K4'ün giriş kısmı.....	93
Resim 6.18. K5 çekme numunesinin mikroyapısı (a) K5'in hava tahliye kısmı, (b) K5'in orta kısmı, (c) K5'in giriş kısmı.....	94
Resim 6.19. Sertlik ölçülen bölgeler.....	95

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
σ_{KS}	Katı-sıvı arayüzey enerjisi
σ_{KB}	Katı-buhar arayüzey enerjisi
σ_{SB}	Sıvı-buhar arayüzey enerjisi
θ	Temas açısı, °
Kısaltmalar	Açıklama
K_{IC}	Kırılma tokluğu
MMK	Metal matrisli kompozit
SiCp	Silisyum karbür parçacığı
SiCw	Silisyum karbür kısa lifleri
T1	Direkt şekil verilmiş ve doğal yaşlanmış
T6	Çözeltiliye alınıp, suni yaşlandırılmış
T8	Çözeltiliye alınıp, soğuk deforme edilmiş ve suni yaşlandırılmış

1. GİRİŞ

Teknolojinin ilerlemesiyle malzeme bilimi de hızla gelişmektedir. Değişmeye ve geliştirilmeye en uygun malzemeler de kompozit malzemelerdir. Her geçen gün teknolojinin ihtiyaç duyduğu kompozit malzemelerin özellikleri de bilimsel araştırmalarla iyileştirilmektedir. Bu araştırmaların sonuçlar vermesi kompozit malzemelere olan ilgiyi daha da arttırmaktadır. Bu nedenle birçok kompozit malzeme havacılık, uzay teknolojisi, otomotiv endüstrisi gibi alanlarda kullanılmaktadır.

Kompozit malzemeler matris malzemesine göre üç sınıfa ayrılmaktadır. Polimer esaslı, seramik esaslı, metal esaslı kompozitler. Polimer esaslı kompozitlerin düşük sıcaklıklarda çalışabilmeleri, seramik esaslı kompozitlerin de kırılgan yapıda olmaları kullanım alanlarını çok daraltmıştır. Ancak metal matrisli kompozitler yüksek elastik modül, mukavemet, yüksek sıcaklıkta çalışabilme, yüksek tokluk gibi üstün özelliklere sahiptir. Kullanım alanları diğer kompozitlere göre daha geniştir.

Kompozit malzemelerde matris malzemesi kadar takviye elemanları da önemlidir. Takviye malzemeleri kısa lifler, süreksiz fiberler ve parçacıklardır.

Parçacık takviye elemanları, fiberlere göre üretim kolaylığı ve maliyet açısından avantajlı olduğu için tercih edilir. En çok kullanılan parçacık takviye elemanı Al_2O_3 ve SiC'dür. Bu elemanlar kullanılarak malzemenin mekanik, iletkenlik ve ısıl özellikleri iyileştirilir.

Basınçlı pres döküm sanayide yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. İlk kullanılmaya başlanması 1900'lü yılların başıdır. Basınçlı pres döküm makineleri üretim hızı açısından oldukça yavaş, işçilik açısından fazla emek gerektiren makinelerdi. Ancak, zamanla makineler otomatikleşerek üretim hızları yükselmiş kullanım alanları genişlemiştir. Bunun sebebi yöntemin birçok avantajının olmasıdır. Özellikle karmaşık şekilli parçaların üretimi, dökülen alaşımın mekanik özelliklerinde görülen iyileşmeler, üretilen parçalardaki boyutsal kararlılık ve en önemlisi de üretim hızının yüksek olması başlıca avantajlar arasında sayılabilir.

Basınçlı pres döküm otomotiv endüstrisi, uzay endüstrisi, beyaz eşya, bisiklet parçaları, elektrikli aletler gibi bir çok alanda kullanılmaktadır.

Bu çalışmada 64 µm büyüklüğünde hacimce %10 oranında SiC parçacık takviyeli Etial 171 (AlSi10Mg) alüminyum alaşım matrisli kompozit malzeme Vorteks yöntemi ile üretilmiştir. Çekme numuneleri TS 138 EN 10002, Charpy darbe deneyi numuneleri ASTM E 23 standardı ölçülerine uygun hazırlanmıştır. Döküm işlemi için metal enjeksiyon kalıbı tasarlanmış ve yapılmıştır. Numunelerin üretimleri basınçlı pres döküm makinesinde kalıplanarak gerçekleştirilmiştir. Farklı enjeksiyon basınçlarında numuneler hazırlanmış, kompozit ve takviyesiz alaşım numunelerinin mikroyapısı ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Kompozit ve takviyesiz alaşım numunelerinin özellikle enjeksiyon basıncına bağlı mekanik özelliklerinin değişimi ve mikroyapıda takviye elemanlarının dağılımı gözlenmiştir.

2. LİTERATÜR

Literatürde, alüminyum alaşım matrisli kompozit malzemelerle ilgili yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır. Kompozit malzemenin üretim yönteminden, bileşimindeki takviye elemanlarına ve matris malzemelerine kadar birçok parametre değiştirilerek, deneyler yapılmış ve çeşitli sonuçlar bulunmuştur.

Bu konu üzerindeki çalışmaların fazla olmasının nedeni, alüminyum matrisli kompozitlerin üretiminde, çoğunlukla değişik döküm yöntemlerinin kullanılabilmesidir. Bu döküm yöntemleri parçacık ve kısa lif (whiskers) takviyeli metal matrisli kompozitlerde, maliyet düşüşü ve işleme kolaylığı sağlamaktadır.

Acun (2007), yarı katı yarı sıvı fazda karıştırmalı döküm yöntemiyle Al-Si-Mg alaşımlı alüminyuma hacimce %10 oranında SiC parçacık takviye ederek üretmiş, bunları çeşitli imalat yöntemleriyle işlenerek uygun formda numuneler haline getirmiştir. Çalışmada, yaşlandırma işlemi öncesi ve sonrası sertlik değerleri ölçülmüş, çekme deneyleri ile yaşlandırma sonrası mekanik özelliklerdeki değişimi incelenmiştir. Gözeneğin kompozit malzemelerin mekanik özelliklere etkisinin önemi vurgulanmıştır, gözeneği azaltmak için numunelerin ekstrüzyon veya sıkıştırılmalı döküm yöntemi ile üretilmesi tavsiye edilmiştir [1].

Özdin (2006), basınçlı vorteks metodu ile farklı boyut ve hacim oranlarında SiC parçacıkları ile takviye edilmiş Al esaslı (Al-2011) metal matrisli kompozitler üretmiş ve aşınma özelliklerini araştırmıştır. Yoğunluk ölçümleri, gözeneğin çok düşük olduğunu; parçacık oranının artması ve boyutunun düşmesi ile gözenek oranının arttığını gözlemlemiştir. Kompozit malzeme de ki parçacık miktarı arttıkça aşınma direncinin arttığını gözlemlemiştir [2].

Tekmen (2006), sıkıştırılmalı döküm yöntemi ile Al-%7Si-%0,7Mg alaşım matrisli ve hacimce %20 oranında SiC parçacık takviyeli metal matrisli kompozit üretmiştir. SiC parçacıkları oksidasyon, sol-jel ve akımsız nikel yöntemleri ile sırasıyla SiO₂, TiO₂ ve Ni ile kaplanarak ıslanabilirlik özellikleri araştırılmıştır. Üretilen kompozitin

mikro yapı, arayüzey ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Üretilen kompozitin çekme mukavemeti, akma mukavemeti ve uzama değerleri sırasıyla 161 MPa, 133 MPa ve %2,34 olarak bulunmuştur [3].

Kılıç (2007), SiC parçacık takviyeli alüminyum alaşımlı metal matrisli kompozitleri toz metalurjisi yöntemiyle üretmiştir. Üretilen kompozitlerde SiC takviye elemanı oranları ağırlıkça %5, %10 ve %15 olarak seçilmiştir. Toz karışımlar 800 MPa’da tek yönlü bir kalıpta preslenerek blok numuneler üretilmiştir. Üretilen kompozitte sertliğin ve yoğunluğun parçacık içeriğine bağlı olarak arttığı görülmüş ve kompozit malzeme içerisindeki seramiğin tane boyutu küçüldükçe aşınma miktarının arttığı kompozit malzeme içerisindeki seramiğin oranı arttıkça aşınma miktarının azaldığı gözlemlenmiştir [4].

Ekici (2004), çalışmasında SiC parçacık takviyeli alüminyum alaşım matrisli kompozit malzemeyi iki aşamada üretmiştir. Birinci aşamada kompozit vorteks döküm yöntemiyle bilet şeklinde dökülmüş, daha sonra bu biletler sıcak ekstrüze edilmiştir. Takviye malzemesi olarak 167 μm ve 511 μm boyutunda SiC parçacık, matris malzemesi ise 5083, 6063, 2124 alüminyum alaşımları kullanmıştır. Bütün kompozitlerde takviye oranı hacimce %10, ekstrüzyon oranı 19,63’tür. Numuneler çeşitli sıcaklıklarda darbe testlerine tabi tutulmuştur. SiC takviye oranı arttıkça kompozitin gevrekleştiği ve darbe tokluğunun azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca parçacık boyutu arttıkça darbe tokluğunun arttığı tespit edilmiştir [5].

Kaynak ve Boylu (2006), çalışmasında %12 Si ihtiva eden alüminyum alaşımı ile SiCp/Al kompozitinden hazırlanan numunelerin yorulma davranışını karşılaştırmışlardır. Üç farklı oranda (hacimce %5, %10, %15) SiC parçacıkları (40-60 μm) alüminyum alaşım eriyiğine enjekte edilmiştir. Test numuneleri sıkıştırılmış dökümden işlenerek üretilmiştir. Sertlik, eğme ve yorulma testleri SiC parçacıklarının alüminyum alaşım sertliğini, eğilme gerilmesini ve yorulma direncini arttırmıştır. 10^7 çevrimden daha az uygulamada kırılma gerçekleşmiştir. Kırılma başlangıcı parçacık-matris arayüzeyi ve/veya iri parçacıkların çatlağı olmuştur. SiC

parçacıkları temel olarak yorulma direncini arttırmıştır, kırılma yüzeylerinde engeller oluşturmuş ve kırılmaların yayılmasını engellemiş veya yönünü değiştirmiştir [6].

Shan ve Hashemi (1999), çalışmasında Al/SiCp kompozitinin (6061-T1) yorulma ömrü akustik emisyon yöntemi ile tahmin edilmeye çalışılmıştır. Geniş çevrimli gerilmelerde yorulma ömürleri % 80, 60, 40 karşılaştırılmıştır. Yorulma hasarlı veya hasarsız numuneler gerilme testine tabi tutulmuştur. Akustik emisyon aktiviteleri gerilme testi boyunca görüntülenmiştir [7].

Lu ve ark. (1999), çalışmalarında toz metalurjisi yöntemi ile üretilmiş hacimce %15 SiC parçacık takviyeli Al-5Cu alaşım matrisli kompozitin mekanik davranışı üniversal test makinesinde incelenmiştir. En yüksek çekme ve akma gerilme değerleri 450 MPa'lık sıkıştırma basıncında elde edilmiştir [8].

Bekheet ve ark. (2002), çalışmasında SiC parçacık takviyeli 2024 alaşım malzemesini incelenmiştir. MMK malzeme sıkıştırılmalı döküm metoduyla üretilmiştir. SiC parçacıkları matrisin her tarafına homojen bir şekilde dağılması sağlanmıştır. Takviye elemanı miktarının mikro yapıya, sertliğe, yorulma gerilmesine etkileri tartışılmıştır. Ayrıca yaşlandırma sertleşmesinin de etkileri göz önünde bulundurulmuştur. Sonuçlar kompozitin sertliğinin alaşımın sertliğinden daha fazla olduğunu göstermiştir. Yorulma testleri 170 °C'de yapılan suni yaşlandırma ve SiC parçacıkların yorulma gerilmesi limitlerini geliştirdiğini göstermiştir. Bu limitlerin, alüminyum alaşımıyla kompozit karşılaştırıldığında % 100 arttığı görülmüştür [9].

Dong ve ark. (2002), çalışmasında sıkıştırılmalı döküm metoduyla üretilen SiCw/Al-Li-Cu-Mg-Zr kompozitinin oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıkta yaşlandırma işlemi, sertliği ve mikro yapısı TEM aracılığıyla incelenmiştir. Alüminyum alaşım ile yaşlandırma sertleştirme yapılmış kompozit karşılaştırılmıştır. Kompozitin 130 °C, 160 °C, 180°C, 220°C deki çökme sertleşmesi incelenmiştir. Bu sertleştirme dereceleri arasında uygun sıcaklık aralığı 160 ile 190 °C arası olduğunu tespit etmiştir. SiCw takviye elemanlarının yaşlandırma sürecini hızlandırdığı ve sertliği arttırdığı sonucuna varmıştır [10].

2.1. Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Mekanik Özellikleri

Parçacık takviyeli metal matrisli kompozitlerin elastik modül, çekme mukavemeti, yorulma davranışı ve tokluk gibi mekanik özellikleri hakkında yapılan literatür araştırmasından yararlanılarak oluşturulan bilgiler aşağıda açıklanmıştır. Ayrıca Çizelge 2.1’de bazı kompozit malzemelerin mekanik özellikleri verilmiştir.

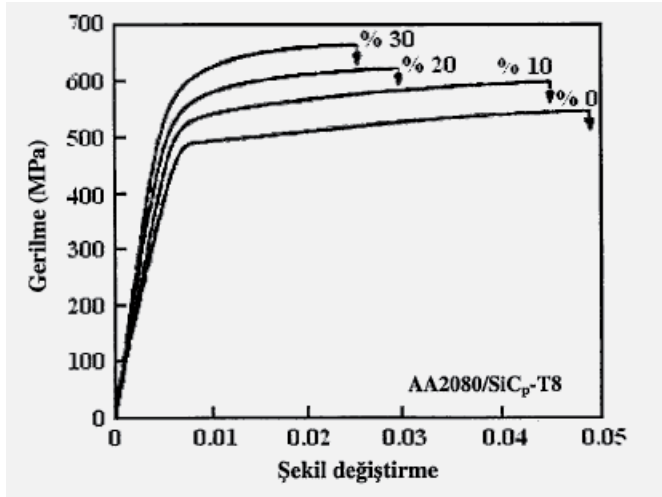
Çizelge 2.1. Al esaslı bazı kompozit malzemelerin mekanik özellikleri [5]

Matris	Takviye elemanı ve Hacimce oranı(%)	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama e (%)
Al	-	64	90	21
Al	SiC, 20	117	200	10
2014-T6	-	429	476	7,5
2014-T6	SiC, 10	457	508	1,8
2014-T6	Al ₂ O ₃ , 20	495	515	1,2
6061-T6	-	275	290	18
6061-T6	SiC, 15	290	340	5,5
6061-T6	SiC, 20	345	410	4,9
6061-T6	SiC, 30	380	435	1,8
6061-T6	Al ₂ O ₃ , 20	307	349	5,3
7091-T6	-	520	590	10,2
7091-T6	SiC, 20	500	560	1,8

2.1.1. Çekme mukavemeti

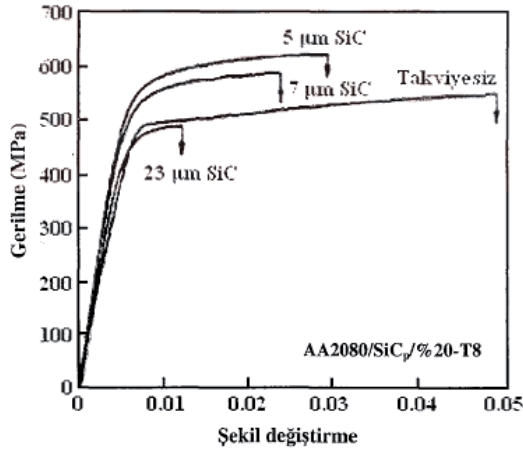
Metal matrisli kompozitlerin çekme dayanımı üzerine yapılan çalışmalarda parçacık büyüklüğüne ve oranına bağlı olarak akma ve çekme mukavemetinde % 60’a varan artış elde edilmiştir.

Parçacık takviyeli metal matrisli kompozit malzemelerin mukavemeti üzerinde rol oynayan en önemli faktörlerden birisi parçacık hacim oranıdır. Chawla ve Shen, 5 μm lik sabit bir parçacık boyutunda AA2080/SiCp-T8 kompozitin çekme mukavemetine parçacık hacim oranının etkisini incelemişlerdir. Hacim oranının artırılması ile birlikte maksimum akma ve çekme mukavemetlerinde artış elde etmişler ve sünekliğinde azalma gözlemlemişlerdir. Şekil 2.1’de sabit 5 μm ’lik parçacık boyutuna sahip AA2080/SiCp-T8 kompozitin çekme mukavemetinin hacim oranına göre değişimini göstermektedir [5].



Şekil 2.1. AA2080/SiCp-T8 kompozitin çekme mukavemetinin hacim oranına göre değişimi [5]

Parçacık boyutunun, MMK malzemelerin çekme özellikleri üzerine etkisini inceleyen Manoharan ve Lewandowski, parçacık boyutu düşürüldükçe kompozitin sünekliğinin ve deformasyon sertleşmesi oranının arttığını belirtmişlerdir. Chawla ve Shen, AA2080/SiCp-T8 kompozitin parçacık boyutundaki düşüşle birlikte sünekliğinde bir artış olduğuna işaret etmiştir. Chawla ve Shen, matris içerisinde 20 μm den daha büyük boyutlardaki parçacıklarda ekstrüzyon işlemi sırasında kırılmalar meydana geldiğini ve bu kırık parçacıklarla kompozit mukavemetinin azaldığını belirtmişlerdir. Şekil 2.2’de sabit %20’lik hacim oranına sahip AA2080/SiCp-T8 kompozitin çekme mukavemetinin parçacık boyutuna göre değişimi verilmektedir [5].



Şekil 2.2. AA2080/SiCp-T8 kompozitin çekme mukavemetinin parçacık boyutuna göre değişimi [5]

2.1.2. Tokluk

Tokluk bir malzemenin kırılması esnasında absorbe ettiği enerjinin bir ölçüsü veya kırılma tokluğu K_{IC} 'ye olan direnç olarak ifade edilir [5]. Metal matrisli kompozitlerde tokluğun optimizasyonu ve değerlendirilmesi zor olup karmaşıklığı pek çok parametreye bağlı olmasından dolayıdır. MMK'lerin toklukları aşağıdaki faktörlere bağlıdır:

- Takviye elemanı özellikleri ve tipi,
- Takviye elemanın ölçüsü,
- Takviye doğrultusu,
- Matris alaşımları ve özellikleri,
- Uygulanan üretim metodu,
- Gözenek seviyesi ve matris içindeki yığılma etkisi gibi mikro yapısal değişiklikler [11].

MMK malzemelerde kırılma tokluğu, çekme uzamasına benzer özellik göstermekte ve artan takviye hacim oranı ile düşmektedir. Bu düşüşün en önemli olduğu aralık % 10 takviye hacim oranıdır. MMK malzemelerde kırılma tokluğu genel olarak 15-30 MPa $m^{1/2}$ aralığında değişir. Buradan parçacık takviyeli kompozitlerin kırılma

tokluğunda önemli bir artış sağladığı anlaşılmaktadır. Parçacık boyutunun kırılma tokluğuna etkisi çok azdır [5].

Takviye elemanının kimyasal etkisinin analiz edilmesi, muhtemelen en zor faktördür. Çünkü farklı takviye elemanları arasında doğru karşılaştırma yapmak için diğer bütün ölçü, yönelim ve üretim metodu gibi faktörlerin sabit tutulması gerekir. Bunu sağlamak içinde; malzemeler çok çeşitli ve şekillere sahip olduğundan güçtür. Bu nedenle, tokluk verileri ile ilgili böyle karşılaştırma elde edilememiştir. Fakat takviyesiz malzemelerle bazı MMK lerin karşılaştırılması Çizelge 2.2’de gösterilmiştir [11].

Çizelge 2.2. Takviyesiz alaşımlarla bazı MMK lerin tokluklarının karşılaştırılması [5]

Malzeme Türü	Darbe Tokluğu (KJ m ⁻²)	Kırılma Tokluğu K _{IC} (MN m ^{-3/2})
Al-4Zn-2Mg	367	-
%25 Al ₂ O ₃ /Al-Zn-Mg	59	-
Al-12Si alaşımı	70	-
%25 Al ₂ O ₃ / Al-Si	45	-
Al 6061 T6	-	37
Al ₂ O ₃ / Al 6061	-	15
SiC/Al 6061	-	7-18

Ekici (2004) alüminyum alaşımlı matrise farklı boyutlarda SiC parçacıkları takviye ederek ürettiği farklı kompozit malzemelerin farklı sıcaklıklardaki çentik darbe deneylerinin sonuçları Çizelge 2.3’de görülmektedir.

Çizelge 2.3. Al 2124 takviyesiz alaşıımı ve kompozitlerinin sıcaklığa bağlı çentik darbe deneyi sonuçları [5]

Malzeme	Isıl işlem	Ekstrüzyon oranı (R)	Deney sıcaklığı (°C)	Ortalama darbe enerjisi (J)
Al 2124	T1*	R: 19,63	-176	22,23
			21	32,03
			100	24,19
			200	25,5
			300	18,96
Al 2124	T6*	R: 19,63	-176	23,87
			21	28,11
			100	24,19
			200	31,06
			300	21,24
Al 2124+SiCp (167µm)	T1*	R: 19,63	-176	5,88
			21	7,85
			100	5,23
			200	8,83
			300	3,27
Al 2124+SiCp (511µm)	T6*	R: 19,63	-176	5,88
			21	6,54
			100	5,24
			200	6,87
			300	3,93

3. BASINÇLI PRES DÖKÜM

3.1. Giriş

Düşük sıcaklıkta ergime ve metal kalıplar içerisinde kalıplanabilme özelliği olan metal ve metal alaşımlarının yüksek basınç altında biçimlendirilmesine Basınçlı Döküm denilmektedir.

Basınçlı döküm tekniğinin ilk çabaları linotip makinesinden sağlanan tecrübelerle dayandığından motor yatakları gibi ilk basınçlı dökümler daha çok kalay ve kurşun esaslı alaşımlardan yapılmışlardır. Fakat kısa bir süre sonra metal üretiminde bu tekniğin önemli bir faktör olabilmesi için daha yüksek mekanik özellikli ve ergime noktalı metal alaşımlarına uygulanması gerektiği anlaşılmıştır. Öte yandan alaşımların ergime noktaları yükseldikçe basınçlı döküm problemlerinin de çoğaldığı görülmüştür.

Bu bulguların ışığında, önce ergime noktaları kalay ve kurşun alaşımlarından az farklı fakat mekanik özellikleri oldukça yüksek olan çinko esaslı alaşımlar denenmiştir. Döküm mekanizma tekniklerinin geliştirilmesi ve daha iyi alaşımlar kullanmakla çinko esaslı alaşımlar kısa zamanda modern metal üretim teknolojisinde önemli bir faktör haline gelmişlerdir.

Alüminyum esaslı ilk ticari basınçlı dökümler, 1915'te Deohler Die Casting Company tarafından yapılmıştır. Birinci dünya savaşında bu teknik savaş ihtiyaçları için gaz maskesi, makineli tüfek, dürbün ve diğer savaş araçları parçalarına uygulanabilecek kadar geliştirilmiştir. Günümüzde alüminyum basınçlı döküm akla gelmeksizin bir metal endüstrisi düşünülemez [12].

3.2. Basınçlı Döküm Makineleri

Basınçlı döküm makineleri, metal basma sistemlerinin farklı oluşuna göre, sıcak ve soğuk kamaralı olarak başlıca iki ana gruba ayrılır. Bu genel sınıflandırmaya göre

seçilecek makine, dökülecek alaşımın ergime derecesine bağlı olacaktır. Kullanılan alaşım düşük ergime sıcaklığına sahip ise, ergimiş metal piston-silindir malzemesine zarar vermeyeceğinden, piston-silindir, doğrudan ergimiş metale daldırılabilir. Bu tip makinelere sıcak kamara tipi makineler adı verilir. Buna karşılık dökülecek alaşımın ergime sıcaklığı yüksek ise, ergimiş metale daldırılan dökme demir veya elik piston-silindir alaşımı, sıvı metali kirleterek dökümün kalitesini bozabilir; dolayısıyla ergime derecesi yüksek alaşımların dökümünde soğuk kamara tipi makineler kullanılır [13].

3.2.1. Sıcak kamaralı makineler

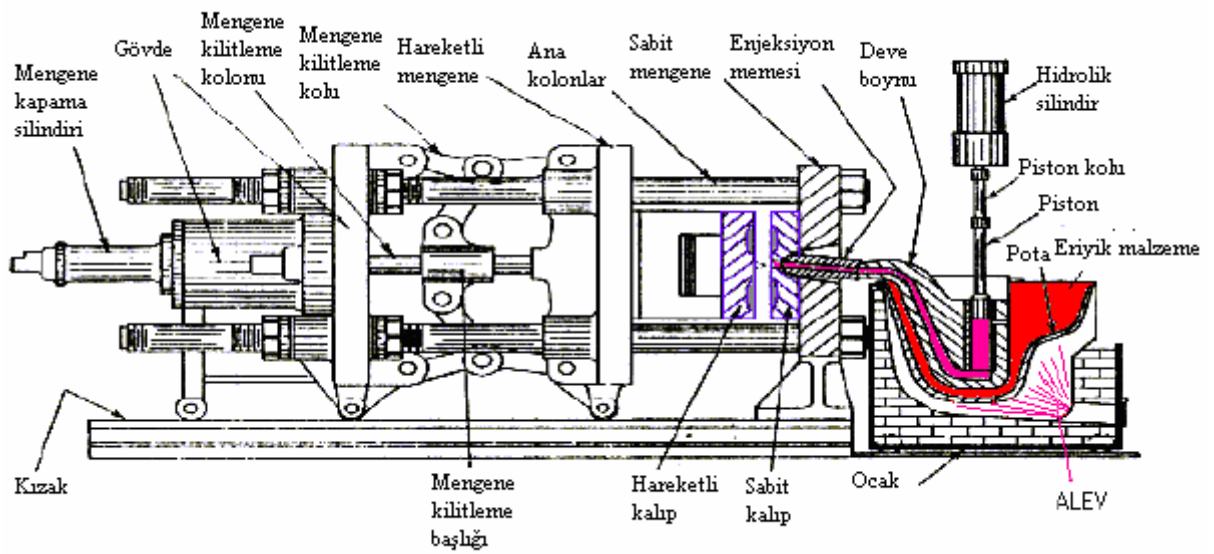
Sıcak kamaralı basınçlı döküm makinelerinde ergime sıcaklığı 327 °C olan kurşun, 420 °C olan inko, 232 °C olan kalay gibi malzemelerin kalıplanmasında kullanılır. Alüminyum ve daha yüksek ergime dereceli alaşımlar için uygun değildir Sıcak kamaralı makinelerde 20 g'lık küçük parçalardan 22 kg ağırlığındaki parçalara kadar çeşitli büyüklükte parça üretimi mümkündür. Bu yöntemle çok hassas, hepsi aynı özelliğe sahip parçalar seri halde dökülebilir. Sıcak kamaralı döküm yöntemi ile üretim sonucunda $\pm 0,05$ mm hassasiyet elde edilebilir [14].

Pistonlu sıcak kamaralı makineler

Pistonlu makinelerde fırın içerisine pik bir pota yerleştirilir. Bu potaya monte edilen silindir ergimiş alaşımın içine gömölür. Silindir içindeki piston bir levye ve eksantrik mekanizma ile yatay yönde çalıştırılır. Ergimiş metal bir delikten geçerek yer çekimi etkisi silindiri doldurur. Çalışma levyesi çekildiğinde piston kolu pim çevresinde dönerek pistonu silindir içine hareket ettirir. Pistonun ileri hareketi önce silindirde metal giriş deliğini kapatır, sonra da silindirdeki metali kalıba basar.

Bu sistem ile yaklaşık olarak 20 kg/cm^2 'yi aşan basınçlara erişmek mümkün olabilmektedir. Ayrıca sıvı metal en kısa sürede ve en az ısı kaybı ile enjekte edilebilmektedir.

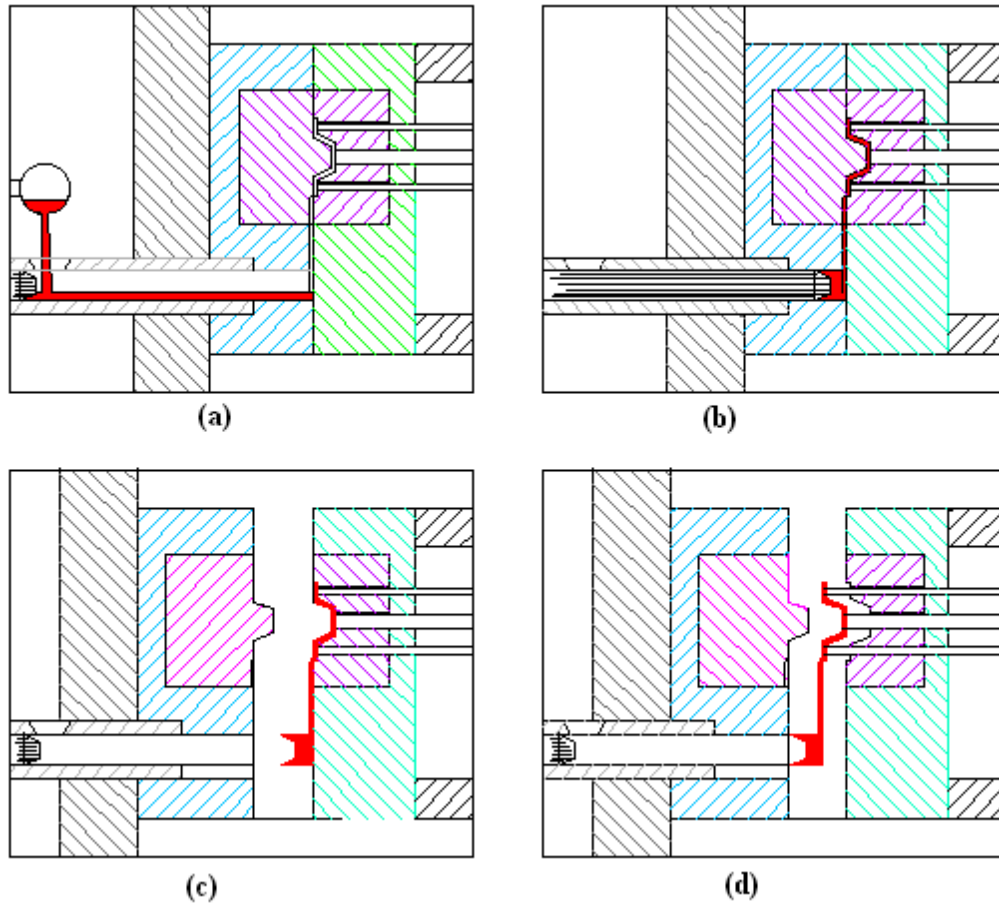
Pistonlu makinelerde gerek piston gerekse gömlek malzemesinin aşınma ve yumuşama direncinin yüksek olması istenir. Genellikle gömlek malzemesi olarak yüksek hız takım çelikleri, nitrür alaşımlı çelik ve paslanmaz çelik kullanılır. Piston ise genellikle alaşımlı dökme demirden imal edilir [15]. Şekil 3.1’de sıcak kamaralı pistonlu makine resmi verilmiştir.



Şekil 3.1. Pistonlu sıcak kamaralı makine [16]

3.2.2. Soğuk kamaralı makineler

Soğuk kamara tipi makinede ergimiş metal kalıp içine hidrolik çalışan bir pistonla basılır. Ergimiş metal kalıbı birkaç defa doldurulabilecek hacimde bir potadan soğuk kamaraya doldurulur. Dolma işleminden hemen sonra piston çalışarak doldurma deliğini kapatır ve ergimiş metali 2000 kg/cm^2 basınç altında kalıba basar. Normal çalışmada kamaraya bir döküme yetecek miktardan fazla metal konur. Dökümden artan donmuş metal dökümle birlikte makineden çıkarılır. Soğuk kamara tipi makinenin normal çalışma sırası Şekil 3.2’de görülmektedir [12].

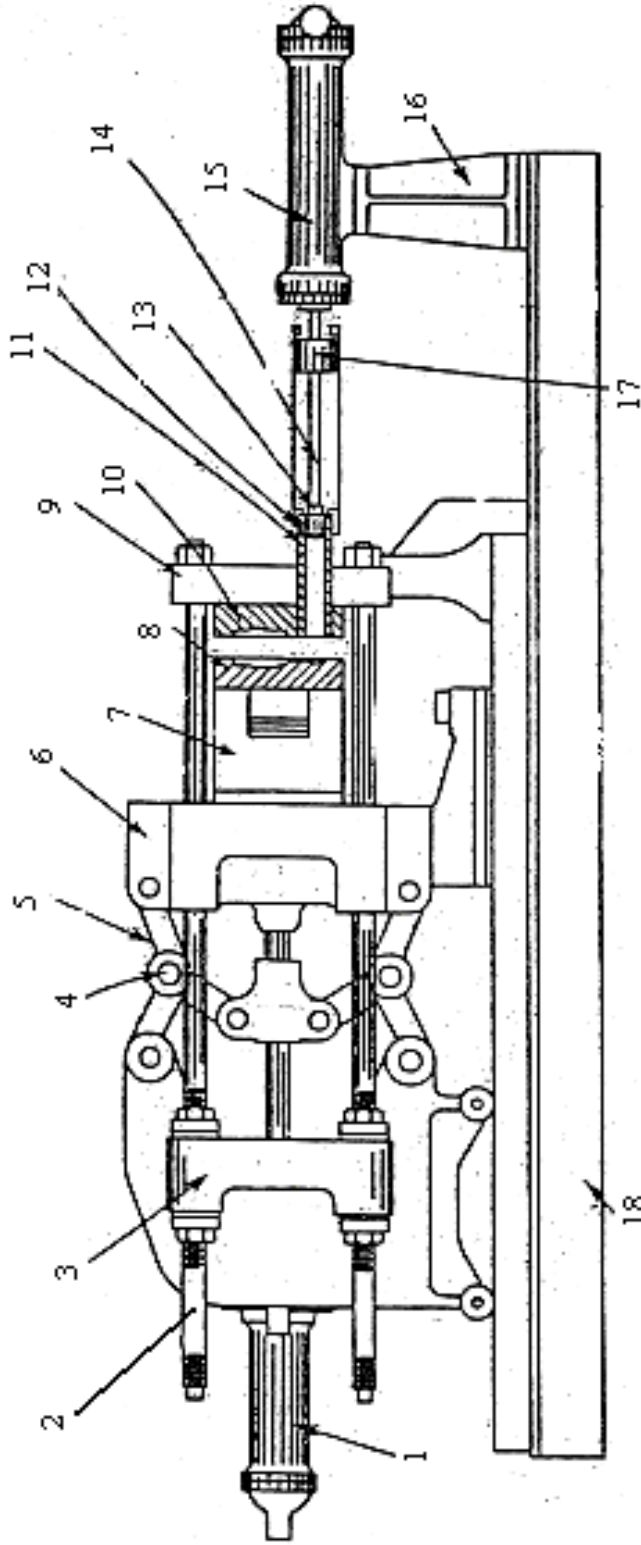


Şekil 3.2. Soğuk kamara tipi makinede döküm sırası [15]

(a) kepçe ile kontünöre yükleme, (b) alüminyumun kalıba doldurulması,
(b) kalıp açılması, (d) iş parçasının kalıptan çıkarılması

Yatay soğuk kamaralı makineler

Bu tip basınçlı döküm makinelerinde metal basma kamarası ısıtılmaz. Kamarada yalnız sıvı metalin neden olduğu ısı artışı söz konusudur. Ancak aşırı ısınma olursa piston, su ile soğutularak korunur. Ergimiş metal, basma veya enjeksiyon kamarası üzerindeki bir açıklıktan beslenir. Şekil 3.3’de yatay soğuk kamara tipi bir basınçlı döküm makinesinin şematik resmi görülmektedir.



Şekil 3.3. Yatay soğuk kamara tipi basınçlı döküm makinesi [16]

- 1) Mengene kapama silindiri (orta karbonlu çelik döküm), 2) Ana kolon (SAE 4140 ısıtılmış), 3) Gövde (orta karbonlu çelik döküm), 4) Makas burcu (SAE 64 Bronz), Makas pimi (SAE 3415), 5) Makas kolu (SAE 4335 çelik döküm), 6) Hareketli mengene (orta karbonlu çelik döküm), 7) İtici kutusu (dökme demir), 8) Hareketli kalıp, 9) Sabit mengene (orta karbonlu çelik döküm), 10) Sabit kalıp, 11) Malzeme döküm kanalı, 12) Kontünör (Krom-molibden alaşımlı çelik), 13) Enjeksiyon pistonu (SAE 4140), 14) Enjeksiyon piston kolu (SAE 4140), 15) Enjeksiyon silindiri (orta karbonlu çelik), 16) Destek (dökme demir), 17) Piston kafası (SAE 6140), 18) Taşıyıcı kızak (Çelik)

Yatay soğuk kamara tipi basınçlı döküm makinesindeki işlem özetle şöyle olmaktadır; hareketli kalıp yarıları kapatılıp kalıplar kilitlendikten sonra, piston-silindir geri çekilmek suretiyle besleme deliği açılır ve buradan metal kamaraya boşaltılır. Piston ileri itilerek önce sıvı metal girişi kapanır sonra sıvı metal kalıp boşluğuna basılır. Metalin katılaşması için gerekli zaman sonunda kalıp açılır ve piston geri çekilir. Dökülen parça hareketli kalıp yarisında kalır, buradan itici pimleri ile kolaylıkla çıkarılır. Piston ilk durumuna getirilerek devre tekrarlanır [14].

Soğuk kamara tipi enjeksiyon sistemleri, basınçlı dökümle üretimi gerçekleştirilebilen bütün malzemelere uygulanabilmekle beraber, bu sistem genellikle alüminyum, magnezyum ve bakır alaşımları için tercih edilir. Bütün döküm işlemi birkaç saniyede tamamlandığından alaşıma demir bulaşması hemen hiç olmamaktadır. Bu yöntemle çok yüksek basma basınçlarına 70-140 MPa ve hatta 210 MPa mertebesine erişebilir [14].

3.3. Basınçlı Döküm Kalıpları

Kaliteli bir üretim yapılabilmesi için basınçlı döküm parçalarının iyi bir konstrüksiyona sahip olması gerekmektedir. Parçaların şekillendirilmiş kısımları mümkün olduğu kadar doğrusal olmalıdır, sivri uçlardan kaçınılmalıdır, 1,5 mm'den 4 mm' ye kadar aynı kalınlıkta bir cidar kalınlığı sağlanmalıdır, gerekli koniklik miktarı 1°' den aşağı olmamalıdır, muhtelif yerlere konacak boşluk, delik ve cep gibi yerlere konacak maçalardaki koniklik 1,5°'nin altında olmamalıdır, parçada vida dişleri hususi hallerde dökülmeli, gerekli dişlere ait maçalardan istifade edilir, döküldükten sonra maçalar yerlerinden döndürülmek suretiyle çıkarılır. Basınçlı döküm parçalarının konstrüksiyonlarında en iyi tasarım elde edilinceye kadar gerekli çalışmalar yapılmalıdır [17].

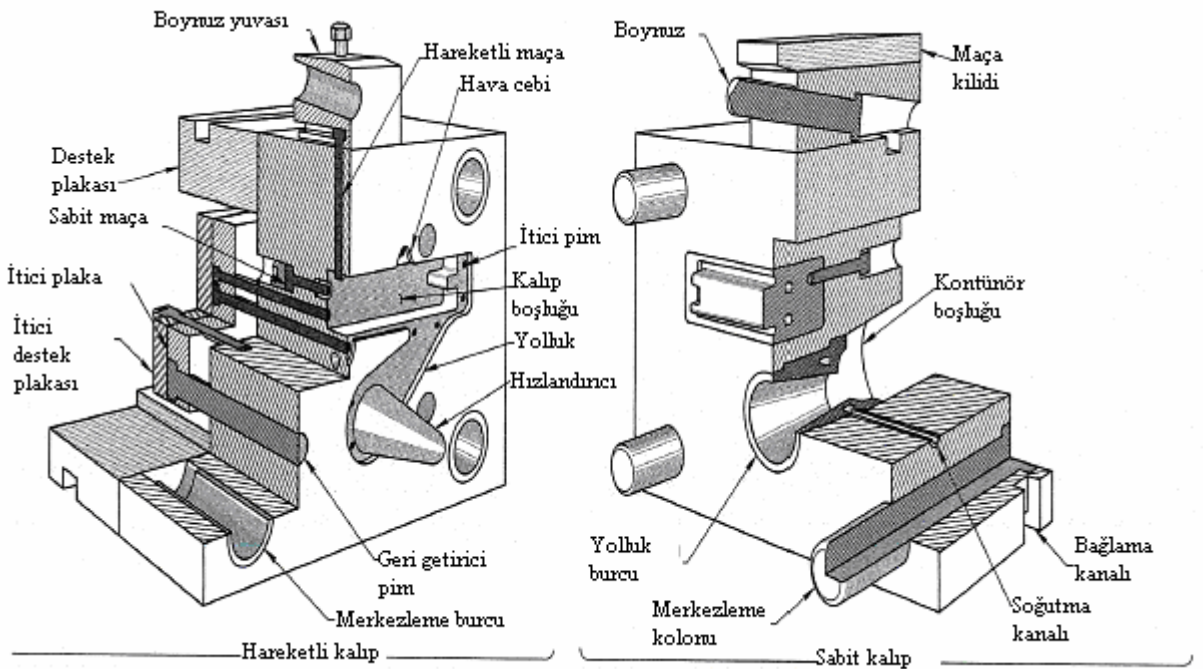
Kalıbın yapıldığı malzeme, basınçlı döküm tekniğinin başarısını büyük oranda etkiler. Sıvı metal kalıp içine basınç altında beslendiğinden kalıp malzemesi yüksek darbe ve mekanik şoklara dayanıklı olmalıdır. Kalay, kurşun, çinko gibi düşük ergime sıcaklığına sahip alaşımlarda ekonomik bir maliyet ile uzun kalıp ömrü

sağlayabilmek mümkündür. Ancak yüksek ergime dereceli alaşımlar için özel kalitede ve özel şartnamelere uygun kalıplar hazırlanmalıdır [13]. Özellikle sıcak iş takım çelikleri bu tip kalıplar için uygundur.

3.3.1. Kalıp çeşitleri

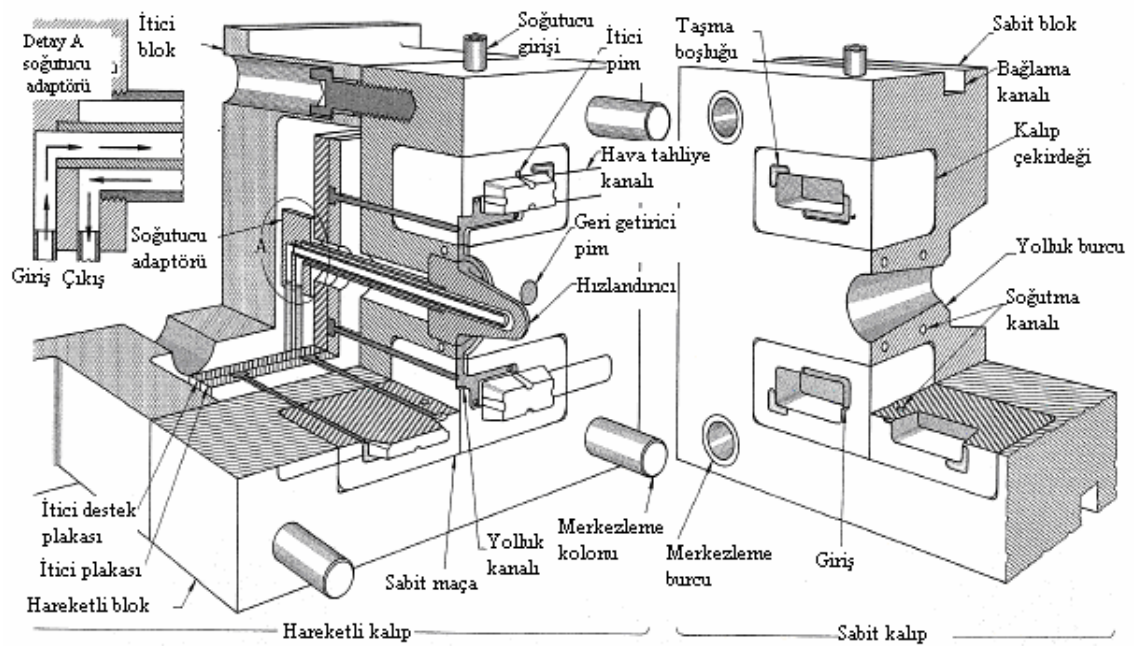
Basınçlı dökümde kalıplar dökümün farklı kalınlık ve genişliğine göre dört tiptedir. Bunlar tek gözlü (kalıp boşluğu) kalıplar, çok gözlü kalıpları, kombinasyon kalıpları ve ünite kalıplarıdır.

Tek gözlü kalıplar, basınçlı dökümde yaygın olarak en çok kullanılan kalıp çeşididir. Kalıbın oldukça basit bir yapısı vardır ve en kolay yapılabilir kalıp tipidir. Ayrıca tek gözlü kalıplarda bir adet boşluk vardır. Bu kalıp tipi ucuz ve aynı zamanda hızlı üretimler için uygun olmasından dolayı çok kullanılmaktadır [14]. Şekil 3.4'te tek gözlü kalıp örneği görülmektedir.



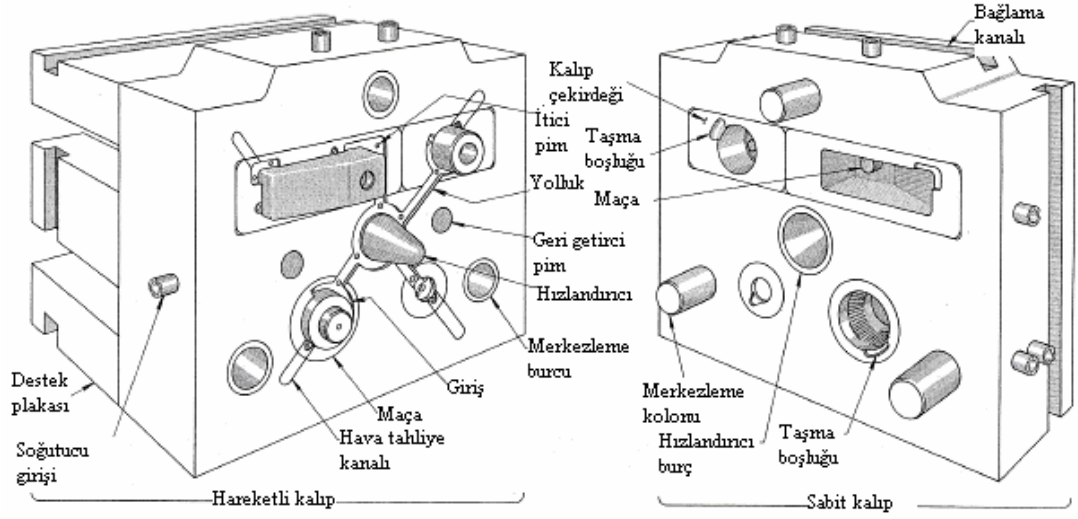
Şekil 3.4. Tek gözlü basınçlı döküm kalıbı [18]

Çok gözlü kalıplar; genellikle büyük çapta ve seri üretimin gerektiği yerlerde kullanılır. Göz sayısı, gerekli üretim miktarına ve dökümün şekline bağlı olarak değişir. Küçük ve basit şekilli parçalarda göz sayısı 32-48 arasında değişir. Daha yüksek miktartlı üretimlerde daha fazla göz kullanılmaktadır. Çok gözlü kalıplarda gözler, her göz bir diğerinden eşit aralıkta olacak şekilde simetrik ve aynı tasarlanmalı ve imal edilmelidir. Şekil 3.5 'te çok gözlü kalıplara örnek verilmiştir.



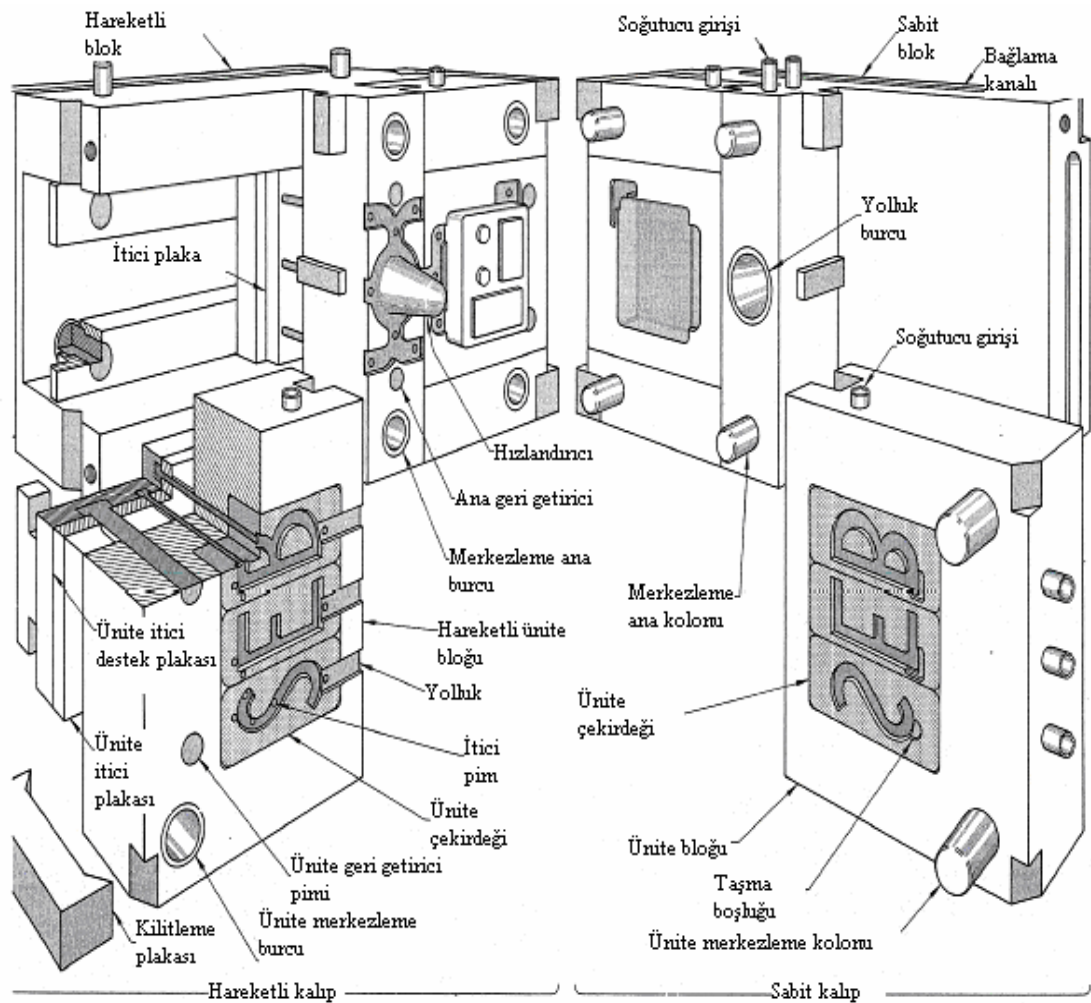
Şekil 3.5. Çok gözlü basınçlı döküm kalıbı [19]

Kombinasyon kalıpları; çok gözlü kalıplarla birlikte aynı amaca hizmet eder. Her iki kalıpta aynı zamanda iki veya daha fazla parça dökülmesine izin verir. Böylece her ikisi de iki veya daha fazla kalıp boşluğuna sahiptir. Bu iki kalıp şekli arasındaki fark çok gözlü kalıbı aynı parçaların dökümünde kullanılırken, kombinasyon kalıpları benzer olamayan farklı parçaların dökümünde kullanılır. Bununla birlikte kombinasyon kalıbında boşlukların sayısı sınırlıyken, çok gözlü kalıplarda kalıp boşluk sayısı yukarıda belirttiğimiz gibi fazladır. Şekil 3.6'da kombinasyon kalıplarına örnek gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Kombinasyon kalıpları [19]

Ünite kalıpları; orta boyutlu parçalarda ve genellikle üretimin düşük olacağı durumlarda kullanılması avantajdır. Ünite kalıpları ile çok gözlü kalıplar arasındaki fark, çok gözlü kalıplarda gözler kompleks ve mekaniktir, ünite kalıplarında ise gözler daha basittir, ayrıca ünite kalıplarında kalıp çekirdekleri değiştirilebilir şekilde tasarım yapılmıştır. Ayrıca ünite kalıplarında her ünitenin itici plakaları bağımsız olarak çalışır. Ünite kalıpları bir özelliği de ünitelerin kalıp setine montajının kolay olmasıdır. Farklı parçalar dökülmek istendiğinde kalıp makineden indirilmeden ünite değiştirilerek döküme devam edilir. Zaman açısından bu özellik önemli avantaj sağlar. Şekil 3.7’de ünite kalıplarına örnek gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Ünite kalıpları [19]

3.3.2. Basınçlı döküm kalıp parçaları

Sabit ve hareketli kalıp yarıları

Basınçlı döküm kalıpları sabit ve hareketli kısım olmak üzere iki ana kısımdan meydana gelmektedir. Ergitilmiş metalin kalıp boşluğuna basıldığı enjeksiyon sistemi tarafına yerleştirilen kısım sabit kalıp yarıları olarak adlandırılmaktadır. Hareketli kalıp yarıları ise enjeksiyon makinesinin hareket sistemine bağlı olarak sistemin açılıp kapanmasıyla birlikte hareket kazanarak üretilen parçanın dışarıya

çıkarılmasını sağlayan kısımdır. Yukarıdaki şekillerde hareketli ve sabit kalıp yarılarının gösterimi ayrıntılı olarak verilmiştir.

Sabit kalıp yarısı incelendiğinde ergimiş metali yolluklara aktarılmasını sağlayan giriş sistemi, kalıp çekirdeğinin bir kısmı, su kanalları, maça pimleri, maça kilitleri ve merkezleme kolonları bulunmaktadır. Yukarıdaki şekillerde hareketli kısımda görüldüğü üzere ergimiş metali kalıp gözlerine taşımakta olan yolluklar, kalıp içerisindeki katılma sürecini tamamlamış ürünü kalıp içerisinden çıkarmaya yardımcı olan itici sistemleri bulunmaktadır. Bununla birlikte bu ana elemanlara yardımcı yayıcılar, itici pimleri, itici plakaları, maça yatakları, merkezleme millerinin girdiği yataklar yer almaktadır.

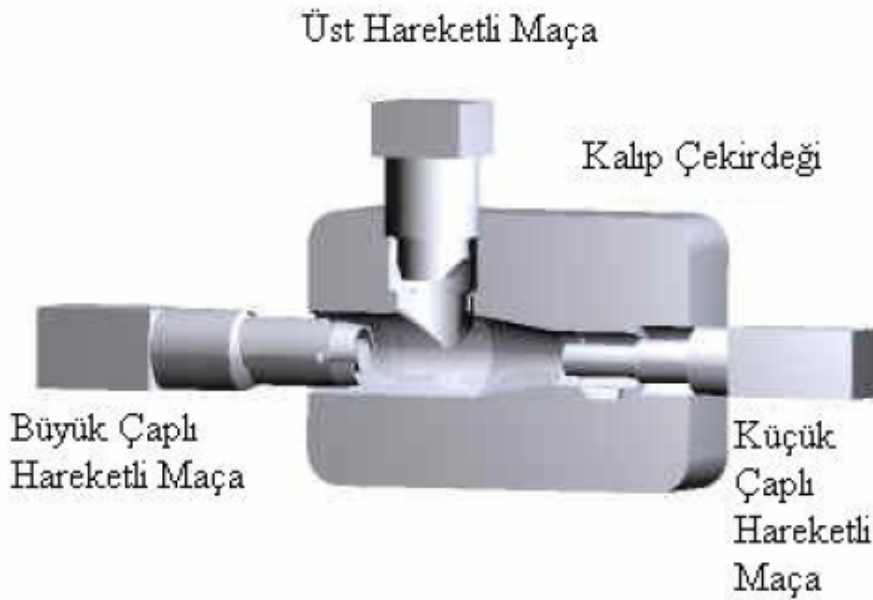
Üretimi gerçekleştirilecek olan parça çoğu zaman hareketli ve sabit kalıp yarılarına, parça üzerinde belirlenen ayırma çizgisi referans alınarak işlenmektedir. Belirlenen ayırma çizgisinin yeri, elde edilmek istenen parça kalitesine, estetik görüntüsüne, kalıp ömrüne ve döküm sonrası yapılacak temizleme işlemlerine etki etmektedir. Bununla birlikte yanlış olarak belirlenmiş ayırma çizgisi döküm sonrası kesme-temizleme işlemlerini arttırarak üretim maliyetlerinin artmasına, estetik ve ergonomik olarak uygun olmayan parçaların üretilmesine sebebiyet vermektedir [20].

Maçalar

Basınçlı döküm kalıplarında, iş parçası üzerindeki delik, kanal, boşluk, oluk ve diğer iç formları oluşturmak için kullanılmaktadır. Temel olarak hareketli ve sabit olmak üzere iki ana kısımda incelenmektedir. Bunlara örnek Şekil 3.8’de gösterildiği gibi hareketli maça şeklindedir. Bazı maçaların amacı, parçanın cidar kalınlıklarını eşit yapmak ve metal tasarrufunu sağlamaktır.

Kalıplarda sabit ve/veya hareketli maçalar sıkça kullanılmaktadır. Eğer sabit maça kullanılmaktaysa, maçanın eksenini kalıbın açılma eksenine paralel olacak şekilde yerleştirilmek zorundadır. Hareketli maçalarsa, genellikle ayırma yüzeyine açılı olarak da yerleştirilmektedirler. Hareketli maçaların hareketi sürgülü bir sisteme

bağlı olarak gerçekleşmektedir. Bunlara ek olarak tasarımı yapılan basınçlı döküm kalıbında itici pimlerin kullanılması istenmiyorsa, kalıpta bir veya birden fazla açılır-kapanır sürgülü mekanizma kullanılmaktadır.



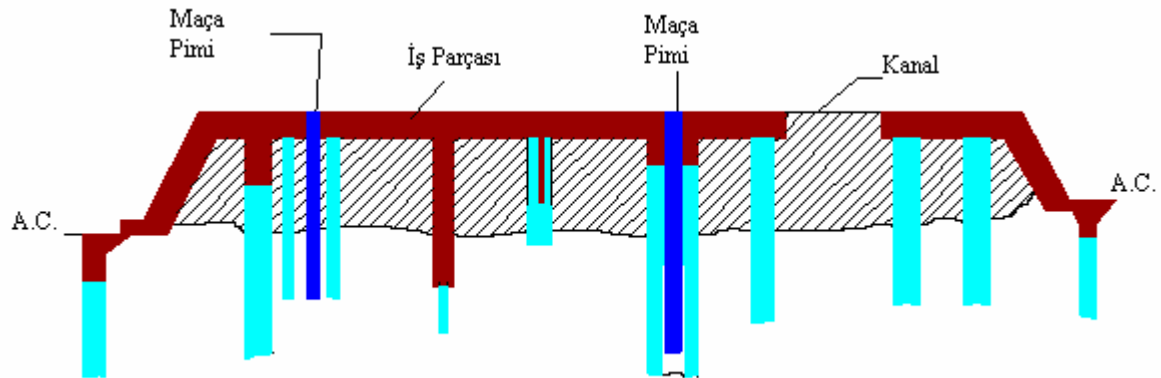
Şekil 3.8. Hareketli maça yerleşimi [20]

Maçaların tasarımında dikkat edilecek en önemli husus çıkma açısıdır. Metalin kalıba dolumu esnasında malzeme sıcaklığı 670-680 °C'dir. Maça sıcaklığı ise yaklaşık 200-250 °C'dir. Metalin basınç altında ani soğuması ile dökülen parçada çekme meydana gelir. Alüminyumun çekme değeri 0,007 mm'dir. Bunun sonucu soğumuş parça maça yüzeyine basınç uygular. Maçanın parçadan daha az bir kuvvetle ve metalin yüzeye yapışmadan çıkması için; maçanın iş yüzeylerine yani metalle temas ettiği yüzeylere açı verilir. Basınçlı döküm kalıplarında maçalara verilen genellikle bu açı tek taraflı 2° 'dir. Ancak açı değeri parçanın geometrisine göre değişebilir.

İticiler

Basınçlı döküm kalıp konstrüksiyonunda en önemli öğelerden biri ergitilmiş metalin kalıp içerisini doldurup katlaşmasıyla oluşan ürünün kalıp içerisinden çıkarılmasıdır. Parçaların çıkarılmasında genellikle itici pimler, itici plakalar ve burçlu iticiler

kullanılmaktadır. (Şekil 3.9) itici pimlerin, ölçüleri, uygulamaya göre 3 mm den 25 mm çapa kadar değişmektedir. En çok kullanılan pim çapları 6-8 ve 10 mm'dir. İtici pimlerin yüzeyleri aşınmaya karşı çok serttir [14]. İtici pimlerin çalışan yüzeyleri genellikle 60 HRC ± 5 , şapka kısımları ise 45 HRC değerinde sertleştirilir.



Şekil 3.9. İtici pimlerin örnek konumları [15]

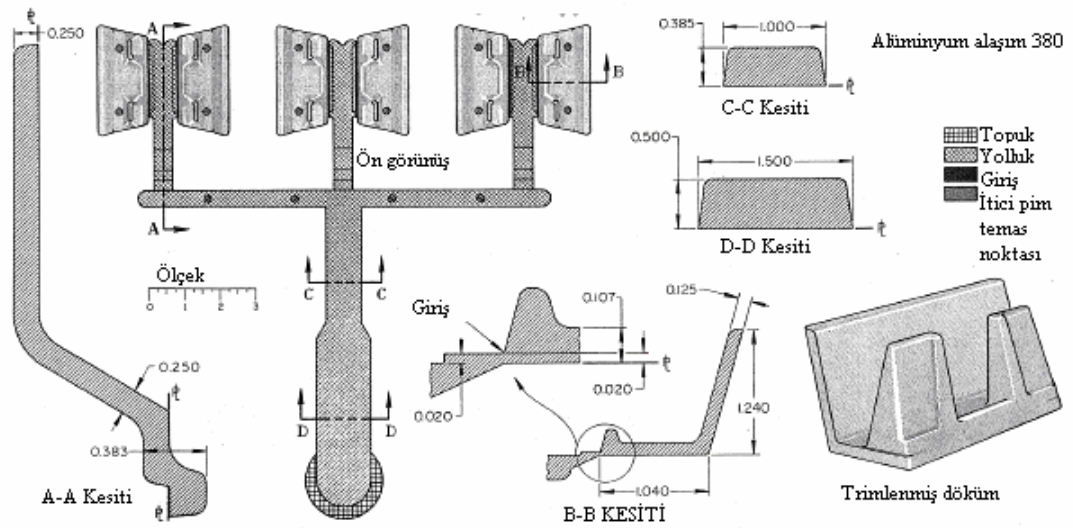
3.3.3. Basınçlı döküm kalıplarında sistemler

Yolluk sistemleri

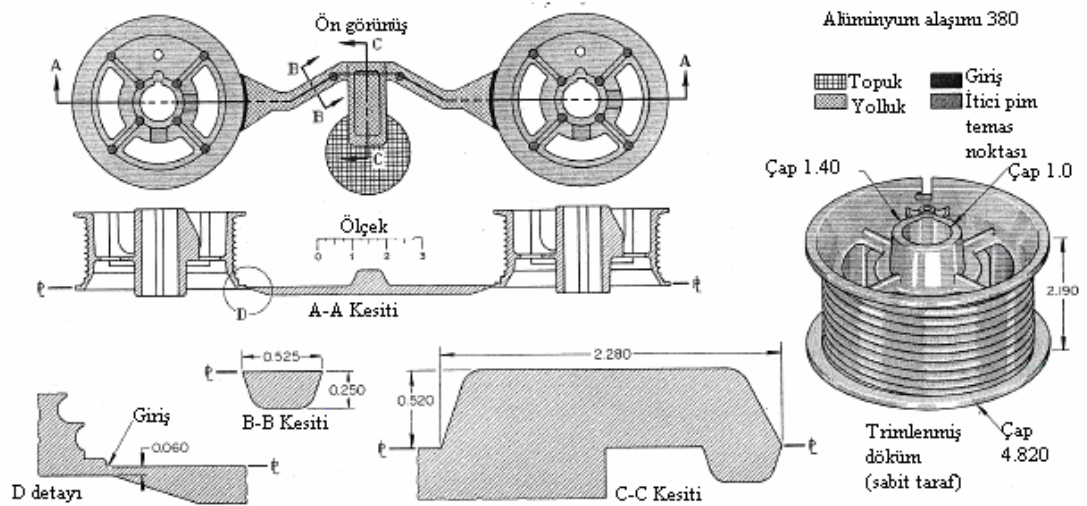
Yolluk, yolluk burcundan gelen ergimiş metali kalıp boşluklarına ileten kanallardır. İdeal döküm yolluğu, yolluk kanalları ve yolluk girişi, döküm parçası üzerinde olabildiğince az iz bırakmalı, hızlı bir akışla içeri giren sıvı metalin düzenli ve eşit bir biçimde kalıp boşluğunda yol almasını ve metalin kalıp boşluğunu olabildiğince iyi doldurmasını sağlamalıdır.

Metal, yolluk aracılığıyla yolluk kanallarından geçerek kalıp boşluğuna akar. Yolluk burcundan giren eriyik alaşım; dağıtıcılar ile dışı kalıba ulaştırılır. Basınçlı döküm kalıplarında dağıtıcılar genellikle kalıp iticisi bulunan kısma açılır. Derinlikler 4 mm'den 8 mm'ye kadar değişir. Genişlikleri ise iş parçasının ağırlığına ve dış biçimine göre tayin edilirler.

Şekil 3.10'da ve Şekil 3.11'de çok gözlü kalıplarda kullanılan yolluklara örnekler verilmiştir.

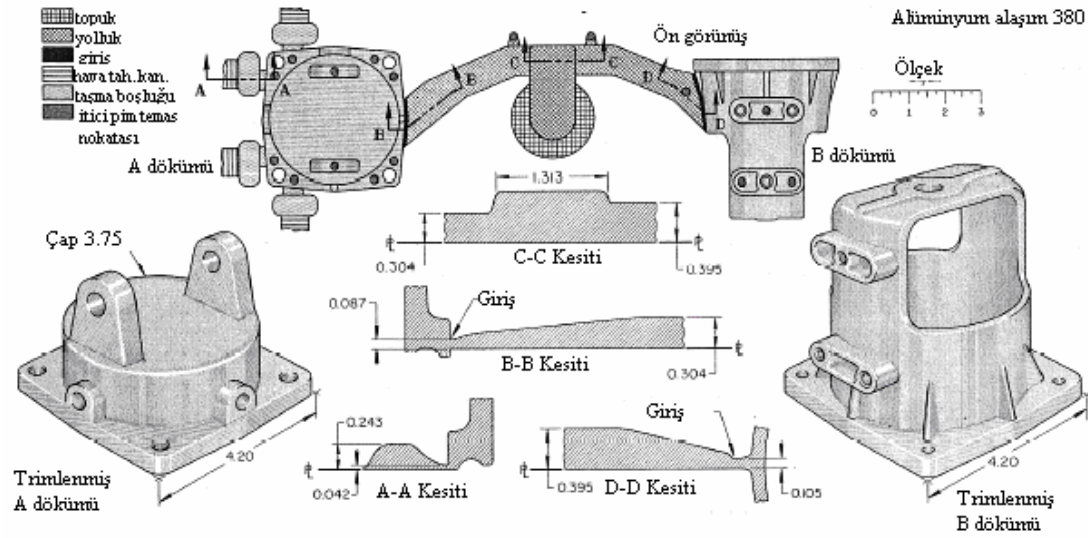


Şekil 3.10. Çok gözlü kalıplarda yolluk sistemleri [19]



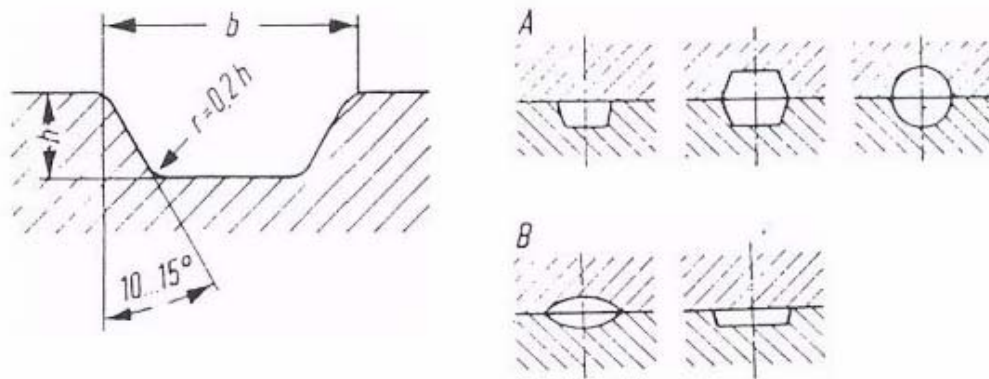
Şekil 3.11. Çok gözlü kalıplarda yolluk sistemleri [19]

Şekil 3.12’de kombinasyon kalıplarında kullanılan yolluklara örnek verilmiştir.



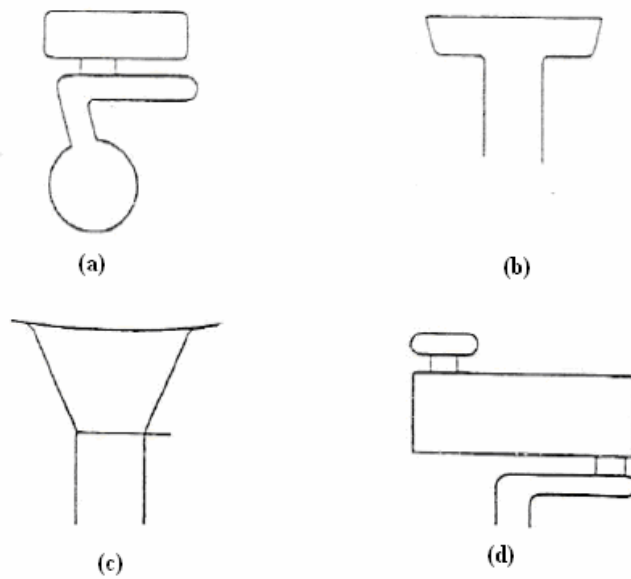
Şekil 3.12. Kombinasyon kalıplarında yolluk sistemleri [19]

Yolluk kanalları, bir kalıp yarısında ya da iki kalıp yarısında birden bulunabilir. Akıntı sırasında kayıp oluşumunu engellemek için, keskin yön değişimleri tercih edilmemelidir. Yolluk bağlantı kanalları, gerektiğinden daha büyük yapılmamalıdır. Aksi takdirde kalıp plakasının bu bölümünde gereksiz sıcaklık kaybı ve aşırı ısı birikmesi meydana gelir. Kesit alanı aşağı yukarı yolluk giriş alanından 2-3 kat daha büyük olmalıdır. Yolluk kanallarının derinliği, döküm parçasının et kalınlığı x 1,5 olarak saptanabilir. Akıntı hızı çinko alaşımlarında 15 m/s alüminyum alaşımlarında 10 m/s magnezyum alaşımlarında 20 m/s değerlerinin altına düşmemelidir. Şekil 3.13’te çeşitli yolluk kanal kesitleri gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Yolluk kanal tipleri A elverişli B elverişsiz [14]

Bu alan güvenilir şekilde hesaplanana kadar minimum boyutta çalışılması büyük önem taşımaktadır. Bu durumda yolluk, yolluk kanallarının yeniden ergitilmesiyle oluşacak hammadde ve enerji kayıpları azalır, kalıba daha az ısı verilir. Ayrıca bir yolluk kanalının büyütülmesi küçültülmesinden daha kolaydır. Şekil 3.14’de çeşitli yolluk kanalı tipleri gösterilmektedir. Genel kural olarak, yolluk kanalları olabildiğince kısa olmalıdır; ancak soğuk baskıların önlenmesi için kalıbın belirli bölümlerinin ısıtılması gerekiyorsa kör bir yolluk kanalı kullanılabilir.



Şekil 3.14. Çeşitli yolluk kanal tipleri [14]

(a) kör yolluk, (b) T yolluk, (c) fan yolluk, (d) ofset yolluk

Yolluk girişi

Kalıpta yolluk kanalı ile iş parçasının boşluğunu birbirine bağlayan ince kesitli küçük kanala yolluk girişi denir.

İnce girişlerle iyi yüzey kalitesi elde edilir, artık kısımların ve yüzeyin düzeltilmesi kolay olur, fakat yoğun bir döküm yapılamaz. Büyük girişlerle daha yoğun ve kusursuz bir döküm yapılır. Fakat artık kısımların kırılması ve yüzeyin düzeltilmesi daha güç olur. Girişlerin büyüklüğü ve biçimi eriyik alaşımın buhar gibi püskürmeden bir akım sağlayacak şekilde olmalıdır [14].

Soğutma sistemleri

Enjeksiyon sıcaklığının da, metalin katılaşması üzerinde bir etkisi bulunmaktadır. Akışkanlığı yeterince muhafaza etmek için, sıvı metal mümkün olduğunca yüksek bir sıcaklıkta bulunmalıdır. Enjeksiyon sıcaklığı yaklaşık 640-660 °C'dir. Bu sıcaklıkta dökülen parçanın kalıp içinde katılaşana kadar geçirdiğı sürede kalıp ile ısı alışverişi olur. Bu sıcaklık alışverişi uygun sıcaklığa düşene kadar devam etmelidir. Kalıp tarafından emilen bu ısının da soğutma kanalları ile kalıptan uzaklaştırılması gerekmektedir. Bir kalıptaki sıcaklık dağılımı; parçanın kalitesine, çekme oranına, parçada meydana gelebilecek büzölmelere, yolluk ve parçada sıcak metalin akışkanlığına, doldurma zamanına ve kalıbın çevrim süresinde etkilidir.

Yüksek kalıp sıcaklıklarında;

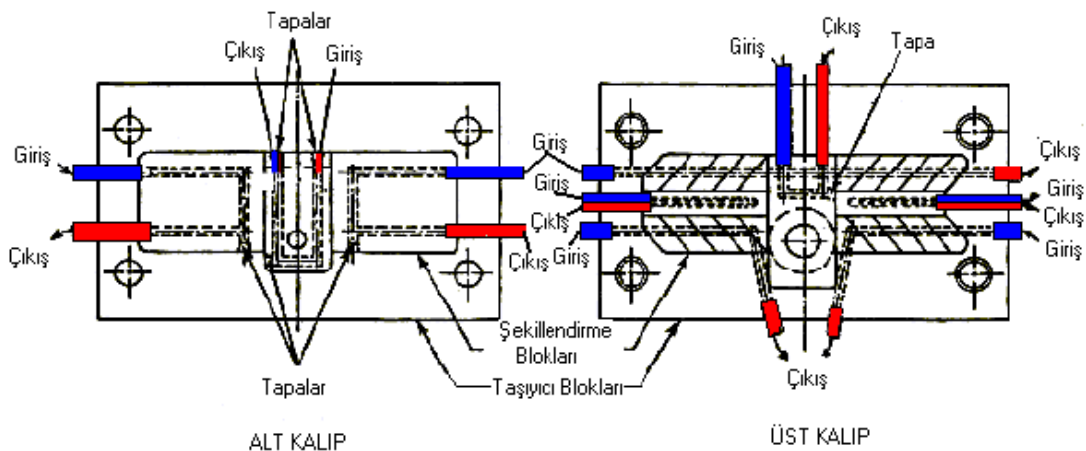
- Zayıf enjeksiyon sonucu kalıpta deformasyon ve yapışma problemleri
- Daha uzun kalıp çevrim süresi
- Parçanın zor bir şekilde kalıptan çıkarılması
- Kalıpta oluşan iç gerilmelerin artması ve kalıp ömrünün azalması
- Gözenek ve büzölme boşluklarında artış
- Parçanın boyutsal değerlerinde kayıp.

Düşük kalıp sıcaklıklarında;

- Yetersiz sıcaklık nedeniyle düzgün olmayan akış ve kalitesiz parça
- Hızlı soğuma nedeniyle parçada yapışma problemleri
- Ölçüsel doğrulukta azalma
- Gözle görülür şekilde parçada akış izleri
- Parçanın zor bir şekilde kalıptan çıkarılması
- Yağlayıcı etkinliklerinin azalması
- Tam dolmayan göz sonucu hatalı parça elde edilmesi gibi sorunlarla karşılaşılır.

Isı alışverişi, kalıptan geçen saatteki alaşım miktarı ile verilmektedir. Bu etkiyle ve yayılan ısı miktarı ile orantılı olarak, kalıp sıcaklığı belli bir ısı dengesini yakalayana kadar artmaktadır. Isı denge noktası, belirli bir ısı rejimi ve kalıp dağılım kapasitesine göre belli bir sıcaklıkta stabil hale gelmektedir [21].

Şekil 3.15’deki gibi yerleştirilen soğutma kanallarının, genellikle kalıp yüzeyine 20 mm’den yakın olmaması tavsiye edilmektedirler. Bununla beraber sakıncası olmayan hallerde kanallar, maça ve boşluk yüzeylerine 6 mm kalıncaya kadar yaklaşabilmektedir [20].



Şekil 3.15. Basınçlı döküm kalıbına soğutma kanallarının yerleştirilmesi [15]

Hava tahliye sistemleri

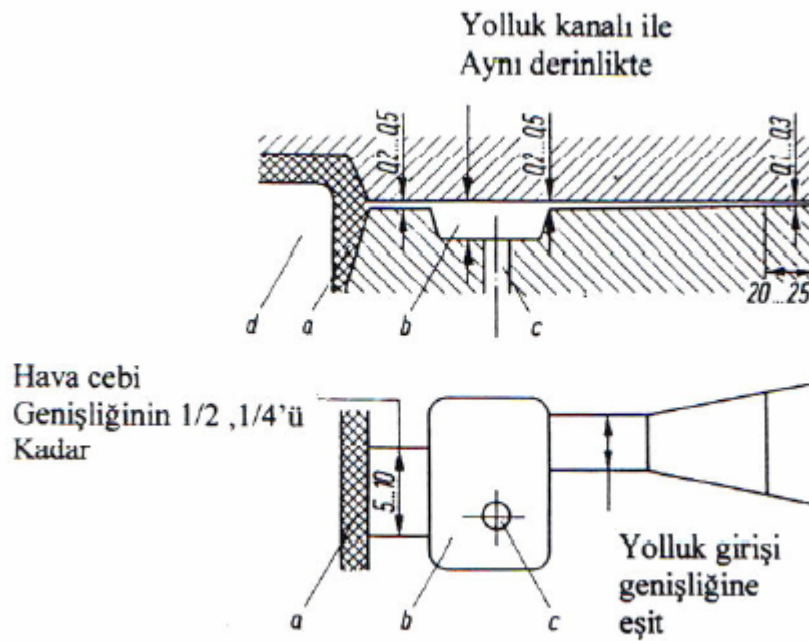
Hava tahliye kanalları, kalıp boşluğuna ergimiş metalin girişine paralel olarak havanın dışarıya çıkmasını sağlamak, istenilen kalitede döküm parçaları elde etmek için gerekmektedir. Hava tahliye kanalları kalıbın ayırma yüzeyi üzerine işlenmektedir. Genellikle ergimiş alaşımın havayı sıkıştıracağı yerde veya girişin karşı tarafına açılmaktadır. Bazı tahliye kanalları, kızakların etrafına hareketli maçaların ve iticilerin üzerine açılmaktadır. İçeride bulunan havanın çıkarılması daha iyi döküm özelliklerine ulaşılmasını ve dökülen parçalarda iyi kalitede ısıtılmış işlem olanağını sağlamaktadır. Akış sisteminde sıkışan havanın tahliyesi için birkaç farklı metot kullanılabilir. Bunların en yaygın olanı ergimiş metalin dolumu öncesi bir vakum sistemi ile de tahliye edilmesidir. Gözeneksiz sürecin uygulanması, içeride sıkışan havayı ergitilmiş alüminyum oksijen ile reaksiyonu yoluyla çıkarmaktadır [20].

Havalandırma kanalları 0,15 mm'den daha derin olmamalıdır. Belirtilen derinlik değeri kalıp boşluğundan 20-30 mm uzaklığa kadar olan bölüm için geçerli olmaktadır. Daha uzak mesafelerde bulunan noktalar için derinlik değerleri %50 oranında artırılır [20].

3.3.4. Taşma boşluğu

Basınçlı döküm işleminde havalandırma amacıyla taşıma boşluklarının kullanımı döküm parçasındaki gözenek değerlerinin düşürülmesi noktasında önemli rol oynamaktadır. Taşıma boşluklarına kalıp içerisine ilk olarak enekte edilmiş sıvı metalin geçişi sağlanarak basınçlı döküm parçasının mukavemeti artırılmaktadır. Taşıma boşluklarına genellikle kalıp boşluğunun dış tarafına çerçeve profil parçalarda ise döküm parçası bölümünün iç tarafına yerleştirilmektedir. Taşma boşluklarının derinliği yolluk derinliğine eşit miktarlarda olmalıdır. Genellikle bu boşluklarda döküm parçası içerisinde oluşabilecek cüruflar bulunmaktadır [20].

Havalandırma boşluğunun hacmi, döküm parçası hacminin 1/8'i kadar olmalıdır. Kalıplarda yolluk, yolluk girişinin, döküm parçasının ve havalandırma boşluklarının kalıbın boşaltılması esnasında deforme olmamalarına ve kırılmamalarına dikkat edilmelidir. Bununla birlikte yapılacak tasarımı havalandırma boşluklarının tüm döküm boşluğu boyunca uzanıp ikinci bir döküm yolluğu şeklinde uzanmasından kaçınılmalıdır. Şekil 3.16'da tavsiye edilen tasarım uygulamaları görülmektedir. Yolluk girişi, hava boşaltımı ve taşıma boşluğu birbirini etkilemektedir. Bunun dışında taşıma boşluğunun kalıptan rahatça çıkarılması için altına itici pim konulabilir [20].



Şekil 3.16. Havalandırma boşluğu ve hava tahliye kanalı tasarımı [20]

(a) döküm parçası, (b) havalandırma boşluğu, (c) itici pim, (d) çekirdek

3.3.5. Kalıp konstrüksiyonunda dikkat edilecek hususlar

- Kalıp tasarımının izin vermesi durumunda tek bir yolluk girişi yapılmalı, aksi durumlarda yolluk girişlerinden kalıp boşluğuna olan ergimiş metalin birbirine karşılıklı akışı engellenmelidir.

- Ergimiş metalin mümkün olduğu kadar serbest olarak kalıp boşluğu içerisinde akışı sağlanmalıdır.
- Yüzey alanı geniş olan parçalarda yolluk girişinin kalıbın farklı kısımlarının eş zamanda doldurulmasını sağlayacak bir bölgede olması sağlanmalıdır.
- Havalandırma kanallarının ve taşıma boşluklarının yapılacak uygun tasarımıyla kalıp boşluğundan önce doldurulmamasına dikkat edilmelidir.
- Kalıp boşluğunun dolması yolluk kısmının tamamen dolmasından sonra başlamalıdır. Bununla birlikte yolluk girişinin ön kısmında akışın yavaşlaması önlenmektedir.
- İnce yolluk girişleri, ince cidarlı döküm parçaların basınçlı dökümünde yüksek akış hızlarında kullanılmaktadır. Kalın yolluk girişleriyse, düşük enjeksiyon hızlarında kalın cidarlı döküm parçalar için uygundur.
- Boru formunda olan döküm parçaları yuvarlak yolluk üzerinde çok noktadan doldurulabilmektedir.
- Döküm parçasında bulunan federler ergimiş metalin akışını yönlendirmek için kullanılmalıdır.
- Yolluk girişleri tasarım yapılırken ergimiş metalin karşı cidara çarpmadan girişi sağlanmalıdır. Yolluk girişinin kesiti, döküm yolluğunun kesitinden büyük boyutlarda olamamalıdır, aksi takdirde içerisinde hava kabarcıkları bulunan girdapların oluşumuna neden olmaktadır.
- Enjeksiyon hızı çok yüksek değerlere ayarlanmamalıdır, aksi halde laminar akış elde edilemez.
- Yüzey alanı geniş ince cidar kalınlığına sahip çok gözlü döküm parçalarının yolluklandırılması birden fazla yolluk girişi ile gerçekleştirilmelidir. Bu girişler kalıbın merkez kısmında ana yolluk kısmıyla birleştirilmelidir [20].

3.4. Alüminyum Esaslı Alaşımlar

Alüminyum doğada farklı bileşikler halinde bulunmaktadır. Alüminyum üretiminde kullanılan cevher boksittir. Boksit %50 Al_2O_3 , %28 Fe_2O_3 , %7 SiO_2 ve %12-13 H_2O 'dan oluşur. Daha düşük miktarda Al_2O_3 içeren boksit, refrakter malzeme

yapımında kullanılır [21].

Alüminyum alaşımları düşük yoğunlukları, yüksek ısı ve elektrik iletkenlikleri, bazı ortamlarda korozyon özelliklerinin iyi olması yanında, kolay eritilebilen ve döküm özellikleri de iyi olan malzemelerdir. Katılaşma sırasında kendini çekme saf alüminyumda yaklaşık % 4 iken, alaşımlarda % 0,6-0,7 civarlarına inebilir [17].

Alüminyumun bir basınçlı döküm alaşımı olarak kullanılmasını sağlayan başlıca özellik hafifliğidir. Basınçlı dökümde önemli olan diğer özellikleri şunlardır:

- Yüzey parlaklığının uzun süre bozulmaması
- Mükemmel korozyon direnci
- Boyutsal kararlılık
- Normalaltı sıcaklıklarda özelliklerin bozulmaması
- Isı ve elektrik iletkenliklerinin yüksek olması

Bir malzemenin parlatma kabul etmesi ve parlaklığını uzun süre koruması çok önemlidir. Ev araçlarında bu özellikten yararlanarak çok estetik ve çok ucuz parçalar yapılır. % 4-10 magnezyumlu alüminyum alaşımları daha beyaz ve parlak olabildiklerinden diğer alüminyum alaşımlarına göre açık bir üstünlükleri vardır.

Alüminyum alaşımlarının dökülmüş haldeki korozyon dirençleri mükemmeldir. Koroziif ortamlara karşı direnci arttırmak için anotlaştırma tekniğine başvurulur ve böylece tuzlu atmosferlere karşı bile korozyon direnci sağlanabilir. Burada da alüminyum-magnezyum alaşımları estetik yönden diğer alaşımlardan üstündürler.

Alüminyum alaşımlarının dinlendirme işleminde boyutsal kararlılıkları çok yüksektir. Fakat 0,0025 inç mertebesinde küçük toleransların tutulabilmesi için döküm parça atölye işlemlerinden geçirilmeden önce tavlmalıdır. Bu ısıl işlem, alaşımın hızlı soğutulması sırasında meydana gelen bütün kalıcı gerilmeleri alır. Tam bir kararlılık sağlamak için 200 °C ‘de bir saat tavlama genellikle yeterlidir.

Alüminyumun başka bir üstünlüğü de çekilebilirlik özelliği zayıflamaksızın çok düşük sıcaklıklara dayanabilmesidir. Bu nedenle -50 °C'nin yer aldığı soğutma makineleri, uçak endüstrisi ve benzer alanlarda çok kullanılır.

Bakır ve bazı değerli metallere sonra elektrik iletkenliği en yüksek olan metal alüminyumdur [12].

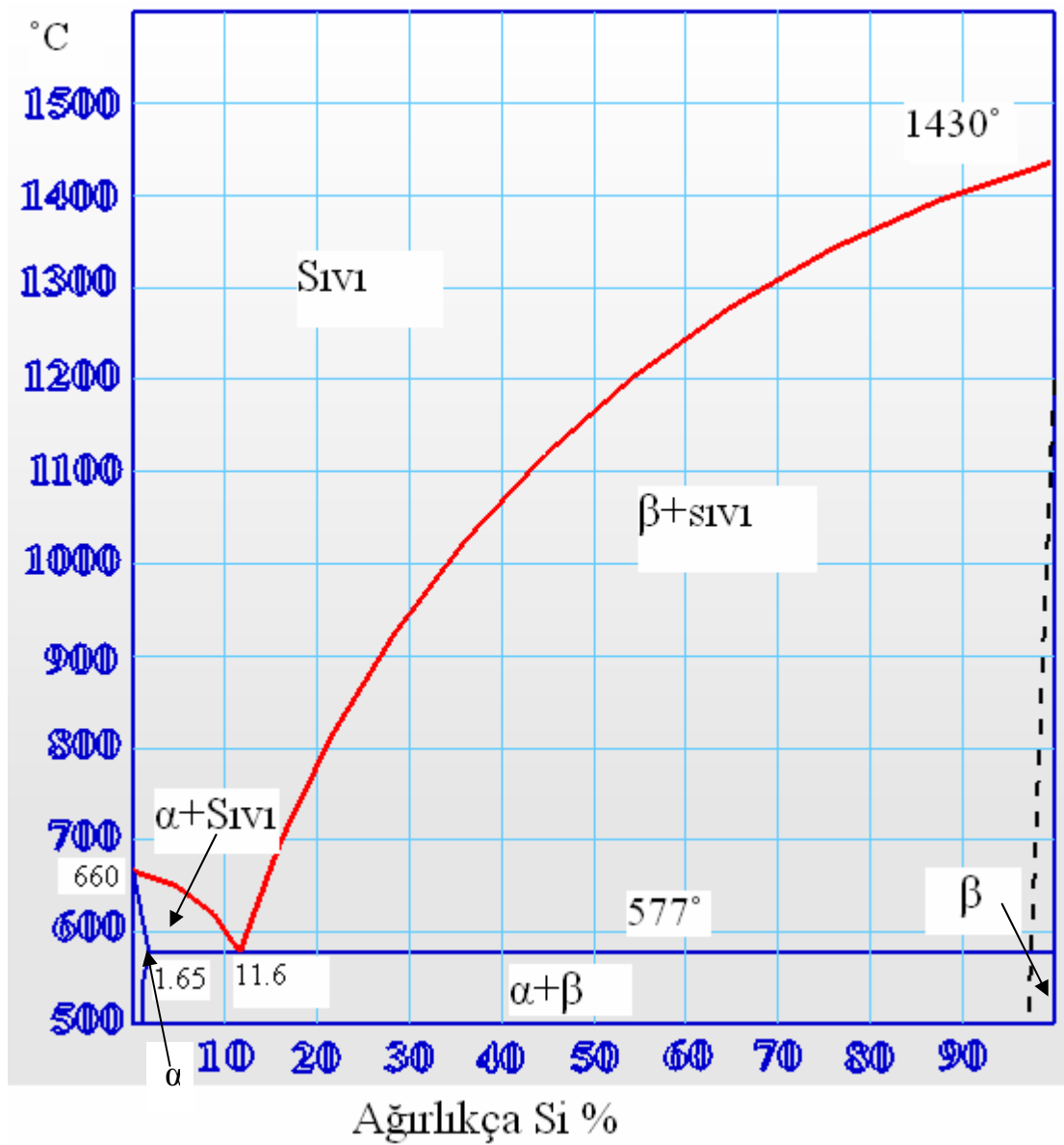
Alüminyum alaşımlarına çeşitli elementlerin etkileri şöyle açıklanabilir:

Demir: Bazı şartnamelerde özellikle ASTM de % 2 demir gösterilmektedir. Bu yüksek demir yüzdesi daha çok deveboynu tipi döküm makineleri için belirtilir. Bu makinelerde alaşımın demir kapması kolay kontrol edilemez. Fakat deveboynu makinelerin yerini almış olan soğuk kamara tipi makinelerde % 2 demir ne istenir ne de zorunludur. % 2 mertebesinde demir özellikle yüksek silisyum yüzdelinde gevreklik yapar, şok direncini düşürür, malzemenin işlenebilme özelliğini zayıflatır. Öte yandan % 1 in altında demirli alaşım kalıp iç yüzeylerine yapıştığından döküm güçlükleri çıkabilir. Soğuk kamara tipi makinelerde en iyi sonuçları veren optimum demir miktarı % 1,0-1,3'tür [12].

Çinko: Çinkonun alüminyum alaşımları üzerindeki başlıca etkisi dökümlerde çatlamlar yapmasıdır. Çinko bazı alüminyum alaşımlarında istenmeyen yabancı madde olarak bulunur ve ancak nadiren bir alaşım elemanı olarak kullanılır. Alüminyum basınçlı döküm alaşımlarının çoğunda çinko % 1'in altında tutulmalıdır. Artan çinko miktarlarında alaşımın akıcılığı artmakla beraber yüksek sıcaklık dayanımı azalır, soğuma esnasında çekme yükselir ve alaşımın dökülmesinin olumsuz yönde etkiler [12].

Bakır: Alüminyum alaşımındaki bakır miktarı arttıkça alaşımın akıcılığı, çekme dayanımı ve sertliği artar fakat korozyon direnci ve çekilebilirliği azalır. Geçmişte basınçlı döküm için % 10 kadar bakırlı ikili bakır-alüminyum alaşımları kullanılmış ise de bunların yerini % 4 bakır ve % 5-9 silisyumlu bakır – silisyum alaşımları veya düz silisyum- alüminyum alaşımları almıştır. Bakır- silisyum alaşımlarının dövülme özellikleri çok yüksektir [12].

Silisyum : Alüminyum esaslı basınçlı döküm alaşımlarının en önemli elemanlarından biri silisyumdur. % 12'ye kadar silisyum alaşımın akıcılığını ve yüksek sıcaklık dayanımını artırır. İkili silisyum-alüminyum alaşımlarının korozyon dirençleri, ısı ve elektrik iletkenlikleri yüksek, genleşmeleri ve özgül ağırlıkları düşüktür. Atölye işlem karakteristikleri bakır- silisyum ve ikili magnezyum alaşımlarından zayıf olmakla beraber diğer üstünlükleri yanında bu zayıflık önemsiz sayılmaktadır. Bu nedenle silisyumsuz alüminyum alaşımlarına genellikle az miktarda silisyum katılır [12]. Şekil 3.17'de alüminyum-silisyum faz diyagramı görülmektedir.



Şekil 3.17. Al-Si faz diyagramı [12]

Silisyum alüminyumda çok az erir, 550 °C’de % 1,3 oranında, 205 °C’de ise % 0,05 oranında eriyiğe girer. % 11,6 silisyumlu alaşım 578 °C’de ötektik halinde katılaşır. Normal ötektiğin bileşimi budur. Alaşım değiştirildiğinde ötektik sağa kayar [12].

Magnezyum: İkili alüminyum magnezyum alaşımlarından yapılan basınçlı dökümlerin fiziksel özellikleri oldukça yüksektir. % 8’e kadar magnezyumlu alüminyum alaşımlarının korozyon dirençleri yüksek ve anodik oksit kaplanma özellikleri iyidir. Magnezyum alaşımları alüminyumdan daha hafiftir; alüminyum alaşımları içinde atölye işlemleri en kolay alaşımdır. Fakat döküm özellikleri oldukça zayıftır; soğuma esnasında çekmeleri yüksek olduğundan karmaşık profilli parçaların dökülmesi güçtür [12].

Kalay: alüminyum alaşımlarında kalay, yüksek ve düşük sıcaklıklarda dayanımı düşürür. Alaşım içindeki miktarı %0,5-1,0 arasında ise gevrekliği artırır ve alüminyuma katodik olduğundan korozyon direncini olumsuz yönde etkiler [12].

Kurşun ve Bizmut: Bu elemanlar alüminyum basınçlı döküm alaşımlarında pek görülmemekle beraber bakır-alüminyum tipi serbest kesme alaşımlarında bulunurlar. İkisi de alüminyuma katodik olduklarından alüminyum alaşımlarının korozyon dirençlerini düşürürler [12].

Çizelge 3.1’de çeşitli alüminyum alaşımlarının kimyasal kompozisyonları, Çizelge 3.2’de ise mekanik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.1. Alüminyum alaşımlarının kimyasal kompozisyonu [14]

Metal	ALAŞIMLAR					
	A 43	A 13	A 85	A 380	A 360	A 218
Bakır	<0,6	<0,6	3-4	3-4	<0,6	<0,2
Silisyum	4,5-6	11-13	4,5-5,5	7,5-9,5	9-10	<0,5
Demir	<2,0	<1,3	<1,3	<1,3	<1,3	<1,8
Magnezyum	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,4-0,6	7,5-8,5
Manganez	< 0,3	< 0,3	< 0,5	< 0,5	< 0,3	< 0,3
Çinko	< 0,5	< 0,5	< 0,6	< 0,6	< 0,5	< 0,1
Nikel	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,1
Kalay	< 0,1	< 0,1	< 0,3	< 0,3	< 0,1	< 0,1
Diğer	< 0,2	< 0,2	< 0,5	< 0,5	< 0,2	< 0,1
Alüminyum	Kalan	Kalan	Kalan	Kalan	Kalan	Kalan

Çizelge 3.2. Alüminyum alaşımlarının tipik özellikleri [14]

ÖZELLİKLER	ALAŞIMLAR					
	A 43	A 13	A 85	A 380	A 360	A 218
Gerilme mukavemeti (kPa)	206,84	268,89	275,78	317,15	282,68	310,26
Akma mukavemeti (kPa)	110,31	144,78	165,47	172,36	158,57	186,15
Darbe mukavemeti (J)	5,42	2,71	4,06	4,06	6,78	9,50
Kopma mukavemeti (kPa)	151,68	172,36	158,57	199,94	193,05	206,84
Ergime sıcaklığı (°C)	621	573,88	615,55	585	593,33	615,55
Elektrik iletkenliği (%)	41	37	28	27	37	25
Dayanma limiti (kPa)	117,21	131,00	151,68	131,00	124,10	158,57
Sertliği (BHN)	50	80	75	80	75	80
Termal iletkenlik	0,38	0,37	0,29	0,29	0,36	0,25
Yoğunluk (g/cm ³)	2,70	2,66	2,77	2,76	2,68	2,55
Ağırlık (lb)	0,044	0,043	0,045	0,045	0,044	0,042
Yüzde uzama (%)	5,0	2,0	3,5	3,0	5,0	8,0

4. KOMPOZİT MALZEMELER

4.1. Kompozit Malzemelerin Tanımı

Kompozit malzeme, iki ya da daha fazla sayıdaki aynı veya farklı gruptaki malzemelerin en iyi özelliklerini, yeni ve tek bir malzemede toplamak amacıyla, makro düzeyde birleştirilmesiyle oluşturulan malzemeler olarak adlandırılırlar. Pek çok türü mevcut olup; bunlara karbon elyafı plastikler, otomobil lastikleri, seramikler, çelik takviyeli beton, cam takviyeli plastik ve bor takviyeli alüminyumlar örnek olarak gösterilebilir. Genel olarak bir kompozit malzeme; düşük elastikiyet modülü ve dayanıma sahip reçine veya metalik matris ana fazıyla, uygun bir teknikle bu ana fazın içinde dağılmış daha az oranda kullanılan takviye elemanı fazlarından oluşmaktadır. Ancak, moleküler ve atomik düzeyde birleştirilen malzemeler (alaşımlar) mikroskobik olarak homojen olduklarından kompozit malzeme olarak sınıflandırılmazlar. Örneğin; çelikteki krom ve vanadyum bir karışım oluşturur; bir kompozit değildir, çünkü yapı mikroskobik olarak homojendir. Fakat sert metal uçlu takımlarda, yumuşak kobalt metal matris içine sert karbürlerin yerleştirilmesi, parçacıklı bir kompoziti oluşturur [2].

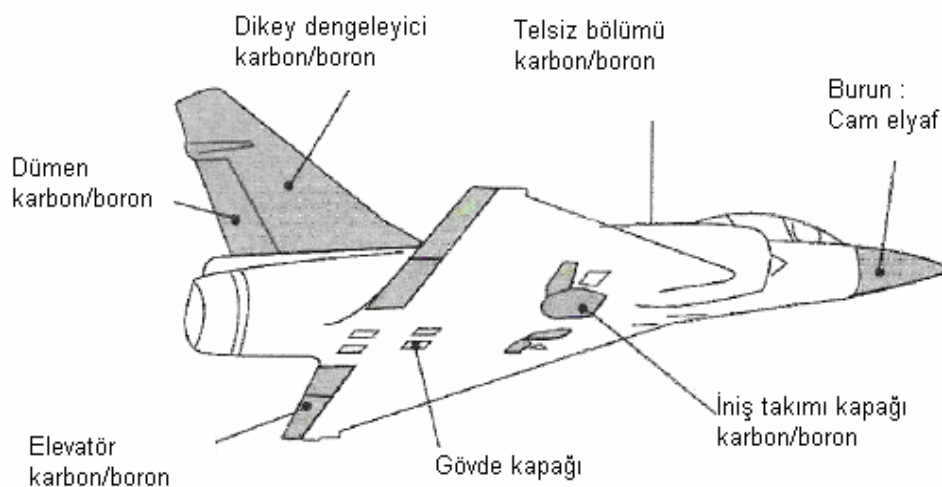
Bir kompozit malzemenin bünyesinde çekirdek olarak adlandırılan takviye elemanı ve bunun etrafını çevreleyen matris malzemesi bulunmaktadır. Takviye elemanı olarak değişik morfolojiye sahip kısa ve uzun elyaflar, kısa lifler, kırılmış veya parçacıklı seramikler kullanılmaktadır. Bunların temel fonksiyonu gelen yükü taşımak ve matrisin rijitlik ve dayanımını artırmaktır. Matrisin fonksiyonu ise elyaflara yük ve gerilim transferi sağlayabilmek için elyaf-matris çiftini bir arada tutmak yanında, çoğu takviye elemanları çok gevrek ve kırılgan olduğundan onların yüzeylerini dış ve çevresel etkilere karşı korumaktır. Ayrıca plastiklik ve süneklik üstünlüğü ile elyaflar da kırılgan çatlakların yayılmasını önlemektedirler. Plastik deformasyonlar ve çatlaklar varsa, elyaflara paralel olarak yönlerini değiştirir. Yeni gelişen bir malzemenin, kompozit olarak adlandırabilmesi için; insan yapısı olması, en az iki veya daha fazla fiziksel ve mekaniksel özelliği aynı olan malzemenin birleştirilmesi ve bunların farklı ara yüze sahip olmaları, Herhangi bir ferdi bileşenle

elde edilemeyen mekanik özelliklerin gerçekleştirilmesi, Optimum özellikler elde etmek için bir malzemenin diğer malzeme içine kontrollü şekilde dağıtılmasıyla iki ayrı malzeme karıştırılarak kompozit (karma) bir malzeme oluşturulması, Özelliklerinin mükemmel olup, kompoziti oluşturan elemanların en iyi özelliklerinin bir arada toplanması, kriterlerini taşıması gereklidir [2].

4.2. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları

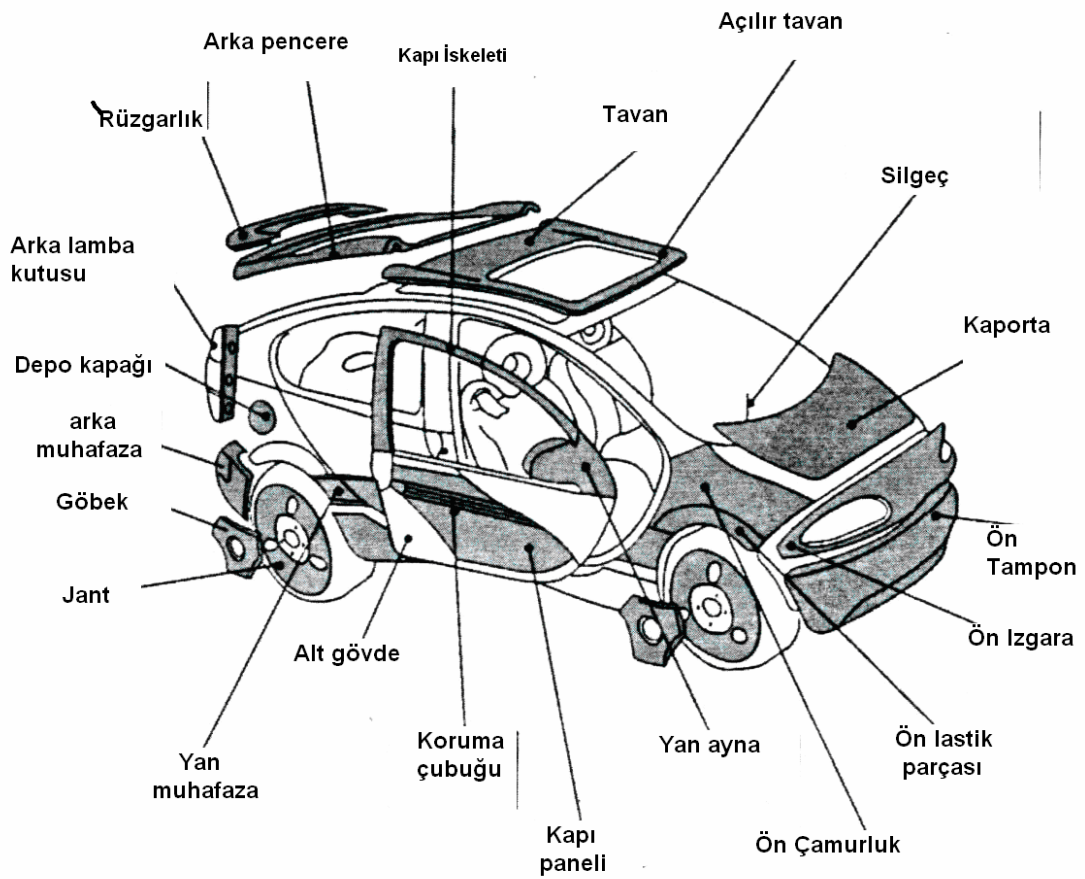
Kompozit malzeme kavramının ortaya atılması ve konunun bir mühendislik uygulaması olarak ele alınması 1940'lı yılların başında gerçekleşse de, bu çok bileşenli malzemelerin ilk örnekleri aynı zamanda en geniş kullanım alanlarından biri olan inşaat sektöründe asırlardır kullanılmaktadır.

Uzay ve Havacılık Sanayi: Özellikle uzay araçlarında ve hatta yolcu uçaklarında gövdenin %80'e varan oranlarda kompozit malzemelerden imali söz konusudur. İç dekorasyon ve elektronik aksamalarda da kullanımı çok yaygındır. Ayrıca, kompozit malzemeler, yüksek özgül mukavemete sahip olduklarından havacılık sanayinin ihtiyaç duyduğu, daha hafif malzemeye ağır atmosfer şartlarına dayanım ve yüksek mukavemet sağlanmaktadır. Şekil 4.1'de Mirage savaş uçağında kullanılan parçalar gösterilmiştir.



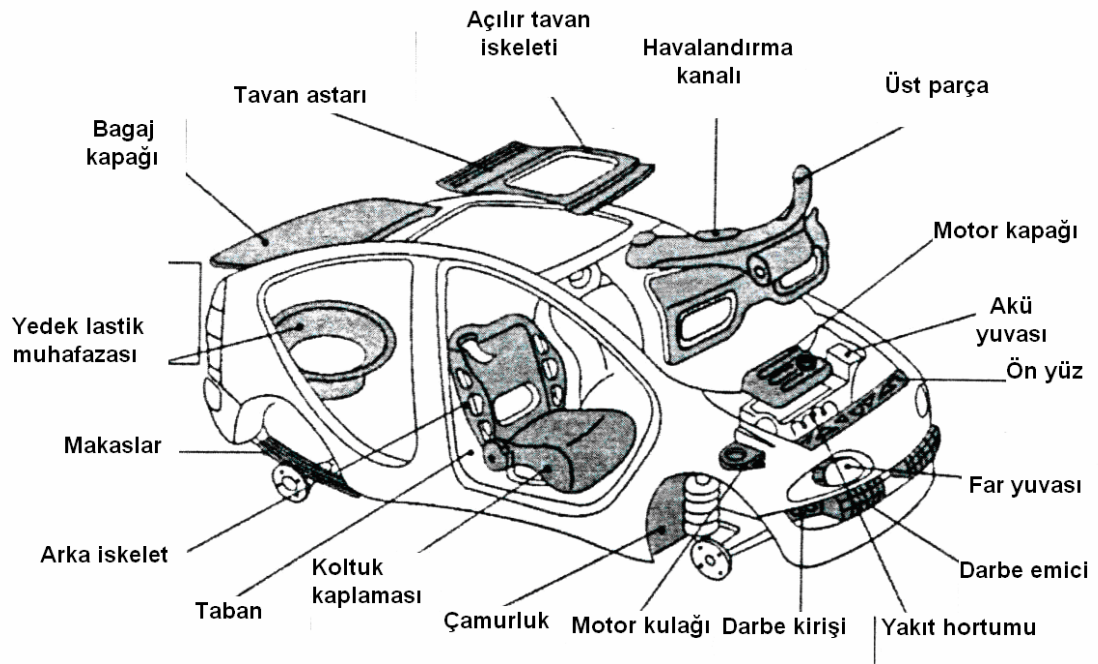
Şekil 4.1. Mirage savaş uçağı [1]

Otomotiv Sanayi: Teknolojinin gelişimiyle kompozitlerin otomotiv sanayindeki kullanımı zamanla artmıştır. Otomobillerde kompozit malzemeler çeşitli parçalarda kullanılmaktadır. Kaporta, kapılar, amortisörler, yaylar, tamponlar, motor kapağı; özellikle dizel motorlarda motor bloğu, silindir kapağı, pistonlar, karteri, distribütör kapağı; aksesuarlarda farlar, yan paneller, merkez konsol, üst cam, koltuk parçaları, daha fazla kullanım alanı bulmaktadır. Şekil 4.2’de bir araçta kullanılan kompozit parçalar gösterilmektedir [23].



Şekil 4.2. Otomobilde kullanılan kompozit parçalar [23]

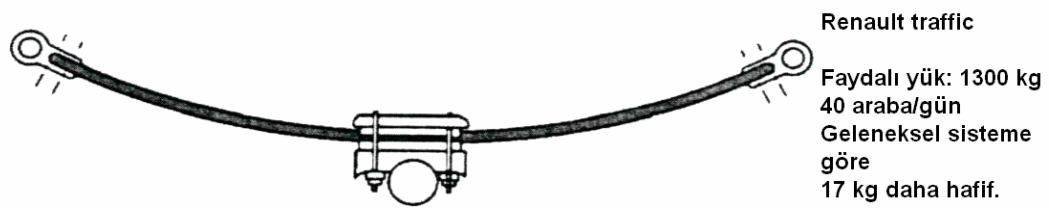
(a) otomobilin dış aksamalarında kullanılan kompozit parçalar



Şekil 4.2 Otomobilde kullanılan kompozit parçalar [23]

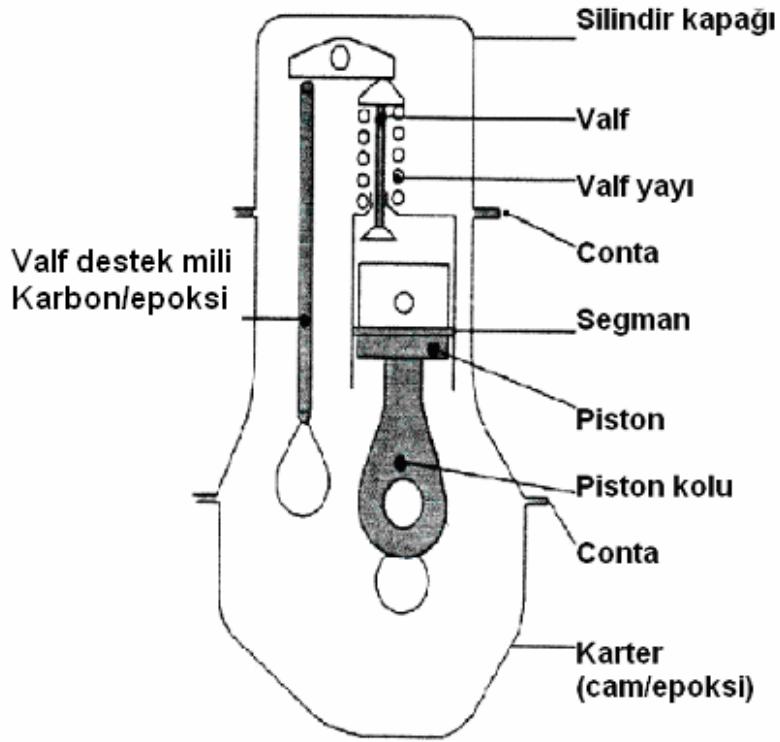
(b) otomobilin iç kısımlarında kullanılan kompozit parçalar

Şekil 4.3'te otomobilin taşıyıcı sisteminde kullanılan kompozit parça örneği verilmiştir.



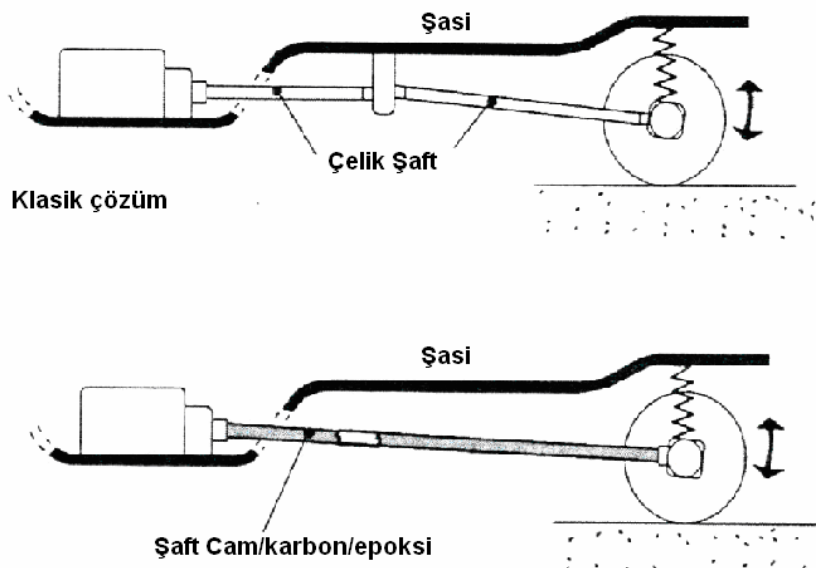
Şekil 4.3. Kompozit yaprak yay [23]

Şekil 4.4'te otomobil motorunda kullanılan kompozit parçalar gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Otomobil motorunda kullanılan kompozit parçalar [23].

Şekil 4.5'te otomobilin aktarma organlarında kullanılan kompozit parçalar gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Kompozit şaft ve çelik şaft [23].

Çelik şaft ile kompozit şaft karşılaştırılması;

- %30 - %60 ağırlık avantajı
- Mekanik titreşimlerde azalma
- Akustik titreşim seviyesinde azalma
- Kimyasal etmenlere karşı dayanıklılık
- Çok iyi yorulma dayanımı [23].

İş Makineleri: Kompozit malzemelerin iş makinelerinin koruma kapakları ve çalışma kabinlerinde kullanılmaları, üretimde kullanılan parça sayısını azaltarak, üretim maliyetlerinde tasarruf sağlar.

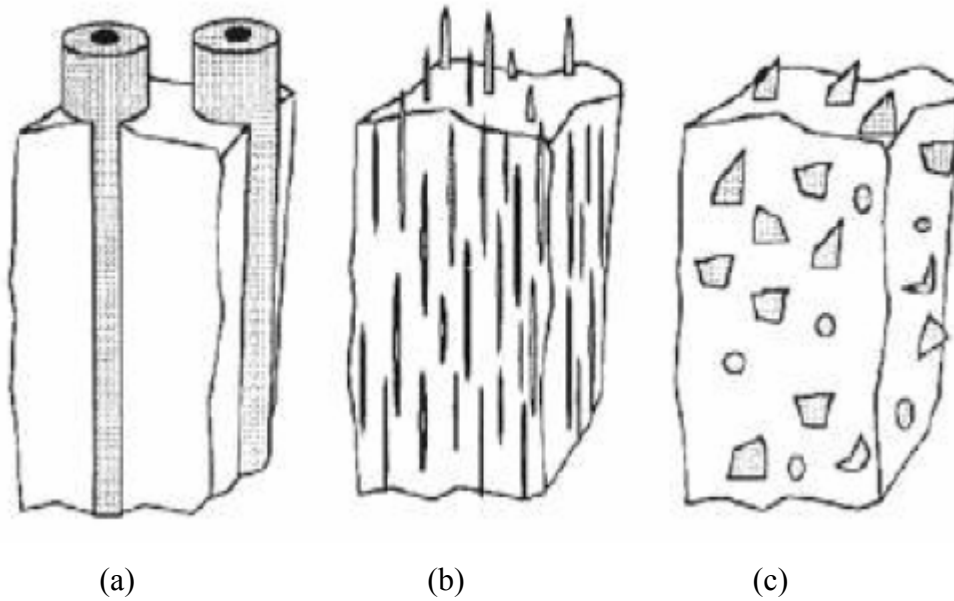
Elektrik ve Elektronik Sanayi: Kompozitler, elektronik, elektroteknik ve elektrik sanayinde amaca uygun özellikleri ve taşıdığı üstün nitelikler nedeniyle (izolasyon gibi) her türlü malzemenin yapımında, üretim malzemesi olarak kullanılırlar.

İnşaat Sektörü: Daha önce belirtildiği gibi inşaat sektörü, kompozit malzemelerin en eski kullanım alanıdır. Cephe koruma elemanları, soğuk hava depoları, inşaat kalıpları birer kompozit malzeme uygulamalarıdır. Özellikle izolasyon ürünlerinde bu malzemeler tercih edilir [1].

4.3. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

4.3.1. Takviye malzemesine göre sınıflandırma

Kullanılan takviye malzemesinin türüne göre kompozitler; fiber (elyaf), kısa lifli kompozitler ve parçacık takviyeli kompozitler olarak Şekil 4.6'daki gibi sınıflandırılabilir [1].



Şekil 4.6. Kompozitlerin takviye malzemesine göre sınıflandırılması [1]

(a) Fiber, (b) Kısa lif (whiskers), (c) Parçacık

Fiber takviyeli kompozit malzemeler

Eğer takviye malzemesi olarak fiber kullanılıyorsa malzeme fiber takviyeli kompozit olarak adlandırılır. Fiberler sürekli ve süreksiz formda olmak üzere kendi içlerinde ikiye ayrılırlar. İstenilen açılarda yönlendirilerek veya kısa lif şeklinde matris içine yerleştirilirler. Fiberlerin matris içindeki dağılım yönleri, parçaların belirli yönlerde anizotrop veya izotrop olmasına neden olur. Malzeme üreticileri fiberlerin matris içinde örülmesi sırasında;

- Bileşimin yapısını
- Bileşimin oranını
- Fiberlerin yönlerini,

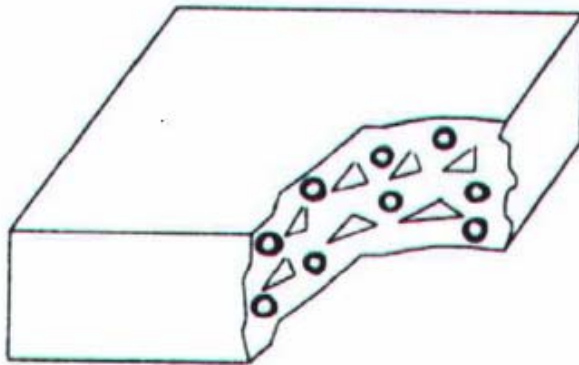
değiştirerek istenilen özelliklere göre malzemelerin mekanik ve fiziksel davranışlarını da değiştirebilirler.

Fiber takviyeli kompozit malzemeler üst üste konarak tabakalar halinde de üretilebilirler. Farklı yönlerdeki fiberler sayesinde gelişmiş fiziksel ve mekanik özelliklere sahip tabakalı kompozit malzemeler elde etmek mümkündür [1].

Parçacık takviyeli kompozit malzemeler

Bu tip kompozitler tek veya iki boyutlu mikroskobik parçacıkların veya sıfır boyutlu olarak kabul edilen mikroskobik parçacıkların matris ile oluşturdukları malzemelerdir (Şekil 4.7). Pratikte en çok kullanılan parçacıklar Al_2O_3 ve SiC ’ den oluşan seramiklerdir. Seramik parçacık takviyeli metal matrisli kompozit malzemeler, üstün özel mukavemet ve özel modül, aşınma dayanımı ile yüksek sıcaklık mukavemetine sahiptir [2].

Güçlendirilmiş parçacık hacmi, döküm yoluyla üretilen kompozitlerde pratikte karşılaşılan zorluklardan biri parçacık eklendiğinde tozların karıştırılma zorluğu ve eriyik viskozitesinin düşmesidir. Bazen de eriyiğin seramik parçacıkları ıslatmadığı görülmektedir. Islanabilirliğin gerçekleşebilmesi için katı yüzey enerjisinin artırılması, ergimiş metal yüzey geriliminin azaltılması ve katı-sıvı ara yüzey enerjisinin azaltılması gibi tedbirler alınmaktadır. Örneğin, parçacık yüzeyinin kaplanması ve ısıtılma işlemi, matris sıvı geriliminin azaltılması için bileşimin ayarlanması gibi yöntemler de uygulanmaktadır. Alüminyum alaşımlarında ıslatmayı iyileştirmek için yaygın olarak kullanılan alaşım elementi magnezyum dur [2].



Şekil 4.7. Parçacık takviyeli metal matrisli kompozitin şematik yapısı [2]

Kompozitin dayanımı; parçacıkların büyüklüğüne, parçacıklar arası mesafeye ve matrisin özelliğine bağlıdır. Parçacıklar yapı içerisinde homojen dağıldığında genellikle parçacık hacminin artışı ile kompozitin dayanımı ve aşınma direnci de doğru orantılı olarak artar. Fakat artan takviye oranı ile gözenek sayısında artma gözlenir. Parçacık takviyeli kompozitin diğer kompozitlerden farkı, döküm yolu ile imal edildiğinden, artan takviye elemanı ilavesi ile birlikte yapı içerisinde gözenek vb. hataların, ikincil bir işlem olan haddeleme veya basınçlı döküm ile giderilebilmektedir. Yani, parçacık takviyeli MMK üretimi yapıldıktan sonra, ikincil bir işlem yapılabilir. Bunun kompozit açısından önemi çok büyüktür. Çünkü ara reaksiyon esnasında oluşan bu boşluklar kompozitin dayanımını düşürmektedir. Genellikle döküm yöntemi ile üretilmiş bir kompozitin sünekliği ve dayanımı, toz metalurjisi yöntemi ile üretilmiş kompozitten daha düşüktür. Bunun nedeni takviye elemanlarının matris içerisinde homojen dağılmaması ve tane büyüklüğünün etkisidir. Parçacık takviyeli kompozitler ise izotropik özellik gösterdiğinden homojen dağılımı istenilene çok yakındır [2].

Seramiklerle metal tozlarının karışımıyla elde edilen kompozit malzemeye sermet adı da verilir. Seramikler genel olarak yüksek sıcaklık dirençleri, yüksek ergime sıcaklıkları, ısı kararlılıkları ve elastik davranışları ile karakterize edilirken, metaller ise genellikle sünek malzemelerdir. Sermetler bu iki malzemenin özelliklerinin faydalı taraflarının bir araya getirilmesiyle oluşur. Matris içerisinde ergimiş metal karıştırma yöntemi ile üretimde seramik parçacıklarının hacmi maksimum % 30 kadardır. Bu oran infiltrasyon yöntemiyle %50'lere kadar yükseltilebilmektedir [2].

Sermetler, oksit ve karbür esaslı olabilirler. Oksit esaslı sermetler yüksek ısı ve oksidasyon direnci, bunların yanında düşük sürtünme katsayılarına sahiptir. Bu nedenlerle oksit esaslı sermetler işlenmesi zor olan malzemelerin yüksek hızda kesilmesinde kullanılan takım malzemelerinde büyük ölçüde kullanılır. Isıl dirençleri ve yüksek aşınma dayanımları yüksek ısı iletkenliklerinden dolayı termokupıl tüplerinde, aşınma dirençleri ve düşük sürtünme katsayıları nedeniyle de mekaniksel salmastra yapımında kullanılırlar. Karbür esaslı sermetler metalik matris ile karbürün

bileşiminden oluşur. Karbürler çok sert, gevrek, aşınmaya karşı yüksek direnç gösteren tokluk özelliğini artıran ve ergime sıcaklıkları yüksek malzemelerdir. Yüksek kesme hızlarında kullanılan takım uçlarının yanı sıra madencilikte kazı ve sondaj aletlerinde ve askeri zırh malzemelerinin yapımında kullanılır [2].

Wolfram karbür, krom karbür, titanyum karbür ve bor karbür en fazla kullanılan karbür türlerindendir. Bağlayıcı olarak kobalt ve alaşımları kullanılır. Mekaniksel özellikleri bağlayıcının bileşim ve hacim oranına bağlı olarak değişir ve matrisin hacim oranı yaklaşık % 35 kadardır [2].

4.3.2. Matris malzemesine göre sınıflandırma

Kompoziti oluşturan diğer önemli eleman matristir. Matris kompozitin birçok özelliğini üstünde taşır. Kompoziti oluşturan, en önemli eleman olan matrisin takviye elemanlarını bir arada tutmanın dışında daha birçok kritik görevleri de vardır. Birçok takviye elemanı gevrek veya kırılırlar. Matris bunların yüzeylerini kazıma aşınması vb. gibi dış ve çevresel etkenlere (bu etkenler ileride çatlaklara sebep olmaktadır) karşı koruyup dirençlerini artırmakta, kompozit üzerine gelen yükü fiberlere homojen olarak dağıtmakta ve kompozit içindeki hata ihtimalini azaltmaktadır [4].

Metal matrisli kompozitler

Kompoziti sürekli faz olarak bir arada tutan ve bu bütünlük içinde lifle birlikte malzemenin özelliklerini belirleyen matris malzemesi olarak metaller, taşıyıcılık açısından, özellikle polimer matris malzemesine kıyasla yüksek dayanıma sahiptirler [23].

Metallerin matris malzemesi olarak kullanılması, yine metal olan çok ince liflerin üretimiyle başlamıştır. Daha önce üretilen cam lifi, polimerlerin donatılmasında başarıyla kullanılsa da, akışkanlık özelliği nedeniyle yükselen sıcaklıklarda

taşıyıcılığını kaybetmektedir. Bu nedenle, çok ince Al_2O_3 lifler üretilinceye kadar, metal matrisli kompozit üretimine gidilmemiştir [23].

Kompozit üretiminde metal matris malzemesi olarak, bakır, alüminyum, titan, nikel, gümüş gibi metaller başta gelmektedir. Matris malzemesi ergimiş halde, moleküler yapıda, levha veya ince tabaka şeklinde olabilmekte ve kullanılan üretim teknolojisine bağlı olarak dökme, karıştırma, presleme, elektroliz yoluyla kaplama, haddeleme yöntemiyle liflerle birleştirilmektedir. Bu birleştirme ve kompoziti oluşturma işleminde en önemli nokta, donatmada kullanılacak olan yüksek dayanımlı lif, tel ve kısa liflerin zedelenmemesi, tahrip olmaması, dolayısıyla özelliklerinin bozulmamasının sağlanmasıdır [23].

Hafif metaller, için uygun matris malzemeleridir. Ancak metal matrisli kompozit üretimi daha zordur. Bunlar her elyafı iyi arayüzey bağı oluşturmazlar. Silisyum karbürle kaplanan bor elyaf, metallerle en kolay bağ oluşturabilen malzeme olmasına rağmen pahalıdır. MMK'lerde çok yaygın olarak kullanılan matris malzemesi düşük yoğunluklu, iyi tokluk ve mekanik özelliklere sahip olan hafif metaller ve alaşımlarıdır. Bu hafif metal alaşımları dayanım ve özgül ağırlık oranlarının iyi olması nedeniyle hafif yapı konstrüksiyonlarda tercih edilirler. Atmosfere karşı korozyon dayanımının da çok yüksek olması diğer karakteristik özelliklerinden biridir. Genellikle Al, Ti, Mg, Ni, Cu ve Zn matris malzemesi olarak kullanılmakla birlikte bunlardan en yaygın kullanılanlar Al ve alaşımları, Ti ve Mg'dur [5].

Düşük yoğunlukları, oldukça yüksek termal iletkenlikleri alüminyum ve magnezyum alaşımlarını en yaygın kullanılan matrisler yapmıştır. Alaşım ilavesi açısından yapılan birkaç araştırma, düşük alaşım ilavesinin MMK de oldukça yüksek dayanım, süneklik ve tokluk kombinasyonu ile sonuçlandığını göstermiştir. Alaşımlar içerisinde yaygın olarak az miktarda bulunan Mn, Cr, vb. gibi alaşım elementleri süreksiz takviyeli MMK malzemelerde gereksizdir. Bunun sebebi, bu alaşımların birleşme ve sonraki işlemler esnasında kaba intermetalik birleşmeler oluşturabilme ihtimalleri ve böylece kompozitin çekme sünekliğini azaltmalarıdır [5].

Çizelge 4.1’de metal matrisli kompozit malzemelerde kullanılan bazı metal ve metal alaşımlarının mekanik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4.1. MMK malzemelerde matris malzemesi olarak en çok kullanılan bazı metal ve alaşımların mekanik özellikleri [5]

Matris Malzemesi	Elastiklik Modülü (GPa)	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Kırılma Tokluğu (MPa m^{1/2})
Saf (sünek) Al	70	40	200	100
Saf (Sünek) Cu	120	60	400	-
Saf (sünek) Ni	210	70	400	350
Ti-6Al-4V	110	900	1000	120
Alüminyum alaşımları	70	100-380	250-480	23-40
Karbon Çelik	210	250	250	140
Paslanmaz Çelik	195	240	240	200

Alüminyum, MMK’ler için en yaygın kullanılan metaldir. Alüminyum alaşımları düşük yoğunlukları, çökelme ile mukavimleştirme kabiliyetleri, iyi korozyon direnci, yüksek ısı ve elektriksel iletkenlikleri ile yüksek ısılanma kabiliyetlerinden dolayı oldukça cazip malzemelerdir. Özellikle 2000, 5000, 6000 ve 7000 serisi alüminyum alaşımları MMK üretiminde kullanılan en yaygın malzemelerdir. Alüminyum matrisli kompozitler 1920’lerden bu yana geniş bir şekilde çalışılmış ve günümüzde spor malzemeleri, uzay uygulamaları, zırh ve otomotiv endüstrisi gibi alanlarda kullanım alanı bulmuştur. Bu kompozitler, alüminyum matrisin kimyasal bileşiminden kaynaklanan mekanik özellikleri ile büyük bir avantaja sahiptir. Alüminyum matrisli kompozitler genellikle Si, Al₂O₃, C, SiO₂, B, BN, B₄C, AlN ile takviye edilirler [5].

Polimer matrisli kompozitler

Liflerle donatılı kompozitlerde en çok kullanılan matris malzemesi polimerlerdir. Bu malzemeye günlük dilde plastiklerde denilmektedir.

Malzeme olarak polimerler içyapılarına göre, termoplastikler ve termoset plastikler olmak üzere iki temel gruba ayrılmaktadır. Liflerle donatılı kompozitlerin üretiminde matris malzemesi olarak her iki gruba giren malzemede kullanılmaktadır. Polimer matrisli kompozitlerde matris malzemesi termoset yada termoplastik olursa diğer kompozitlere (karbon, seramik, metal matris) göre imali daha kolaydır [24].

Bu kolaylık, diğer matrislere göre polimer – matris kompozitlerinin imal edilmesi gerekli olan düşük işlem sıcaklıklarından kaynaklanmaktadır. Epoksi, fenolik ve reçine gibi termosetler için, işlem sıcaklığı oda sıcaklığından 200°C civarına tipik olarak erişmektedir; polyamid (PI), polietersülfon (PES), polietereeterketon (PEEK), polietirimid (PEI) ve polifenil sülfid (PPS) gibi termoplastikler için, işlem sıcaklığı 300°C'den 400°C'ye ulaşmaktadır [24].

Termoplastikler, düz veya dallı zincirlerden yapılmış maddelerdir. Zayıf, bir yapıya sahip olup, Van der Waals bağlarıyla bağlanarak oluşmuşlardır. Yanal bağların zayıflığı nedeniyle, bu gruba giren malzemeler yükselen sıcaklıklar karşısında yumuşamaktadır. Sıcaklık azalınca malzemede yeniden sertleşme görülür. Sıcaklık etkisine bağlı yumuşama, sertleşme özelliği, malzemenin yapısının buharlaşmayla bozulmadığı sürece devam etmektedir.

Termosetler, monomer moleküllerin kimyasal reaksiyonlar sonucunda yanal bağlarla birbirlerine bağlanmasıyla meydana gelen malzemelerdir. Kovalan bağlarla, üç boyutlu olarak bağlanmış oldukları için rijit bir yapıya sahiptirler. Üretimleri sırasında gerçekleşen polimerizasyon reaksiyonu geriye dönüşlü olmadığından, termoset grubundaki maddelerin tekrar ısıtılarak yumuşatılmaları ve şekillendirilmeleri mümkün değildir [23].

Seramik matrisli kompozitler

Seramik matrisli kompozit malzemeler temel özellikleri gereği yüksek sıcaklığa karşı dayanıklıdır. Ayrıca artan sıcaklıkla, oksidasyona ve dış ortamın olumsuz etkilerine

karşı değişim gösterirler. Fakat kırılma toklukları düşüktür. Özellikle metal malzemelerle karşılaştırıldığında gevrek yapıları dolayısıyla çok düşük kırılma tokluk değerlerine (1 – 5 MPa) sahiptirler.

Bu malzemeler ısıya dayanıklı olduklarından, özellikle otomobil motorlarında ve uçakların gaz türbinlerinde sıkça kullanılır. Kırılma tokluklarının düşük olması, kompozitin matris malzemesinden kırılmasına yol açabilir. Günümüzde yeni nesil SMK uygulamalarıyla bu değerler 5 – 20 MPa düzeylerine çıkarılabilmektedir ve çatlamayı önleyici çeşitli işlemler ile ZrO_2 (zirkonyum oksit) gibi takviyeler yapılmaktadır [1].

4.4. Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri

Metal matrisli kompozitlerin üretiminde genellikle Al, Mg, Zn, Cu ve Ni gibi malzemeler matris olarak kullanılırken, silisyum karbür, bor, grafit, alüminyum oksit, tungsten ve molibden gibi değişik sürekli, kılcal kristalli veya parçacık elyaflar takviye elemanı olarak seçilmektedir. Ancak yapılacak bir kompozit üretimi için uygulamada istenilen teknik özelliklere göre takviye elemanı ve matris seçiminin yanında üretim tekniği ve yöntem parametreleri de çok önemlidir. Üretim yöntemleri; sıvı hal üretim yöntemleri ve katı hal üretim yöntemleri olmak üzere baslıca iki ana grupta toplanabilir [4].

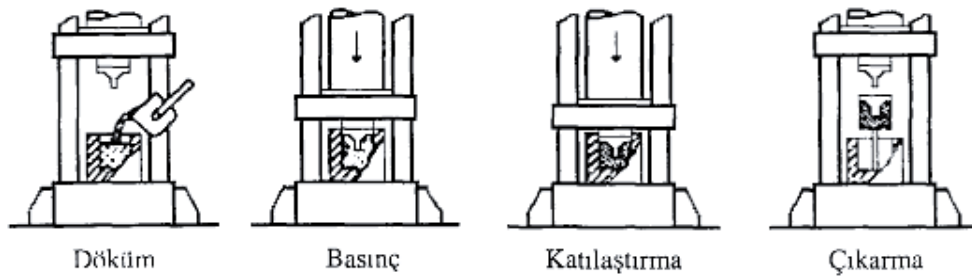
4.4.1. Sıvı hal üretim yöntemleri

Sıvı hal üretim yöntemleri kolay ve hızlı olmasından dolayı metal matrisli kompozitlerin üretiminde sıkça kullanılmaktadır. En yaygın olarak kullanılan sıvı hal üretim yöntemleri; sıvı dövme, sıvı metal infiltrasyon, sıvı metal karıştırma, plazma püskürtme vb.'dir [4].

Sıkıştırma döküm yöntemi

Grafit, silisyum karbür, bor karbür ve paslanma çelik fiberler gibi birçok takviye malzemesi, sıvı metal içerisinde gerektiği kadar ıslanmaz ve bunun sonucunda infiltrasyon ile kompozit üretimini zorlaştırır. Bunun aksine, sıkıştırma döküm tekniğinde sıvı metal, absorbe olmuş ve birikmiş gazlar uzaklaştırılarak, ön hazırlanmış takviye preformlara infiltre edilmeye zorlanır.

Sıkıştırma döküm, bir metal kalıp içerisinde yerleştirilmiş olan ön ısıtılmış seramik bir fibere veya herhangi bir preforma (ön şekil) sıvı metali zorlayarak infiltre etme olarak tanımlanabilir. Sıvı metal daha sonra katılaşma tamamlanana kadar yüksek basınca maruz bırakılır. Basınç altında katılaşmada takviye malzemesi ile matris ara yüzey bağ mukavemeti oldukça artmaktadır. En önemli üretim yöntemlerinden biri olan sıkıştırma döküm tekniği otomotiv ve havacılık uygulamalarında geniş kullanım alanı bulmaktadır. Şekil 4.8’de sıkıştırma döküm yöntemi görülmektedir [5].

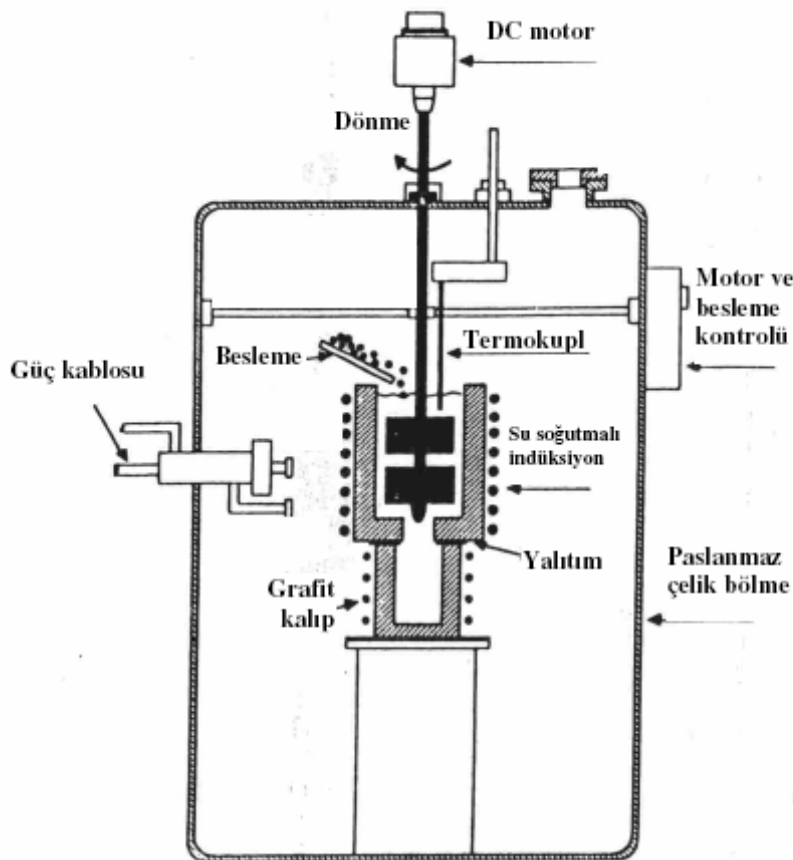


Şekil 4.8. Sıkıştırma döküm yöntemi [5]

Yarı katı karıştırma (Kombo döküm) yöntemi

Yarı katı karıştırma, parçacık, kısa lifler ve süreksiz fiberlerle takviye edilen kompozitlerin üretimindeki en ekonomik metottur. Bu yöntemde seramik parçacıklar veya fiberler, sıvı alaşım çamuru şeklinde olan ve katı-sıvı sıcaklığı arasında tutulan matris malzemesi içine mekanik olarak kısmen ilave edilmekte ve karıştırma yapılmaktadır. Karıştırmadan sonra elde edilen malzeme önceden ısıtılmış kalıba dökülmekte ve basınç altında katılaştırılmaktadır. Bu işlem esnasında deformasyon

direnci oldukça düşük olduğundan son şekle yakın parça, ekstrüzyon ve şekil verme metotları kullanılarak üretilir. Bu yöntemde ortaya çıkan en önemli problem, karıştırma sırasında sürtünme etkisiyle fiberlerde hasar meydana gelmesidir [5]. Şekil 4.9’da kompo döküm düzeneği gösterilmiştir.

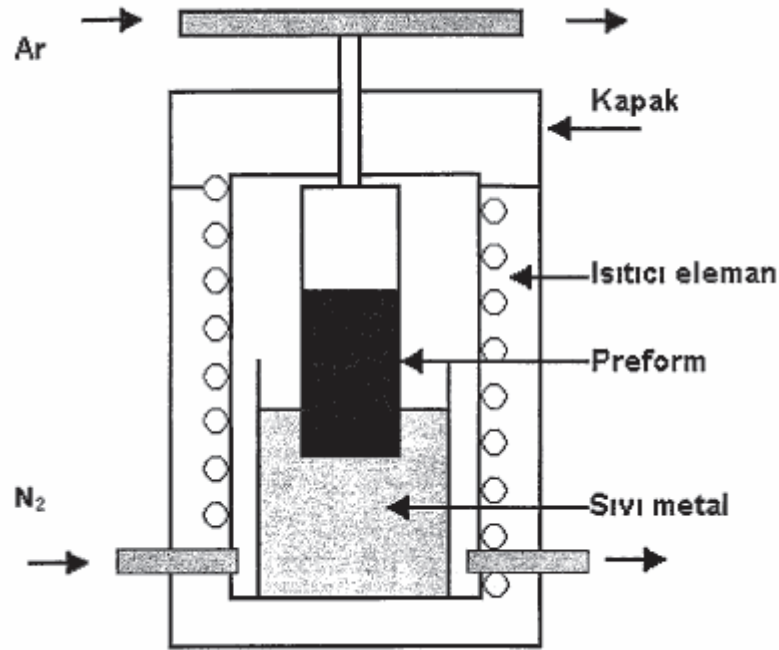


Şekil 4.9. Kompo döküm düzeneği [3]

Basınçlı infiltrasyon yöntemi

Basınçlı infiltrasyon yönteminin sıvı dövme yönteminden farkı, sıvının preform veya serbest yatak içerisine hidrolik pres yardımı ile değil, basınçlı inert gaz vasıtasıyla itilmesidir. Sistem, bir ucu basınç ünitesi içerisine yerleştirilmiş pota içerisindeki sıvı metale daldırılmış, diğer ucu normal atmosfer veya vakuma bağlanmış, içerisinde

preform veya kompakt bulunan infiltrasyon ünitesinden meydana gelmektedir [11]. Şekil 4.10’da basınçlı infiltrasyon yöntemi gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Basınçlı infiltrasyon yöntemi [11]

Basınçsız infiltrasyon yöntemi

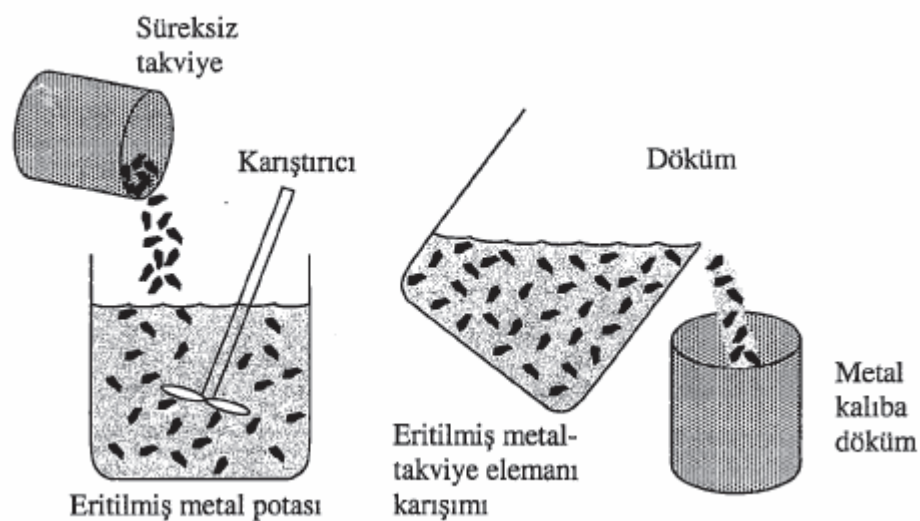
Basınçsız infiltrasyon yönteminde, Al-Mg alaşımının azot atmosferinde takviye parçacık içerisine basınç uygulanmaksızın kendi kendine infiltrasyonu sağlanabilmektedir. İnfiltrasyon sıcaklığına ısıtma sırasında Mg buharlaşır. Takviye yüzeyini kaplayan Mg₃N₂ (Magnezyum nitrit) oluşturmak üzere azot atmosferi ile reaksiyona girer. Magnezyum nitrit, basınç veya vakum uygulanmadan alaşımın takviye faza infiltrasyonuna imkan sağlayan bir bileşiktir [4]. Şekil 4.11’de basınçsız infiltrasyonla kompozit üretim yöntemi gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Basıncsız infiltrasyon yöntemi [4]

Vorteks (karıştırma) döküm yöntemi

Genellikle parçacık takviyeli MMK üretiminde kullanılmasına rağmen kısa fiber veya kısa lif takviyeli kompozit üretiminde de kullanılabilen yöntemdir. vorteks yöntemi, eriyik metal içinde bir karıştırıcı vasıtasıyla vorteks oluşturulması ve takviye parçacıkların bu vortekse ilave edilmesi esasına dayanır. Şekil 4.12’de tipik bir vorteks üretim tekniğinin aşamalarına gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Tipik bir vorteks üretim tekniğinin temel aşamaları [5]

SiC ve Al₂O₃ gibi seramik parçacıkların sıvı alüminyum içerisine bu yöntemle başarılı bir şekilde ilave edilmektedir. Ancak bu yöntemin en büyük dezavantajları yüksek miktardaki takviye parçacıkların matris içerisinde homojen dağıtılma güçlükleri, takviyelerin yeterince iyi ıslatılamaması, arayüzey mukavemetinin çok düşük seviyelerde olma ihtimali ve gözenek miktarının fazla oluşu gibi kompozit malzeme için çok önemli mekanik özelliklerin olumsuzluğudur. Bu nedenle bu yöntemle üretilen malzemeler ekstrüzyon ve haddeleme gibi son şekil verme işleminden geçirilmesi ya da basınçlı döküm için hammadde olarak kullanılmalıdır.

Vorteks yönteminde oluşan gözenekler Vorteks oluşturulması sırasında oluşan hava kabarcıklarının sıvı metale girip burada çözünmesiyle meydana gelir. Gazlar aynı zamanda parçacıkların sıvıya ilave edilmesi sırasında, parçacıklarla beraber de sıvı matrise geçebilir. Yapılan çalışmalar, ilave edilen parçacık hacim oranının artması ile gözenegin arttığı göstermiştir. Gözenekler aynı zamanda karıştırma parametrelerine de bağlıdır. Dökümhane teknikleri ile kompozitlerin üretilmesi esnasında sıvıda çözünen gazları minimuma indirmek için çok çaba sarf edilmiştir. Bunlardan birisi, Vorteks metodunun vakum veya soy gaz atmosferinde gerçekleştirilmesi, bir diğeri ise klor veya azot gazları gibi maddelerle sıvıda çözünen gazı giderilmesi veya parçacıkları sıvıya ilave etmeden önce ısıl işleme tabi tutarak gazların giderilmesi şeklinde olmuştur. Ancak bu çabalardan hiç biri tek başına sorunlara çözüm getirememiştir. İşlemin karmaşıklığı ve sıvıda seramik parçacıkların tutulması gerekliliği başlıca sorunları oluşturmaktadır.

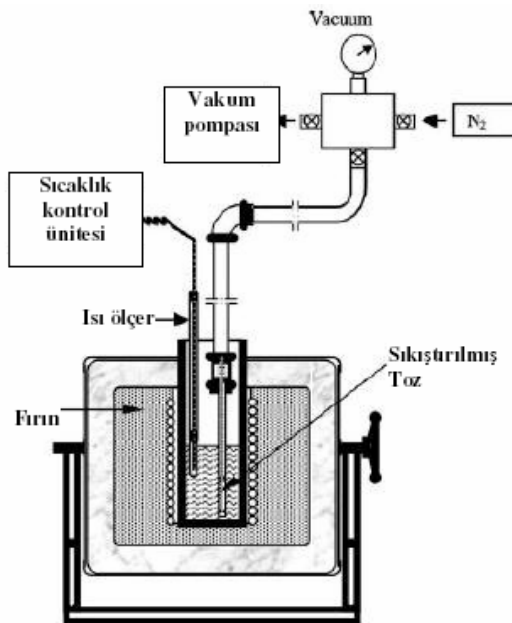
Son ürünün başarılı bir şekilde üretilmesi için birçok parametre mevcuttur ve bunların iyi kontrol edilmesi gerekir. Bu parametreler; karıştırma hızı, karıştırıcının pozisyonu, karıştırıcının boyutu, bekletme sıcaklığıdır. Çok düşük karıştırma hızlarında döküm içerisinde gözenekler oluşmaktadır. Ayrıca gözenek oluşumunu engellemek için karıştırıcının sıvı metale belli bir açıda daldırılması gerekmektedir. Dikey açıda daldırma ile potanın her tarafında homojen bir karıştırma sağlanamadığından ve Vorteks atmosfere doğrudan açık olduğundan gözenek oluşmaktadır. Karıştırma yapılan potanın hacmine göre karıştırıcı çapının da belli bir değerde olması lazımdır. Gözenek oluşumunda bekletme sıcaklığı da büyük rol oynamaktadır [5].

Gaz enjeksiyon yöntemi

Bir enjeksiyon tabancası kullanarak seramik tozların azot gazı yardımıyla sıvı matris alaşımı içine dağıtılması esasına dayanır. Potada bulunan sıvı metal, potanın tabanı açıldığında aşağı doğru akmakta ve parçacıklar ile karıştırılmaktadır. Bu sırada sisteme azot gazı uygulandığı için sıvı matris alaşımı ince damlacıklar halinde gelmekte ve homojenizasyon sağlanmaktadır. Bu sistem parçacık takviyeli MMK üretiminde kullanılmaktadır [5].

Sıvı metal emdirilmesi yöntemi

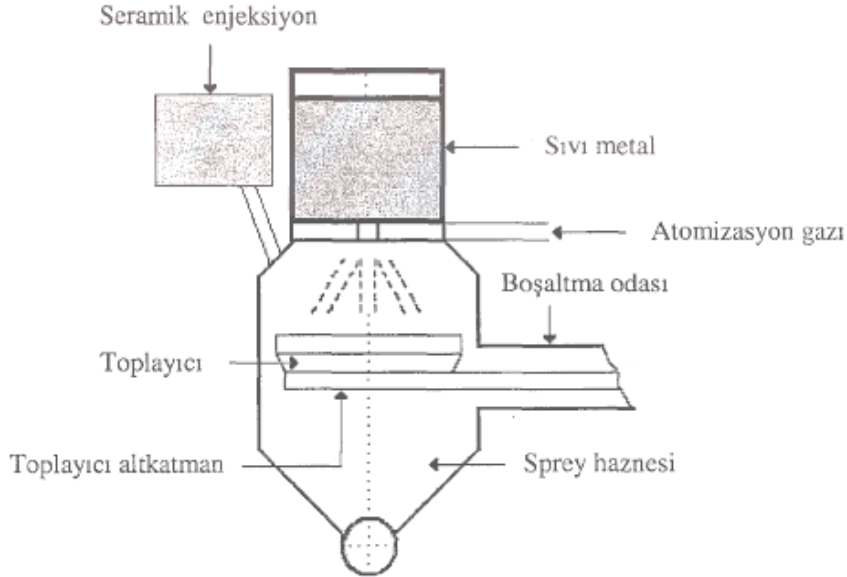
Bu işleme preform- infiltrasyon da denilebilir. Bu metot da ilk öne fiberler, kısa lifler ve hatta parçacıklardan istenen şekilde uygun bağlayıcı kullanarak preform (ön şekil) hazırlanır. Kompozitte tasarlanan elyaf hacim içeriği ve doğrultuları bu aşamada yapılır. Hazırlanan preform, sıvı metal banyosundan geçirilerek infiltre edilebilir veya sıvı metal basınç ya da vakum altında preforma emdirilebilir. Emdirme işlemi, basınç altında gerçekleştirildiğinde elyaf yüzeyi aktivitesi yüksek olduğundan daha iyi ıslanabilirlik sağlanabilmektedir [5]. Şekil 4.13'te vakumlu infiltrasyon yöntemi gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Vakum infiltrasyon düzeneği [3]

Plazma püskürtme yöntemi

Bu teknikte püskürtülecek alaşım, indüksiyon fırınında ergitilir ve potaya basınç uygulanır. Ergimiş alaşım püskürtülürken aynı zamanda, parçacık takviyeler atomize edilmiş sıvı içerisinde enjekte edilerek önceden ısıtılmış alt katman üzerine çökeltilir ve toplayıcı üzerinde katı bir çökelti oluşur. Bu metot da, alüminyum gibi ergime noktası nispeten düşük olan metallere uygulanır [4]. Şekil 4.14'te plazma püskürtme yöntemi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.14. Plazma püskürtme yönteminin şematik gösterimi [11]

4.4.2. Katı hal üretim yöntemleri

Metal matrisli kompozitler, değişik katı hal üretim yöntemleriyle üretilmektedir. Bunlardan en yaygın olanı toz metalurjisi yöntemidir. Bu yöntem genellikle seramik ve metalik esaslı malzemelere uygulanır. Bu yöntemin prensibi, takviye elemanı parçacıkları ile matris malzemesi tozlar karıştırılıp, istenilen şekli oluşturmak için kalıp içine konularak preslenir. Preslemeden sonra daha dayanıklı hale getirmek için sinterleme işlemine tabi tutulur.

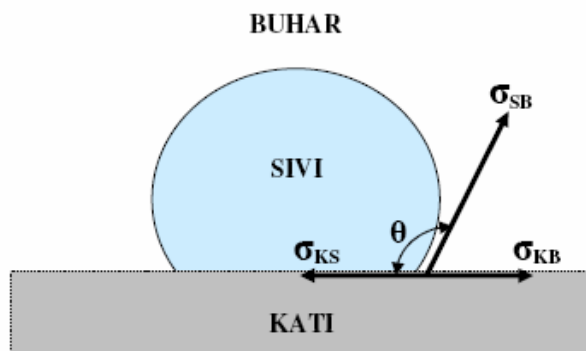
Toz metalurjisi yöntemini diğer yöntemlere göre daha avantajlı kılan özelliği, düşük sıcaklıklarda üretilmesidir. Üretim esnasında fiber-matris arasında reaksiyonlar olmadığından, kompozitte istenilen mekanik özellikleri elde etmek daha kolaydır. Bu yöntem şematik olarak Şekil 4.15’de gösterilmiştir [4].



Şekil 4.15. Toz metalurjisi yöntemi ile kompozit üretim aşamaları [4]

4.5. Metal Matrisli Kompozit Malzemelerde Islatma

Islanabilirlik, genel anlamda, sıvının katı yüzeyinde yayılabilme yeteneği olarak tanımlanabilir. Şekil 4.16’da görüldüğü üzere, katı altlık üzerinde duran bir sıvı damlasının katı yüzeyi ile yaptığı temas açısı (θ) ıslanabilirliğin fiziksel bir ölçüsüdür [3].



Şekil 4.16. Islatma olayının şematik gösterimi [3]

MMK malzemelerin üretiminde karşılaşılan temel problem, sıvının metal tarafından yeteri kadar ıslatılmadığından seramik fazın iyi bağ oluşturamamasıdır. Seramik

malzemeler genellikle sıvı metal tarafından iyi ıslatılmazlar. Bunun temel nedeni, seramiklerin özellikle oksitlerin iyonik veya kovalent yapıda olmaları ve metalik bağa sahip metal malzemelerde uyumlu olmamalarıdır. Bir katı fazın bir sıvı faz tarafından ıslatılması, iki faz arasındaki temas açısı ile gösterilir.

Çeşitli mekanizmalar, yapışmayı destekleyebilmekte ya da engelleyebilmektedir (Baier ve ark., 1968). Islanabilirlik, katı bir yüzeyin üzerinde yayılmakta olan bir sıvının yeteneği hakkında bize fikir verir. Uygun atmosfer içinde düzgün bir katı yüzey üzerinde kalan sıvının bir damlasını kapsamakta olan bir sistemdeki kuvvetlerin eşitliği göz önünde tutularak; sıvıyla katının ıslanabilirliği ölçülebilmektedir. Şekil 4.16 durumu şematik olarak göstermektedir. Sıvı damlası, sistemin serbest enerjisindeki azalmaya bağlı olarak yayılacak ve yüzeyi tamamen ıslatacaktır. Fiberin katı yüzeyi üzerindeki sıvının temas açısı (θ), ıslanabilirliği tanımlamak için önemli bir parametredir. Çoğunlukla; temas açısı, bir katının yatay konumdaki yüzeyi üzerine sıvının bir damlasının hafifçe damlatılmasıyla ölçülmektedir. Temas açısı üç arayüzeyin tanjantlarından hesaplanır: katı / sıvı, sıvı / buhar ve katı / buhar. Temas açısı (θ), damla boyutlarını kapsayarak aralarındaki basit trigonometrik bağıntının kullanılmasıyla hesaplanabilmektedir ya da bir goniometre (açıölçer) tarafından direkt olarak ölçülebilmektedir. Teorik olarak, aşağıdaki eşitlik kullanabilir (Young denklemi) [25].

$$\sigma_{KB} = \sigma_{KS} + \sigma_{SB} \cdot \cos \theta$$

Bu gibi şartlar altında, yüzeydeki hareketli kuvvetler bir dengeye gelinceye kadar sıvı yayılmaya devam edecektir; elde edeceğimiz kısmi bir ıslanma olacaktır. Küçük bir θ açısı iyi bir ıslanma anlamına gelmektedir. Burada sınır olarak verilen $\theta=0^\circ$ kusursuz ıslanmaya, $\theta=180^\circ$ değeri ise hiç ıslanmamaya karşılık gelen değerlerdir. Pratikte, mükemmel bir θ açısı değeri yakalamak çok nadir olarak mümkün olmaktadır. Genelde, maksimum veya ilerleyen açı değeri θ_a ve minimum veya düşen açı değeri θ_r temas açıları arasındaki bir değer olarak ortaya çıkmaktadır. Temas açısı izlemi olarak adlandırılan bu olgu, genel olarak polimerik sistemlerin

içerisinde gözlenmektedir. Bu izlemi etkileyen sebepler arasında şunlar bulunmaktadır: kimyasal atak, çözünme, katı yüzeylerin kimyasal kompozisyonlarının homojen olmaması, yüzey pürüzlülüğü ve kısmi emme.

Islanabilirlik ve tutuculuğun eşanlamlı terimler olmadığını bilmek gerekmektedir. Islanabilirlik, sıvı ve katı arasındaki temas yüzeyinin yayılımını tarif eder, Ara kesit yüzeyindeki güçlü tutuculuk durumunu anlatmamaktadır. Bir parça harika bir ıslanabilirliğe ve aynı zamanda çok zayıf bir Waals-tip düşük enerjili tutuculuğa sahip olabilir. İyi bir ıslanabilirlik için küçük bir temas açısı gereklidir fakat güçlü bir tutuculuk için bu durum yeterli değildir. Bir sıvı damlanın katı bir yüzey üzerinde yayılmasını tekrar gözden geçirmek gerekmektedir. Böyle bir durumda, Young'ın denklemi genellikle yatay doğrultudaki yüzey gerilimlerinin denkleğini açıklamak için kullanılmaktadır. Böyle bir analizde, katıdaki arakesit yüzeyine dik olarak hareket eden bir basınç ile dengelenmek zorunda olan, bir dik kuvvet $\sigma_{SB} \cdot \sin\theta$, genellikle ihmal edilir. Bu ilk olarak, Bikerman ve Zisman tarafından Johnson'un (1959) Young'ın denkleminin kanıtlarının tartışıldığı yazılı belgelerde belirtilmiştir. Bu şekilde, katıdaki iç gerilimlerin etkileri Cahn ve ark. (1964-1969) tarafından tartışılmıştır. Genelde, Young'ın denklemi, katı içindeki iç gerilmelerin tam durumuna dikkatle bakmadan bu oluşumu geçersiz hale getirmek için kullanılmıştır [25].

5. MATERYAL METOT

5.1. Malzeme

Bu çalışmada daha çok basınçlı döküm parametrelerinin kompozit malzemenin ve alaşımın mekanik özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Beş farklı enjeksiyon basınç parametresinde numuneler hazırlanmıştır. Matris malzemesi olarak Etial 171 alüminyum alaşım tercih edilmiştir. Bu malzeme ticari olarak mevcut olmasının yanında sanayide yaygın olarak kullanılır ve basınçlı döküme uygundur. Etial 171 mukavemet ve basınç altında sızdırmazlık gerektiren parçalarda kullanılır. Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2’de Etial 171 alaşımının kimyasal kompozisyonu ve fiziksel özellikleri verilmiştir.

Çizelge 5.1. Etial 171 alaşımın kimyasal kompozisyonu

ETİNORM	Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Ni	Ti	Pb	Sn
ETIAL-171	0,50	9,00-10,00	0,10	0,40-0,60	0,30-0,45	0,10	0,10	0,15	0,05	0,05

Çizelge 5.2. Etial 171 alaşımın tipik özellikleri

ETİNORM	Etial 171
Özgül ağırlık (g/cm ³)	2,64
Ergime aralığı °C	575-595
Isısal iletkenlik (Cal/cm.s°C)	0,27
Korozyon dayanımı	Çok iyi
Dökülebilirlik	Mükemmel
İşlenebilme	Orta
Anodik oksidasyon	Sadece yüzey korumada
Diğer özellikler ve kullanım yerleri	Mukavemet ve basınç altında sızdırmazlık gerektiren basınçlı döküm parçalarında kullanılır.
Çekme mukavemeti (MPa)	280
Akma Mukavemeti (MPa)	250
Kopma uzması %	3

Parçacık olarak 60-70 μm 'lik boyutlarda, 3,2 g/cm^3 özgül ağırlığa sahip SiC kullanılmıştır. Parçacıklar hacimsel olarak %10 oranında eklenmiştir. Çizelge 5.3'te SiC'ün mekanik özellikleri verilmektedir.

Silisyum karbür fiberler, kimyasal buhar fazında yoğunlaştırma ve SiC'den fiber çekilerek üretilir. Takviye elemanı olarak son zamanlarda SiC 'e ilgi öncelikle ekonomikliği nedeniyle artmaktadır. Ancak bunlar daha yüksek sıcaklıklarda MMK uygulamalarında alternatif olarak sağlanmaktadır. Çünkü bor elyaf ergimiş alüminyum ile hızla kimyasal reaksiyona uğrayarak mekanik özelliği düşmektedir. SiC 'in; parçacık, elyaf ve kaplama yanında kısa lif türleri de üretilmektedir. Bu kısa liflerle üretilen kompozitlerde ikinci bir operasyon ekstrüzyon, haddeleme, kalıpta dövme ve presleme gibi plastik şekil verme tekniklerinin mekaniksel bir hasar oluşturmaksızın uygulanabilmesi önemli bir avantajını teşkil etmektedir [26].

Çizelge 5.3. SiC parçacıklarının mekanik özellikleri [26]

Malzeme	Yogunluk (g/cm^3)	Ergime Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	Isıl Genleşme Katsayısı ($10^{-6}/\text{K}$)	Basma Mukavemeti (MPa)	Sertlik (HV)	Elastik Modülü (10^3 MPa)
SiC	3,20	2500	5	2000	3000	414

5.2. Kompozit Malzeme Üretimi

Kompozit üretimi Vorteks (karıştırma) metodu ile yapılmıştır. Pota içinde 30 kg Etial 171 alüminyum alaşımı 670 $^{\circ}\text{C}$ 'de ergitilmiştir. Matris malzemesi olan alüminyum alaşım ergitildikten sonra içerisindeki gazlar gaz alma tabletleriyle temizlenmiştir. Malzeme ağırlığının % 0,1'i kadar gaz alma tableti kullanılmıştır. Ayrıca curufların temizlenmesi için malzeme ağırlığının %0,2'si kadar alüminyum temizleme tozu kullanılmıştır. Parçacıklar ilave edilmeden önce yüzeylerindeki kirliliğin giderilmesi, absorbe olmuş gazların ayrılması ve yüzeylerde koruyucu bir oksit tabakasının oluşturulması için yaklaşık 1100 $^{\circ}\text{C}$ 'de bir saat bekletilmiştir. Daha sonra ıslanmanın iyi olabilmesi için 700 $^{\circ}\text{C}$ 'ye alaşım sıcaklığına düşürülerek kontrollü argon gazı akışıyla 200 g/dak hızla ilave edilmiştir. Ayrıca alaşım üzerinde

koruyucu bir argon gazı atmosferi oluşturulmuştur. Karıştırma işlemi grafit karıştırıcı ile yaklaşık 400 dev/dak'lık bir hızla ilave işlemi süresince yapılmıştır. Şekil 5.1'de vorteks yönteminin şematik gösterimi verilmiştir. Resim 5.1'de vorteks düzeneği ve alüminyum ergitme ocağı görülmektedir. Parçacık takviyesi hacimsel %10 oranında eklenmiştir. SiC parçacık ilave miktarı aşağıdaki gibi ağırlığı hesaplanarak belirlenmiştir.

d_p : 3,2 g/cm³ (SiC parçacıklarının yoğunluğu)

d_a : 2,64 g/cm³ (Etial 171 in yoğunluğu)

M_a : 25 kg (Alüminyumun ağırlığı)

M_p : SiC parçacıklarının ağırlığı, $M_p = d_p \cdot V_p$

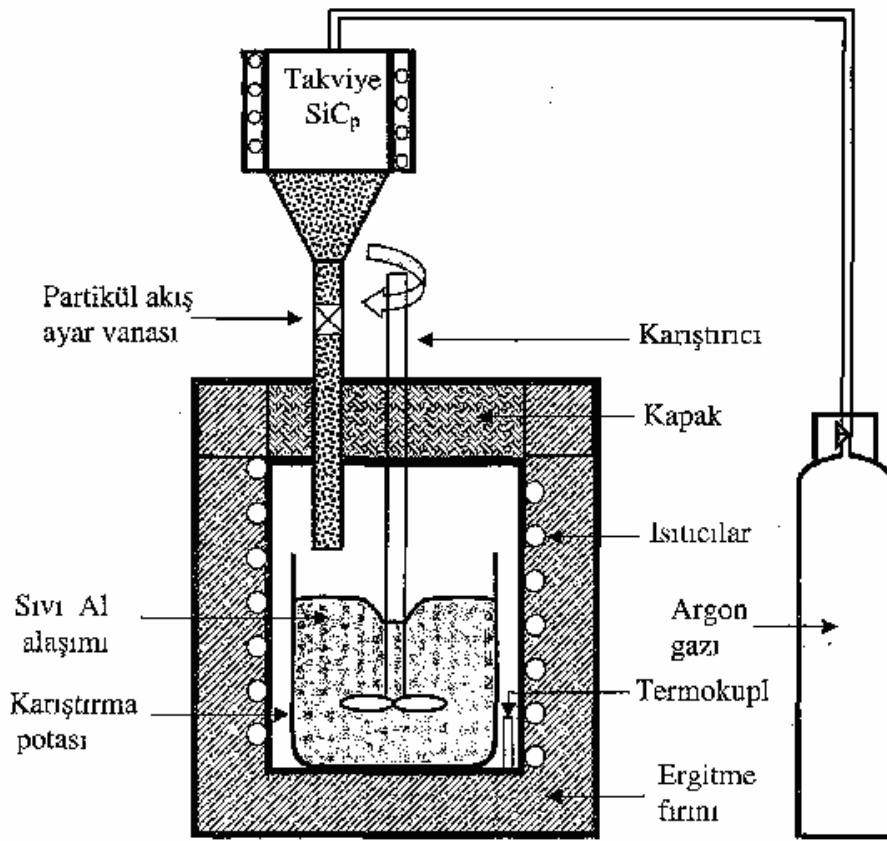
V_a : Alüminyum alaşım hacmi, $V_a = d_a \cdot M_a$

V_p : SiC parçacıklarının hacmi, $V_p = 0,1 \cdot V_k$

V_k : Kompozitin hacmi, $V_k = V_a + V_p$

olduğundan $V_a = 9469 \text{ cm}^3$

$V_k = 10521 \text{ cm}^3$ ve $V_p = 1052 \text{ cm}^3$ olarak bulunmuş ve $M_p = 3366 \text{ g}$ SiC parçacık ilave edilmiştir.



Şekil 5.1. Vorteks döküm yönteminin şematik gösterimi [5]



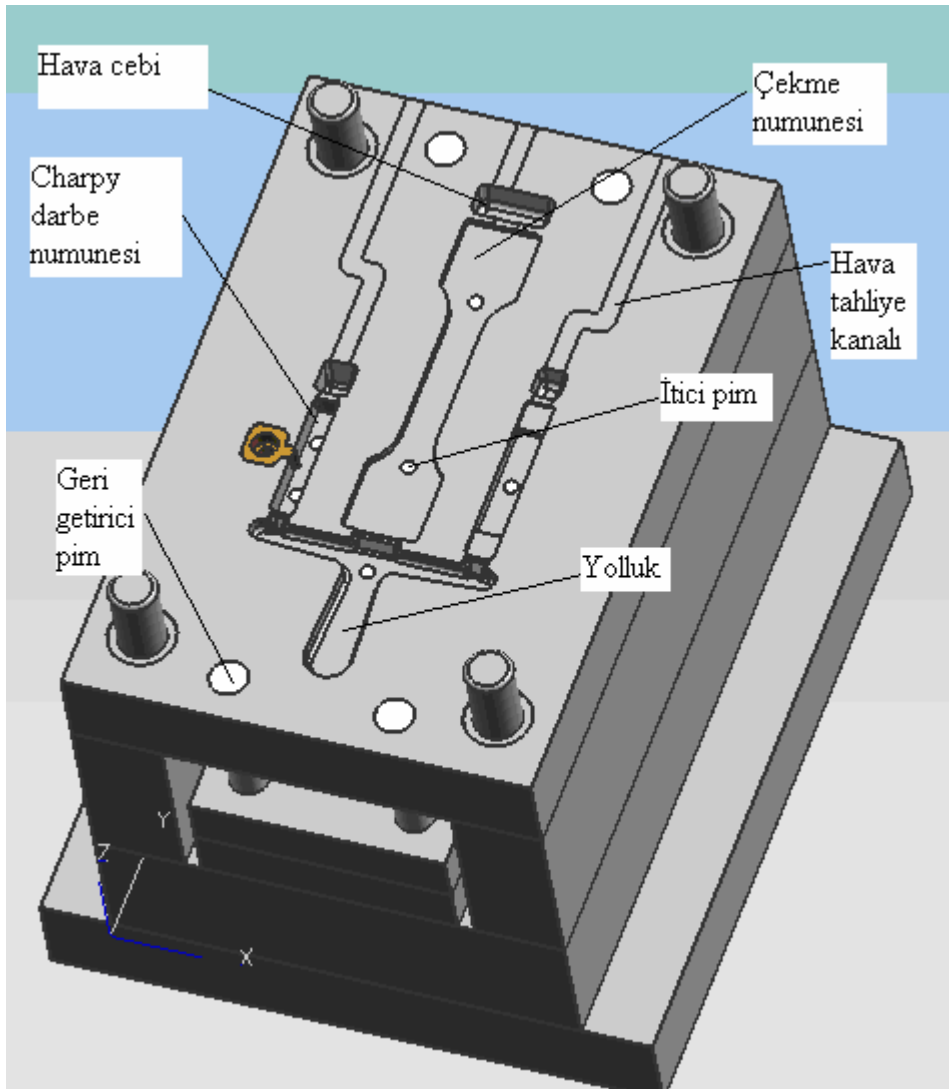
Resim 5.1. Vorteks düzeneği ve alüminyum ergitme ocağı

5.3. Basınçlı Pres Döküm Makinası Ve Metal Enjeksiyon Kalıbı

Döküm yatay soğuk kamaralı metal enjeksiyon makinesinde yapılmıştır. Makinenin mengene kilitleme kuvveti 160 ton'dur. Kolon eksenleri 450 mm'dir. Makinenin maksimum enjeksiyon basıncı 250 kg/cm^2 'dir.

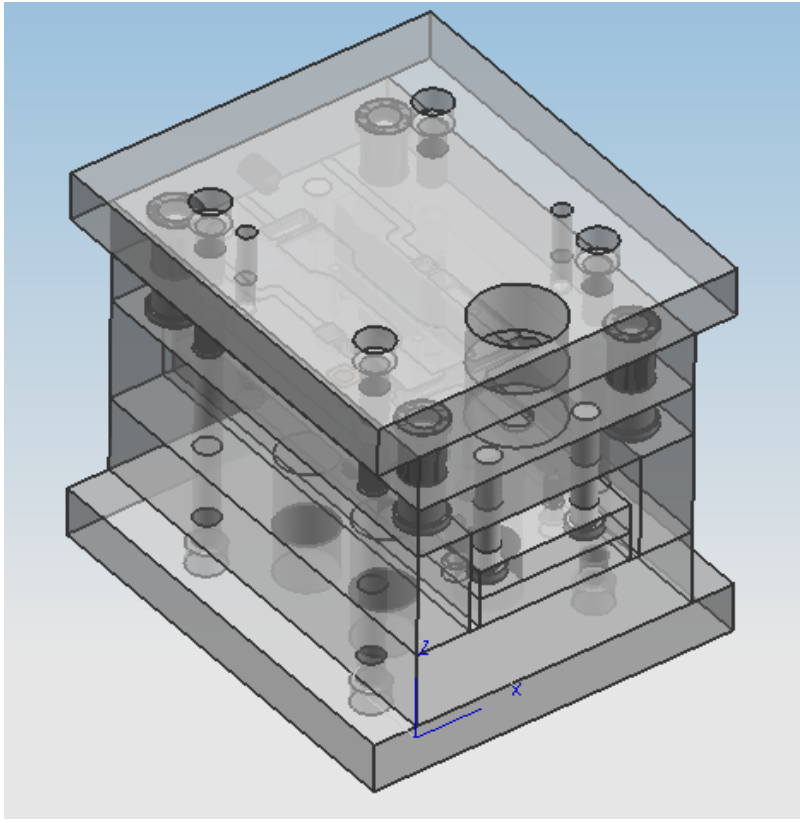
Metal enjeksiyon kalıbı Unigraphics NX4 programının CAD modülünde çok gözlü olarak tasarlanmıştır. Kalıp boşlukları Unigraphics NX4 programının cam modülünde program yapılarak CNC tezgahında işlenmiştir. Standart elemanları kolon, iticiler ve geri getirici pimler hazır olarak temin edilmiştir. İticiler $\phi 6 \text{ mm}$, geri getirici pimler $\phi 16 \text{ mm}$, kolon burç anma çapı 20 mm olarak tasarımı yapılmıştır. Resim 5.3 ve Resim 5.4'te tasarımı yapılan kalıp görülmektedir.

Kalıp modellenirken parçaların hareketli tarafta kalmasına dikkat edilmiştir. Kalıp çukurunun tamamı hareketli taraftadır. Kalıp ayırma düzlemi parçaların geometrisinden dolayı kolay belirlenmiştir. Parçaların çekme payı oranı 0,007 olarak alınmıştır. Yani kalıp çekirdeğinde bulunan kalıp çukurlarının ölçüleri 0,007 oranında parça ölçülerinden daha büyüktür. Kalıp seri üretimde kullanılmayacağı için tasarım aşamasında çekirdek ayrı düşünülmemiştir. Çekirdek destek plakalarına bağlanmıştır. Burada amaç kalıp maliyetini düşürmektir. Parçalara çıkma açısı tek taraflı 1° verilmiştir. Ancak zaman zaman döküm işlemi sırasında yapışmalar görülmüştür. Her bir iş parçası için taşma boşluğu açılmıştır. Taşma boşluklarının ağırlığı açıldığı parçanın ağırlığının $1/8$ 'i kadardır. Hava tahliye kanalları taşma boşluklarından yukarı doğru 10 mm genişliğinde ve 0,1 mm derinliğinde plaka kenarına kadar açılmıştır. Resim 5.2'de çekme numunesi ve Charpy darbe deneyi numunesinin kalıp çukurları gösterilmiştir. Çekme numunesi ve darbe numunesi için ikişer itici kullanılmış ve başarılı olmuştur. Ayrıca yolluk içinde bir itici kullanılmıştır.



Resim 5.2. Metal enjeksiyon kalıbı hareketli taraf katı modeli

Resim 5.3'te metal enjeksiyon kalıbının katı modeli gösterilmiştir.



Resim 5.3. Metal enjeksiyon kalıbı katı modeli

5.4. Numunelerin Üretimi

Döküm işleminde kalıp şalama yardımı ile 250°C 'ye kadar ısıtılmıştır. Kalıp sıcaklığı ısı tabancasıyla ölçülmüştür. Daha sonra ısıya dayanıklı maça yağıyla kalıp çukurları ve iş yüzeyleri yağlanmıştır. Ön ısıtması yapılmış 250 g'lık kepçe kullanılarak ilk döküm işlemi Etial 171 (AlSi10Mg) alaşımı ile yapılmıştır. Kepçeye yaklaşık 200 g'lık sıvı alaşım doldurulduğunda ideal (yaklaşık 30 mm) topuk mesafesi yakalanmıştır. Topuk dahil yolluklu toplam ağırlık 197 g olarak hesaplanmıştır. İlk dökümde enjeksiyon basıncı 50 kg/cm^2 değerine ayarlanmıştır. Enjeksiyon pistonunun hızı parçayı doldurabilecek olan 3 m/s 'ye ayarlanmıştır. Bu basınçta beş adet baskı yapılmıştır. Her baskı sırasında kalıp açılıp parçalar iticiler yardımı ile kalıptan dışarı atılmıştır. Daha sonra özel kalıp ayırıcı yağ ve su karışımı ile soğutma sıvısı kullanılarak iş yüzeyleri soğutulmuş ve yağlanmıştır. Bu işlem her kalıp açıldığında yaklaşık 20 s süre ile uygulanmıştır. Böylece parçaların kalıba

yapışması önlenmiştir. Kalıptan alınan yolluklu ve taşma kanallı parçalar dikkatli bir şekilde yolluk ve taşma kanallarından ayrılmıştır. Diğer basınç değerindeki döküme geçmeden kod numaraları parçaların üzerlerine markalanmıştır. Bu işlemler diğer basınç değerleri olan 100, 150, 200, 250 kg/cm² içinde uygulanmıştır. Toplam 25 baskı yapılarak 50 adet numune deneye hazır hale getirilmiştir.

Takviyesiz alaşım numunelerinin döküm işleminden sonra kompozit numune üretimine geçilmiştir. Potada 25 baskıdan sonra yaklaşık 25 kg alaşım kalmıştır. Kompozit malzeme yukarıda anlatıldığı gibi hazırlandıktan sonra döküm işlemine başlanmıştır. İlk enjeksiyon basıncı 50 kg/cm² dir. Bu basınç parametresinde beş baskı yapılmış ve her baskı arasında soğutma ve yağlama işlemleri uygulanmıştır. Diğer parametreler olan 100, 150, 200, 250 kg/cm² değerlerindeki parçalar sırasıyla dökülmüş, çapakları alınmış ve sırasıyla kodlanmıştır. Resim 5.4'te yatay soğuk kamaralı metal enjeksiyon makinesi görülmektedir.



Resim 5.4. Yatay soğuk kamaralı 160 tonluk metal enjeksiyon makinesi

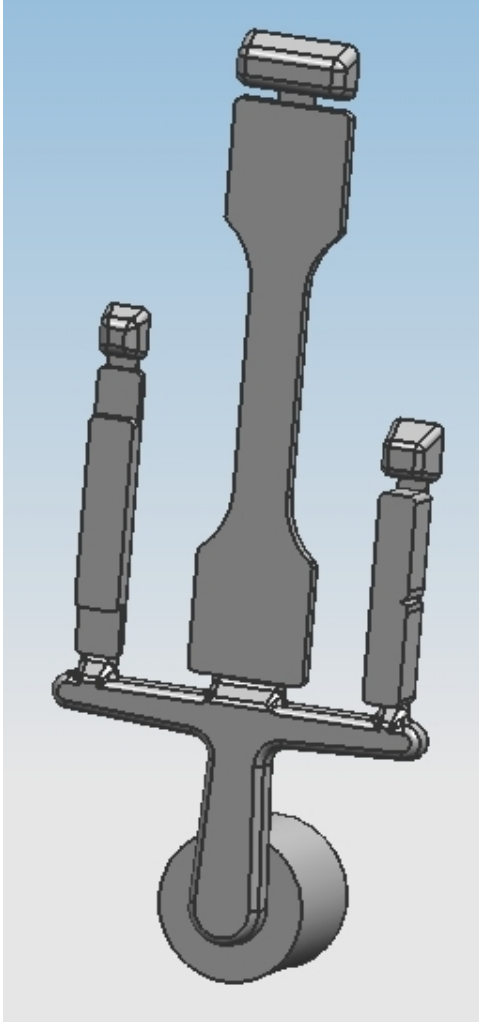
Resim 5.5’de metal enjeksiyon kalıbının hareketli tarafı ve döküm işlemi sırasında numunelerin kalıptan dışarı atılma anı görülmektedir. Resim 5.6’da metal enjeksiyon kalıbının sabit tarafı gösterilmiştir. Resim 5.7’de yolluklu ve taşıma kanallı parçaların katı modeli verilmiştir.



Resim 5.5. Metal enjeksiyon kalıbı hareketli taraf



Resim 5.6. Metal enjeksiyon kalıbı sabit taraf



Resim 5.7. Yolluklu ve taşama kanallı parçaların katı modeli

Kompozit ve takviyesiz alaşım numunelerine her basınç parametresi için ayrı kod verilmiştir. Kompozit numuneler K1, K2, K3, K4, K5 kodlarıyla markalanmıştır. K1 numunesi 50 kg/cm²'lik enjeksiyon makinesi basıncıyla dökülmüş kompozit numuneye verilen koddur. Takviyesiz numuneler A1, A2, A3, A4, A5 kodlarıyla markalanmıştır. A1 numunesi ise 50 kg/cm²'lik enjeksiyon makinesi basıncıyla dökülmüş takviyesiz alaşım numuneye verilen koddur. Her basınç parametresinden kalıp ve makine rejime girdikten sonra beşer adet numune dökülmüştür. Her numune tek tek markalanmıştır. Çizelge 5.4'te numune kodları detaylı bir şekilde verilmiştir.

Çizelge 5.4. Basınçlı döküm numuneleri

Numune kodu	Enjeksiyon makinesi basıncı (kg/cm ²)	Enjeksiyon basıncı (kg/cm ²)	%SiC
A1	50	313	-
A2	100	625	-
A3	150	938	-
A4	200	1250	-
A5	250	1563	-
K1	50	313	10
K2	100	625	10
K3	150	938	10
K4	200	1250	10
K5	250	1563	10

Ayrıca enjeksiyon hidrolik piston çapı 100 mm alüminyum kalıp içine enjekte eden bakır piston çapı 40 mm'dir. Enjeksiyon piston basıncı aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$P_p = (P_e \times A_e) / A_p \text{ dir.}$$

D_p: Hidrolik piston çapı

D_e: Enjeksiyon piston çapı

A_e: Hidrolik piston alanı

A_p: Enjeksiyon piston alanı

F_p: Enjeksiyon piston kuvveti, $F_e = F_p = P_e \times A_e = P_p \times A_p$

F_e: Hidrolik piston kuvveti

P_e: Enjeksiyon makinesi basıncı

P_p: Enjeksiyon basıncı

5.5. Mekanik Testler

5.5.1. Çekme deneyi

Kompozit ile takviyesiz alaşım malzemelerinden çekme deneyi numunesi TS 138 EN 10002 standardına uygun ölçülerde üretilmiştir. Numuneler çapak alma işleminden sonra test edilmiştir. Numunelerin gerilme – uzama davranışları bilgisayar destekli Hualong Marka 200 kN’luk Çekme cihazı ile test edilmiştir. Her basınç değeri için hazırlanan numunelerden üçer adet numune test edilmiştir. Resim 5.8’de tesviye işlemi yapılmış çekme deneyi numuneleri verilmiştir.



Resim 5.8. Çekme deneyi numuneleri

5.5.2. Charpy çentik darbe deneyleri

ASTM E 23 standardına göre hazırlanmış V çentikli alüminyum matrisli kompozit ve takviyesiz alaşım numunelerin deneyleri Charpy çentik darbe deney makinesinde gerçekleştirilmiştir. Resim 5.9’da numune resmi verilmiştir. Charpy çentik darbe deney testi; 5 adet farklı basınçlarda dökülmüş Etial 171 alaşım ve 5 adet farklı basınçlarda dökülmüş Etial 171 alaşım matrisli hacimce % 10 SiC parçacık katkılı

kompozit malzemeden üretilmiş numuneler üzerinde yapılmıştır. Aynı tip numuneden üçer adet test yapılmış ve bu sonuçların ortalamaları alınmıştır. Deneyler oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.



Resim 5.9. V çentikli numune

5.5.3. Sertlik ölçümleri

Sertlik ölçümleri toplam on adet Charpy darbe numunesi üzerinde yapılmıştır. Bu numunelerin beş adedi farklı enjeksiyon basınçlarında hazırlanmış olan takviyesiz alaşım numuneleri (A1, A2, A3, A4, A5); beş adedi farklı enjeksiyon basınçlarında hazırlanmış kompozit numunelerdir (K1, K2, K3, K4, K5). Her bir numune üzerinde on adet sertlik ölçümü yapılarak ortalamaları alınmıştır. Sertlik ölçümleri Brinell skalasında ölçüm yapan en fazla 250 kg yük uygulama kapasitesine sahip Wolpert

marka sertlik ölçüm cihazında yapılmıştır. Sertlik ölçümünde 2,5 mm çapında bilye kullanılmış ve 31,25 kg'lık yük 25 s uygulanmıştır.

5.6. Mikro Yapı İncelemeleri

Mekanik testler için üretilen numuneler Metalografik inceleme için numuneler 240, 320, 500, 1000 ve 1200 mesh'lik zımparalandıktan sonra 10 mikronluk alüminyum oksit pasta ile parlatılmıştır. Parlatma işleminden sonra numuneler su ile yıkanmış ve yüzeyler alkolle temizlenmiştir. Sonra tüm numunelerin yüzeyleri Keller dağlayıcı ile dağlanmış yüzeyleri su ve alkol ile temizlenerek metalografik incelemeye alınmıştır. Yüzeylerin mikro yapı incelemeleri Dokuz Eylül Üniversitesi Metalografi Laboratuvarında optik mikroskop kullanılarak yapılmıştır. Optik mikroskop, Nikon Photomicrographic Model U-III fotoğraf makinası, video kamera ve LUCIA yazılım programı ile hem dijital görüntü alma hem de görüntü üzerinde analiz yapma imkânı olmuştur.

6. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

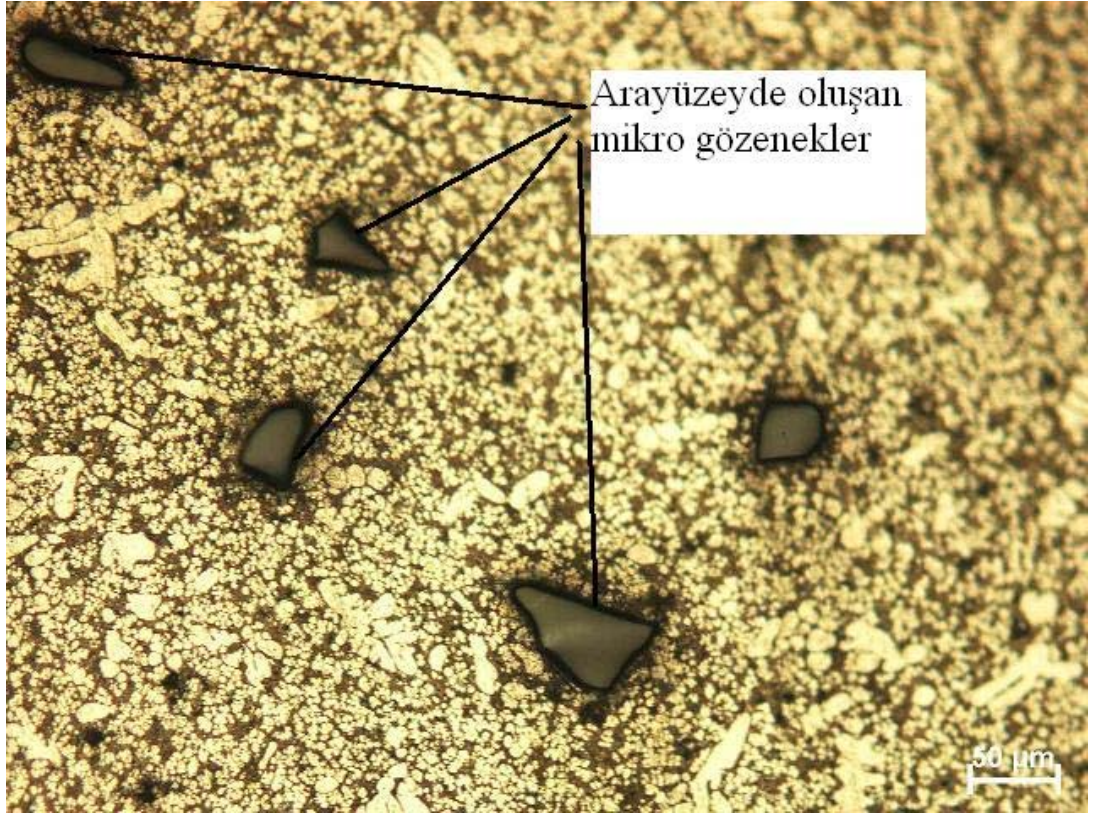
6.1. Çekme Deneyi Sonuçları

Bu çalışmada kompozit numunelerin çekme ve akma mukavemetinin takviyesiz alaşıma göre daha düşük olduğu gözlenmiştir. SiC parçacıkları kompozit malzemenin yapısını gevreklettirmiştir. Parçacık ilavesi ile kompozit malzemenin yüzde uzama değeri de düşmüştür. Kompozit malzemelerde takviye elemanının ilavesi ile yüzde uzama değerinin düşmesi beklenen bir sonuçtur. Numunelere uygulanan çekme deneyi sonuçları; akma mukavemeti, çekme mukavemeti, kopma uzaması değerleri Çizelge 6.1 'de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Çekme deneyi değerleri

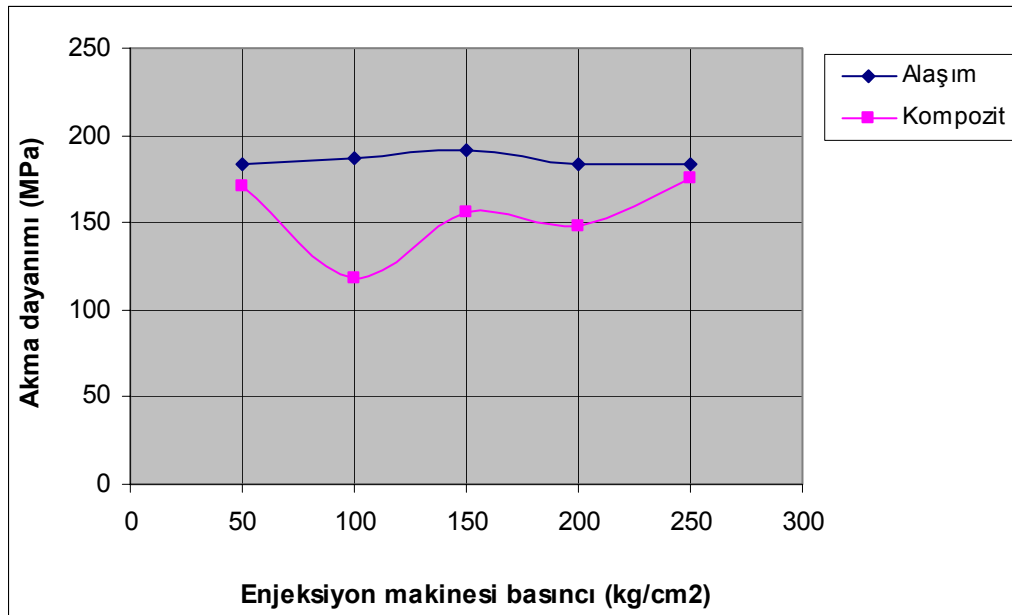
Numune kodu	Ort. σ_{akma} (MPa)	Ort. $\sigma_{çekme}$ (MPa)	ϵ (%)
A1	183,5	276,5	5,2
A2	187,5	310	5,4
A3	191	274,5	5,5
A4	184	249,5	5,7
A5	183	283	5,8
K1	171	257	1,0
K2	118	178	1,5
K3	156	238	2,0
K4	148	225	0,5
K5	175	270	1,45

Kompozit üretimini olumsuz etkileyen birçok parametre vardır. Bu parametrelerin başında ıslatma gelmektedir. Matris malzemesine gelen kuvvetlerin takviye elemanına iletilmesinde ıslatmanın önemi fazladır. Eğer takviye elemanı ile matris arasında kuvvetli bir bağ oluşmazsa matrise gelen yükler takviye elemanına iletilmez ve kompozitin dayanımı düşer, istenilen artış elde edilemez. Resim 6.1'de takviye elemanı ile matris ara yüzeyinde oluşan mikro gözenekler görülmektedir. Mikro gözenekler matrise gelen kuvvetlerin takviye elemanına iletilmesini engellemiştir. Mikro gözeneklerin oluşma sebebinin takviye elemanının iyi ıslatılamaması ve sistemin hava ile temasının kesilememesi olduğu düşünülmektedir.

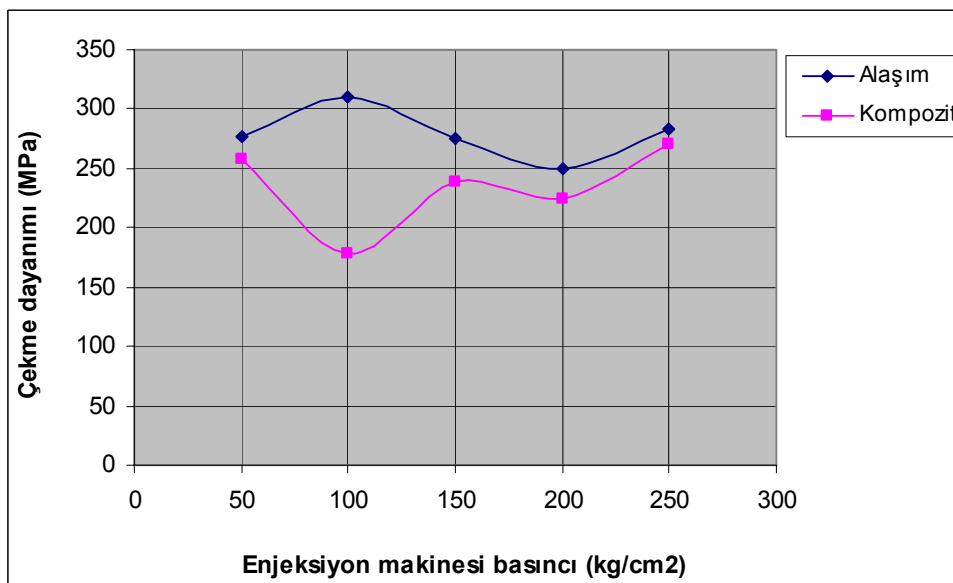


Resim 6.1. Ara yüzeyde oluşan mikro gözenekler

Şekil 6.1’de akma dayanımının takviye elemanına ve enjeksiyon basıncına bağlı değişim grafiği, Şekil 6.2 ‘de çekme dayanımının takviye elemanına ve enjeksiyon basıncına bağlı değişim grafiği verilmiştir. Grafikler incelendiğinde kompozitlerin akma ve çekme dayanımlarında sapmalar olduğu görülmüştür. Bu sapmaların SiC parçacıklarının homojen şekilde parçaya enjekte edilemediğinden kaynaklandığı kanaatine varılmıştır.



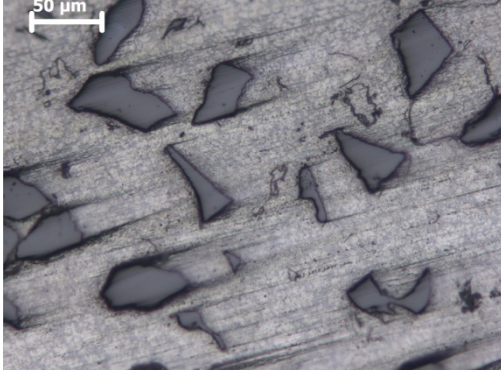
Şekil 6.1. Alaşıım ve kompozit numunelerin akma dayanımlarının basınca bağlı değişimi



Şekil 6.2. Alaşıım ve kompozit numunelerin çekme dayanımlarının basınca bağlı değişimi

Alüminyum alaşıım matrisli kompozitlerin çekme dayanımını etkileyen bir başka parametre de matris alaşıımı içindeki parçacık dağılımıdır. Şekil 6.1 ve Şekil 6.2 incelendiğinde K2 kompozitinin akma ve çekme değerinde ani bir düşüş görülmektedir. Bunun en önemli sebebi parçacık dağılımının homojen olmamasıdır.

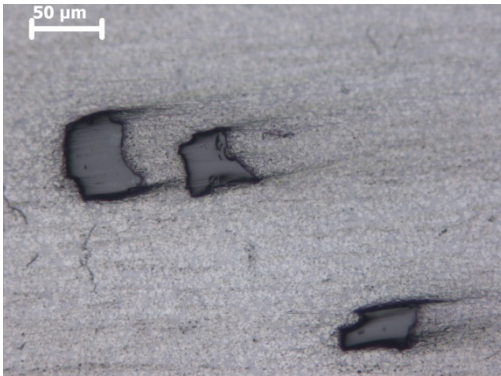
K2 kompozitinde parçacıkların bir bölgeye toplanması ve matris/takviye elemanı ara yüzeyindeki mikro gözenekler çekme dayanımının düşmesine neden olmuştur. Resim 6.2, Resim 6.3, Resim 6.4 incelendiğinde K2 kompozitindeki parçacıkların daha yoğun olduğu görülmektedir.



Resim 6.2. K2 kompozitindeki parçacık kümesi

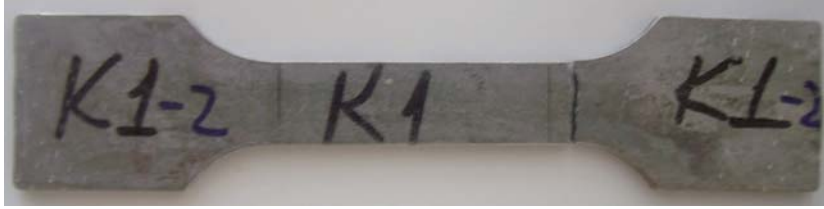


Resim 6.3. K1 kompozitinin mikro yapısı



Resim 6.4. K3 kompozitinin mikro yapısı

Resim 6.5'te çekme deneyi yapılmış kompozit numunelerin bazılarında kırılma yüzeyleri orta bölgede bazılarında kenar bölgededir. Kırılmalar daha çok parçacık topaklanmalarının olduğu bölgelerde gözlenmiştir.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Resim 6.5. Çekme deneyi yapılmış kompozit numuneler a) K1 b) K2 c) K3 d) K4
e) K5

Alüminyum alaşım matrisli kompozitlerin mukavemetini azaltan diğer parametre gözeneklerdir. Matris alaşımında oluşan gözenekler çekme dayanımını olumsuz etkilemektedir. Bunun sebebi yükün uygulandığı alanın azalmasıdır. Acun (2007), yaptığı çalışmada yarı katı karıştırılmalı döküm yöntemiyle hacimce %10 SiC parçacık takviyeli kompozit malzeme üretmiştir. Kompozitte % 4,61'lik gözenekli mikroyapı oluşmuş, bunun sonucunda malzemenin çekme mukavemeti 96 MPa'a düşmüştür. Alaşım mukavemeti ise 151 MPa'dır. Gözenekli yapının oluşmasının sebeplerini matris alaşımının katılaşma ile oluşan büzülme bölgelerinde, parçacıkların sıvı metale ilavesi sırasında sıvı metalde parçacık kümelenmeleri sonucunda sıvı metalin parçacıkların arasına girememesi olarak açıklamıştır.

Bu çalışmada basınçlı pres döküm makinesi ile üretilen kompozit numuneler içerisindeki gözenek yüzdesi ortalama %1,28'dir. Şekil 6.1 ve 6.2'deki kompozit numunelerin akma ve çekme dayanımına bakıldığında akma dayanımı 150 MPa çekme dayanımı 230 MPa'dır. Döküm işlemi sırasında uygulanan yüksek basınç (150 MPa) parçacıklar arasına sıvı metalin iletilmesini sağlamıştır. Parçacıklar arasında boşluk gözlenmemiştir.

Özdin (2006) yaptığı çalışmada, SiC parçacıklarının hacim oranının artması ve tane boyutunun azalmasıyla malzemelerdeki gözenek oranlarının arttığı sonucuna varmıştır. Sıkıştırılmalı döküm (5 MPa) yöntemiyle ürettiği, 64 µm'luk hacimce %10 SiC parçacık içeren 2011Al matris alaşımlı kompozitinde gözenek yüzdesi %1,5'dir. Aynı matrisli ve parçacık boyutlu, hacimce %15 SiC ilave edilmiş kompozitin gözenek yüzdesi %2,92'dir. Bu çalışmada takviye elemanının orta büyüklükteki parçacıklardan (64 µm) seçilmesi ve takviye oranının düşük olması kompozit numunelerdeki gözenek yüzdesinin düşük çıkmasını sağlamıştır.

Tekmen (2006), AlSiMg alaşım matrisli hacimce %20 SiC parçacık takviyeli kompozit üretmiştir. Yaptığı çalışmada SiC parçacık takviye elemanı dağılımının genelde homojen olduğunu, ancak bazı bölgelerde ötektik silisyum tanelerinin ve SiC parçacıklarının katılaşma sırasında dentritler arasında kümелendiğini gözlemiştir. Sıkıştırılmalı döküm yöntemi ile gaz ve/veya büzülmeden kaynaklanan gözeneklerin

oluşması engellenmiş ve gözenek oranı (%0,54) önemli ölçüde azaltılmıştır. Ayrıca yüksek basınç (100 MPa) nedeniyle, SiC parçacıklarının kümелendiği bölgelere sıvı metalin iletimi sağlandığından bu bölgelerde boşluk oluşumu önlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda çekme dayanımı 161 MPa, akma dayanımını 133 MPa bulmuştur.

6.2. Charpy Çentik Darbe Deneyi Sonuçları

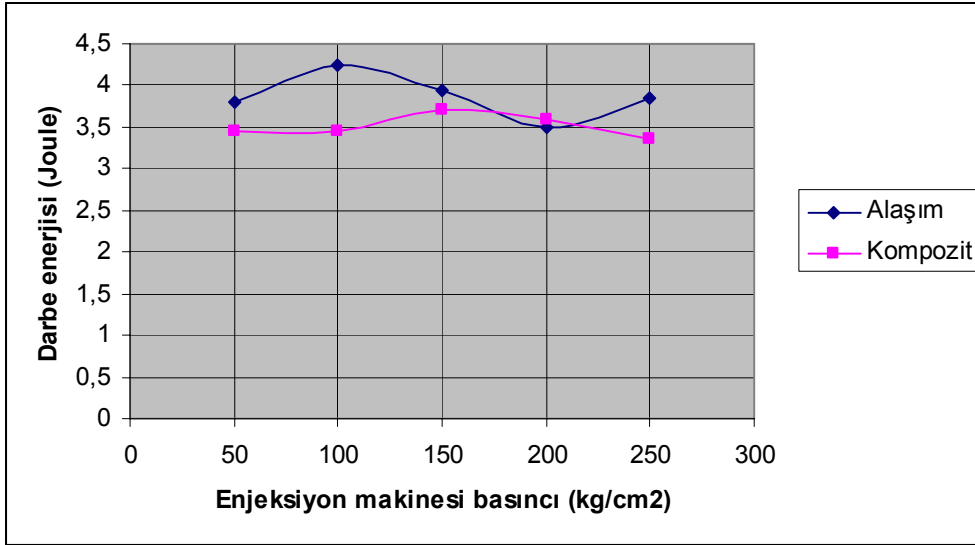
Bu çalışmada üretilen takviyesiz alaşım ve kompozit numunelerin darbe deney sonuçları Çizelge 6.2’de verilmiştir. Şekil 6.3’te enjeksiyon basıncına bağlı darbe enerjisi değişim grafiği verilmiştir. Çizelge 6.2 ve Şekil 6.3 incelendiğinde değerlerin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Takviyesiz alaşım numunelerinin darbe enerjileri kompozit numunelere göre biraz daha fazladır. Takviyesiz alaşım numunelerinin ortalama darbe enerjisi 3,87 J, kompozit numunelerin darbe enerjisi 3,51 J’dür. SiC parçacık ilavesi kompozit numuneleri gevrekletmiştir. Parçacıkların kalıp boşluğunda homojen dağılmaması ve matris/takviye elemanı ara yüzeyinde oluşan mikro gözenekler kompozit numunelerin darbe enerjisini düşürmüştür.

Çizelge 6.2. Charpy darbe deneyi değerleri

Malzeme kodu	Ortalama Darbe Enerjisi (J)
A1	3,80
A2	4,25
A3	3,95
A4	3,50
A5	3,85
K1	3,45
K2	3,45
K3	3,70
K4	3,60
K5	3,35

A1 numunesinin enerjisi 3,8 J iken basıncın artmasıyla A2 numunesinin enerjisi artarak 4,25 J’e çıkmıştır. Ancak bir sonraki parametrede basıncın artmasıyla A3

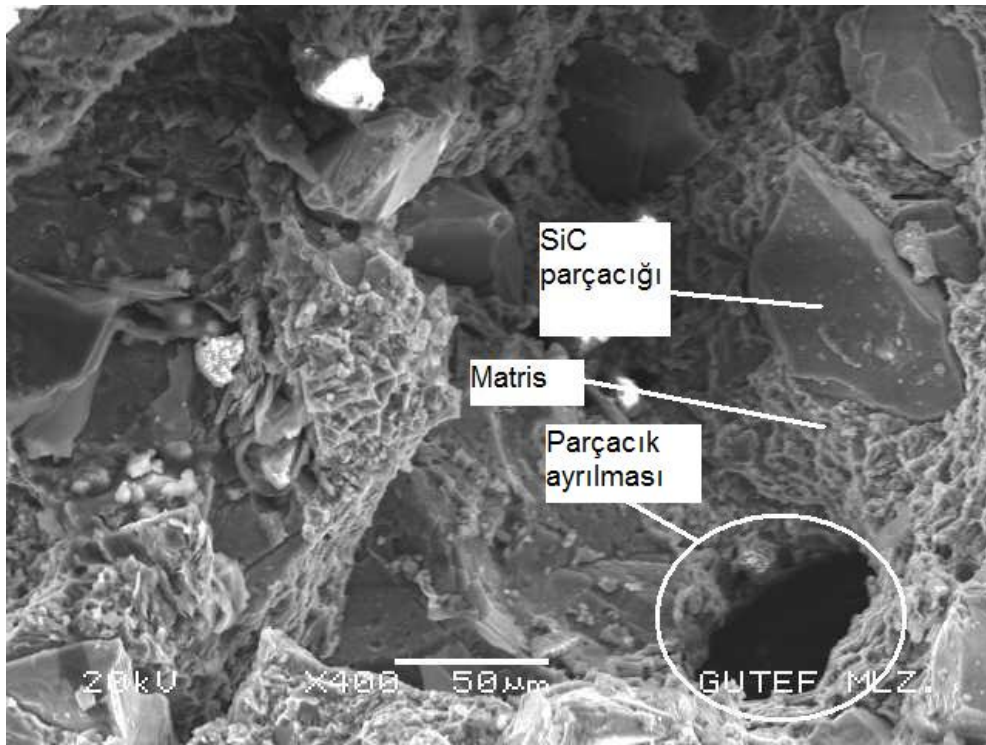
numunesinde darbe enerjisi 3,95 J'e düştüğü görülmektedir. A4 numunesinde basınç artmasına rağmen darbe enerjisi 3,5 J'e düşmüştür. En yüksek basınç değerinde darbe enerjisi artmış ve 3,85 J olmuştur. Darbe enerjilerindeki dalgalanmalar enjeksiyon basıncının darbe enerjisini arttırmadığını göstermektedir.



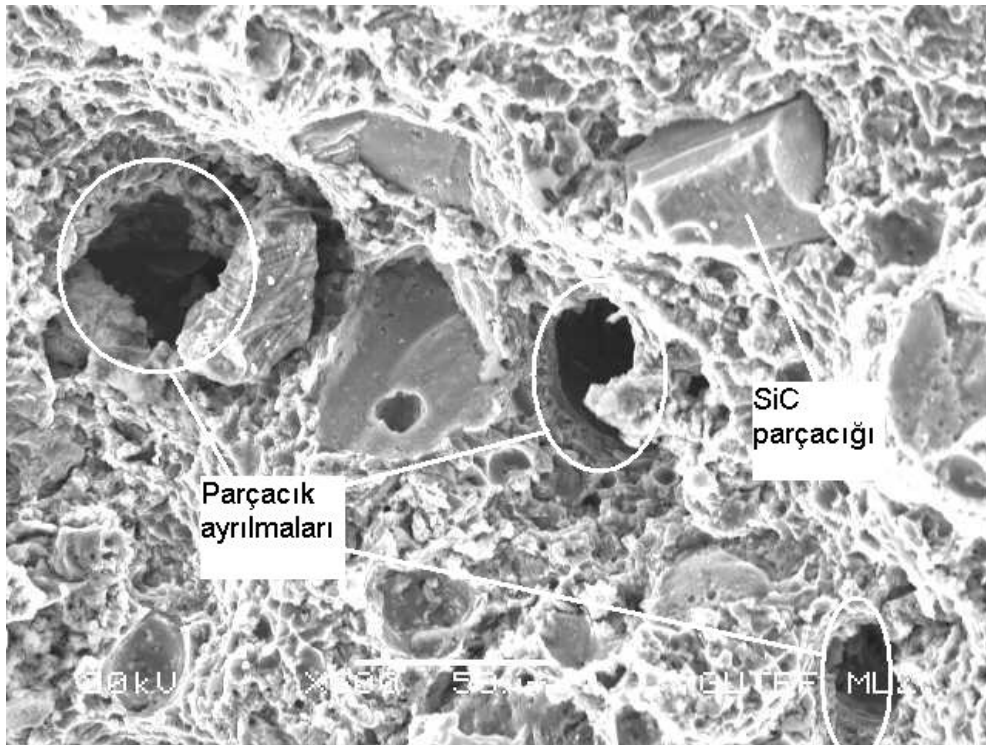
Şekil 6.3. Alaşım ve kompozit numunelerin darbe enerjilerinin basınca bağlı değişimi

Ekici (2004), yaptığı çalışmada takviyesiz alaşım numuneleri ile kompozit numunelerini karşılaştırmış ve takviyesiz alaşım numunelerinin darbe tokluklarının daha yüksek olduğunu tespit etmiştir. Matris malzemesi ile takviye elemanı iyi karışmamış ve bunun sonucunda topaklanmalar olmuştur. Ayrıca topaklanma iyi bir ıslanmayı engellemiş ve darbe tokluğunun düşmesine neden olmuştur. Ayrıca darbe tokluğunu etkileyen başka bir faktör parçacık boyutudur. Ekici çalışmasında hacimce %10 SiC, 167 ve 511 μm 'lik parçacık kullanmış ve parçacık boyutu arttıkça darbe tokluğunun da arttığını tespit etmiştir.

Resim 6.6 ve Resim 6.7 incelendiğinde SiC parçacıklarının matris/takviye elemanı ara yüzeyinden ayrılması sonucu oluşan boşluklar görülmektedir. Kırılma yüzeyleri SiC parçacıklarının kırılması şeklinde değil matris/takviye elemanı ara yüzeyinden olduğu görülmektedir.



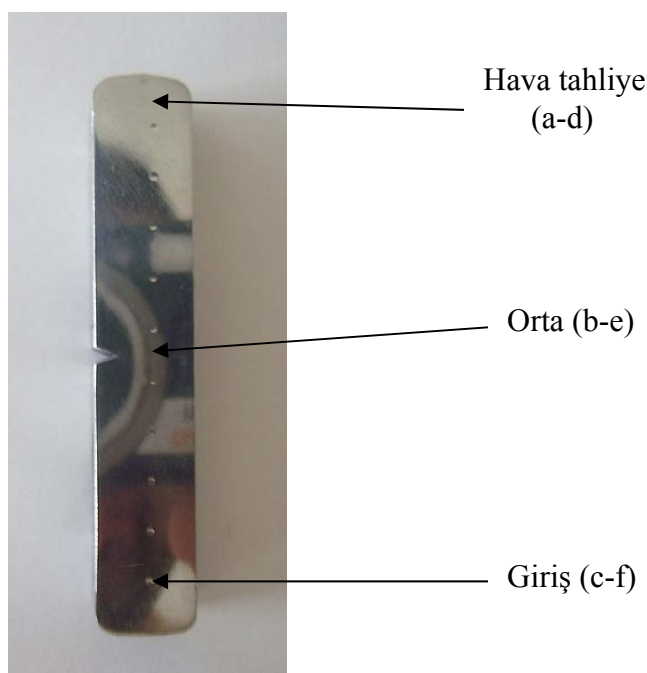
Resim 6.6. Charpy çentik darbe testi sonrası kırık yüzeye ait SEM görüntüsü



Resim 6.7. Charpy çentik darbe testi sonrası diğer bir kırık yüzeye ait SEM görüntüsü

6.3. Mikroyapı İncelemesi

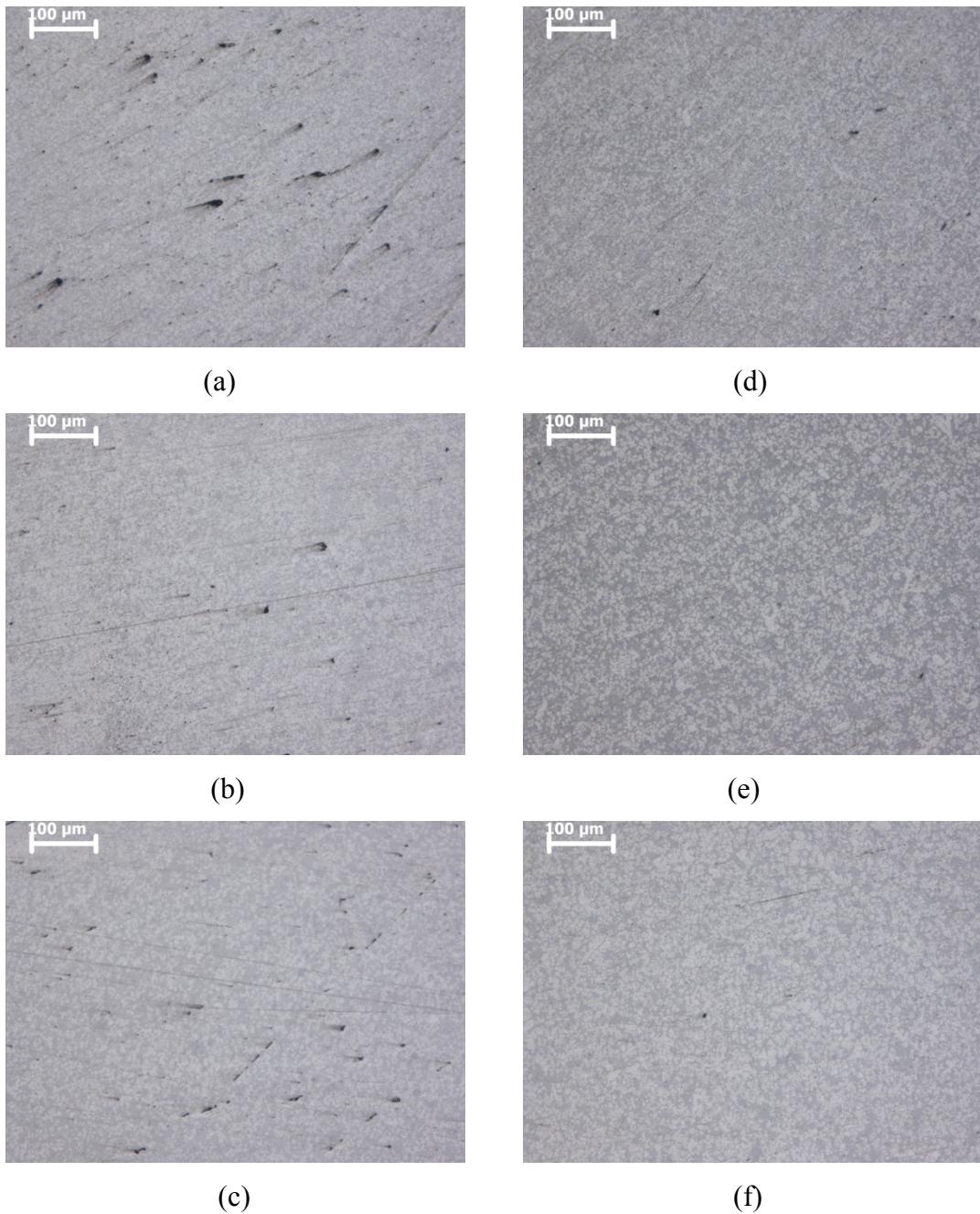
Bu çalışmada Charpy darbe deneyi takviyesiz alaşım numuneleri ile kompozit numuneleri ve kompozit çekme numunelerinin mikroyapıları incelenmiştir. Her numuneden malzeme giriş bölgesi, orta bölgesi ve hava tahliye bölgesi olmak üzere optik mikroskopta üç adet fotoğraf çekilmiştir. Resim 6.8’de Charpy darbe deneyi numunesinin fotoğraf alınan bölgeleri gösterilmektedir.



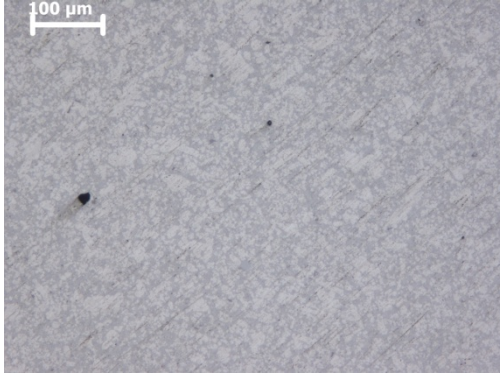
Resim 6.8. Charpy darbe deneyi numunesi

Resim 6.9, Resim 6.10 ve Resim 6.11 incelediğinde hiçbir numunenin giriş bölgesinde gözenek yoktur. A1 numunesinde özellikle hava tahliye bölgesinde mikro gözenekler görülmektedir. A2 numunesinde gözenekli yapı bulunmamaktadır. A3 ve A4, numunelerinde gözenekli yapı orta bölgede görülmektedir. A5 numunesinde ise hava tahliye bölgesindedir. Basıncın artmasıyla gaz boşluğu giderek azalmıştır. Burada gözeneklerin boyutları $10\ \mu\text{m}$ 'nin altında ve çok yoğun değildir. Döküm öncesi gaz giderme işlemleri yapılmasına rağmen az da olsa mikro gözeneklerin oluştuğu gözlenmektedir. Gözenek oluşumunun sebebi alaşım içerisinde kalan gazlar olabilir. Alüminyum ve alaşımları ergiyik halinde hidrojen absorbe etme özelliğine

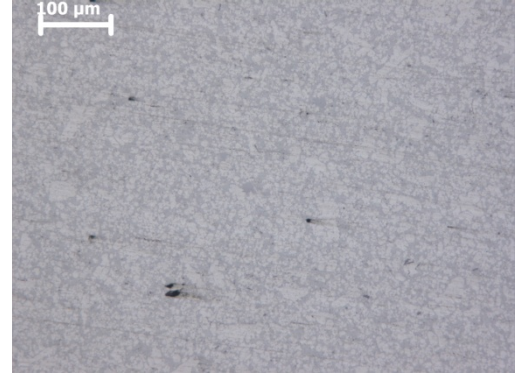
sahiptir. Alüminyum alaşımlarında gaz boşluğuna neden olan birçok hidrojen kaynağı mevcuttur. Fırın atmosferi, şarj edilen malzeme, nemli ekipmanlar ve malzemeler, metal ile kalıp arasındaki reaksiyonlar başlıca hidrojen kaynaklarıdır.



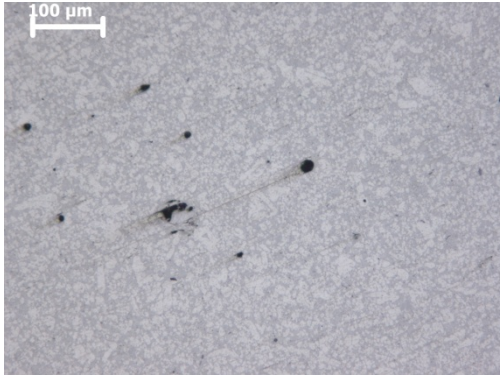
Resim 6.9. A1 ve A2 Charpy darbe deneyi numunelerinin mikroyapısı
 (a) A1'in hava tahliye kısmı, (b) A1'in orta kısmı, (c) A1'in giriş kısmı,
 (d) A2'nin hava tahliye kısmı, (e) A2'nin orta kısmı, (f) A2'nin giriş kısmı



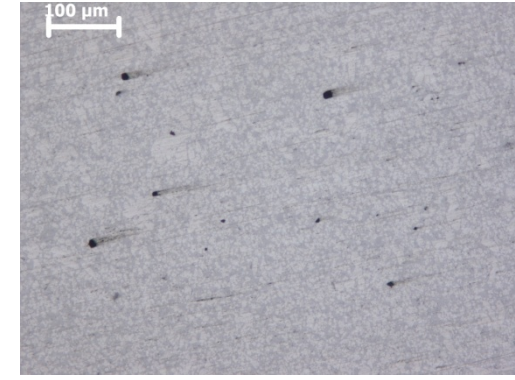
(a)



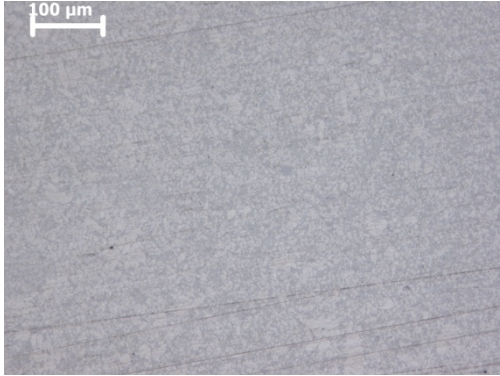
(d)



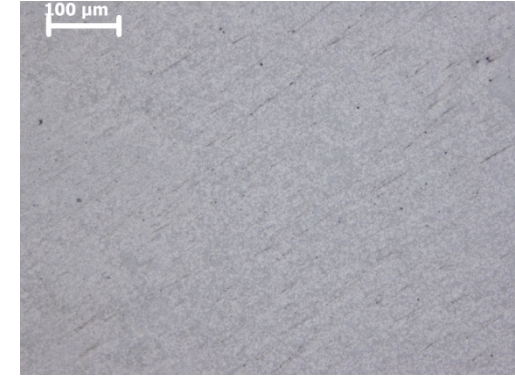
(b)



(e)



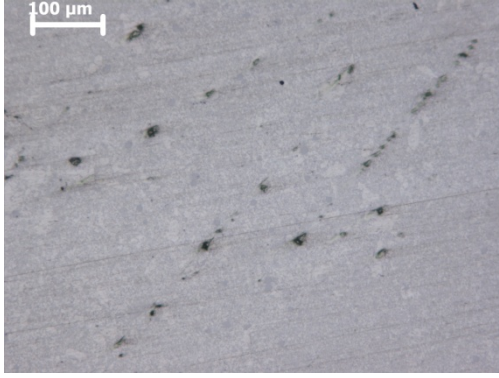
(c)



(f)

Resim 6.10. A3 ve A4 Charpy darbe deneyi numunelerinin mikroyapısı

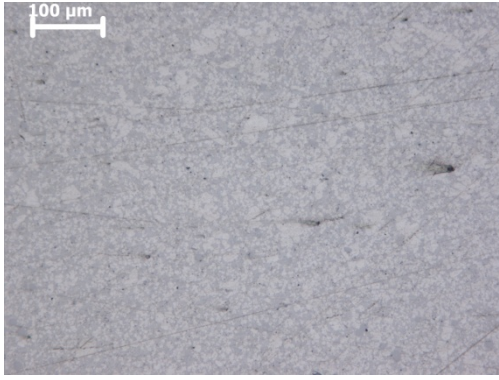
(a) A3'ün hava tahliye kısmı, (b) A3'ün orta kısmı, (c) A3'ün giriş kısmı,
(d) A4'ün hava tahliye kısmı, (e) A4'ün orta kısmı, (f) A4'ün giriş kısmı



(a)



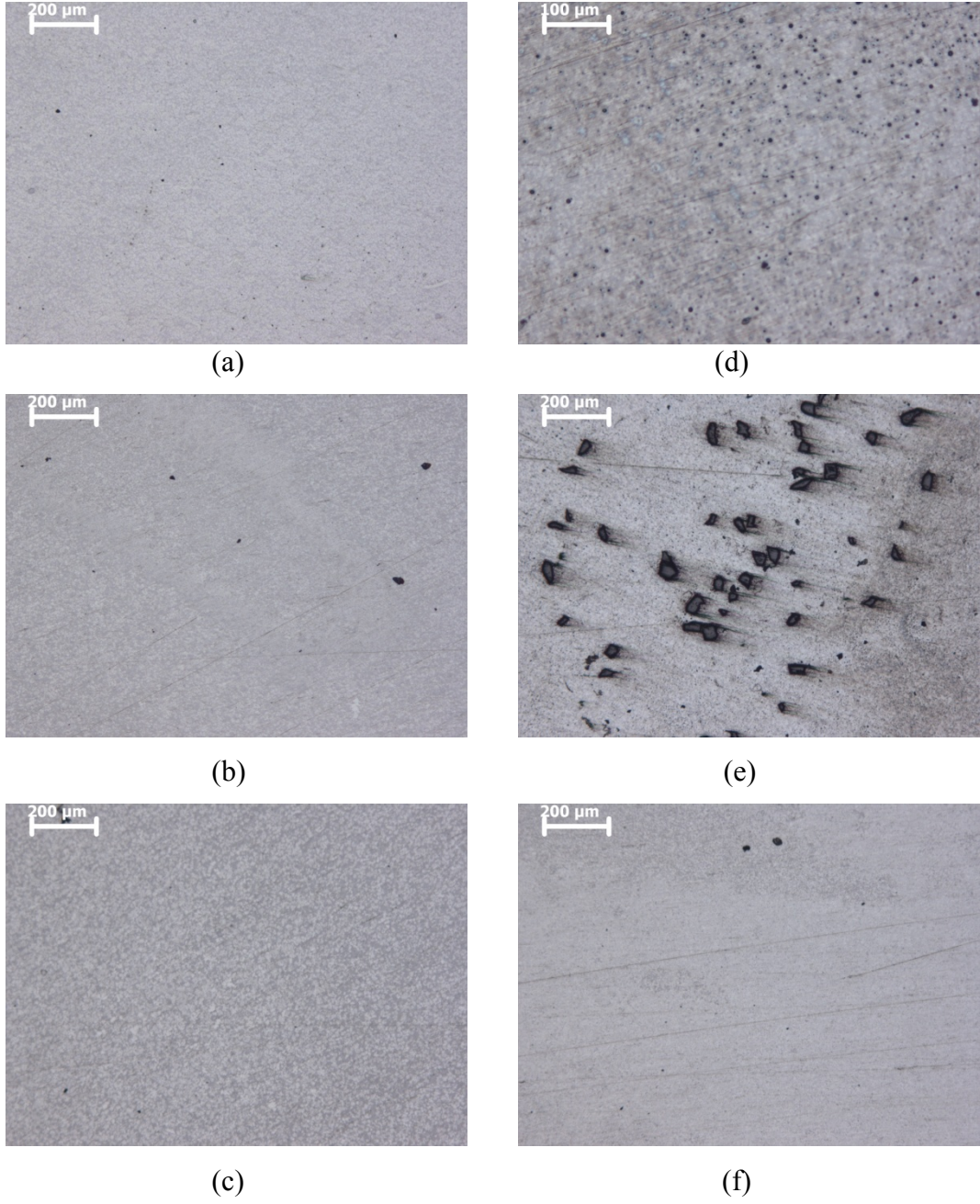
(b)



(c)

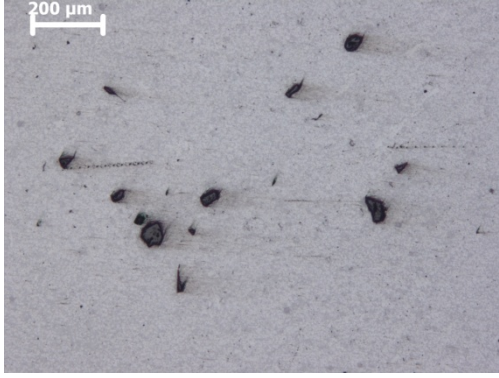
Resim 6.11. A5 Charpy darbe deneyi numunesinin mikroyapısı
(a) A5'in tahliye kısmı, (b) A5'in orta kısmı, (c) A5'in giriş kısmı

Resim 6.12 incelendiğinde K1 kompozitinde SiC parçacığı bulunmamaktadır. K2 kompozitinde ise orta bölgesinde parçacıklar toplanmıştır. Karıştırma işlemi yapılmasına rağmen potada parçacıkların matris almasını içinde homojen dağılmadığı SiC parçacıklarının pota içerisinde belirli bölgelerde toplandığı anlaşılmaktadır. K1 numunesinin döküm işlemi sırasında kepçeye parçacısız sıvı metal gelmiştir. K2 kompozitinin döküm işlemi sırasında ise potadan kepçeye az oranda parçacıklı sıvı metal alınmıştır.

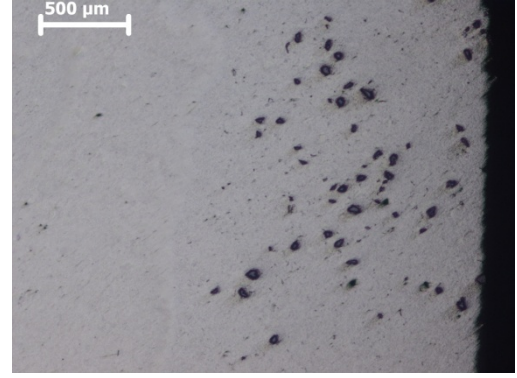


Resim 6.12. K1 ve K2 Charpy darbe deneyi numunelerinin mikroyapısı
 (a) K1'in hava tahliye kısmı, (b) K1'in orta kısmı, (c) K1'in giriş kısmı,
 (d) K2'nin hava tahliye kısmı, (e) K2'nin orta kısmı, (f) K2'nin giriş kısmı

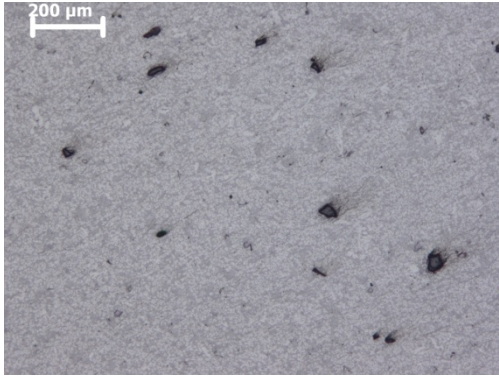
Resim 6.13'de K3 ve K4 numunelerinde parçacıkların K1, K2 ve K5 numunelerine göre parça üzerinde daha homojen dağıldığı görülmektedir.



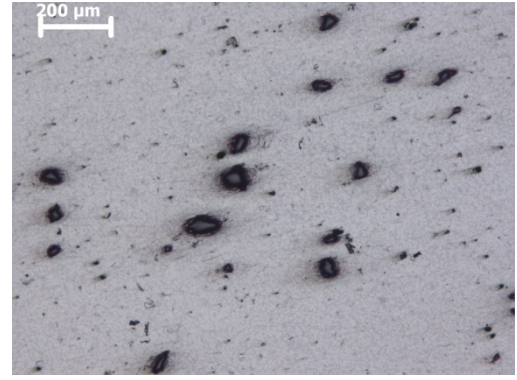
(a)



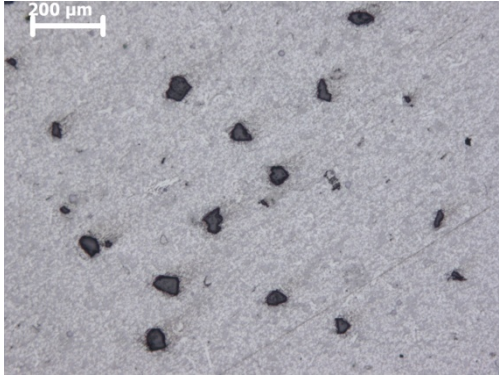
(d)



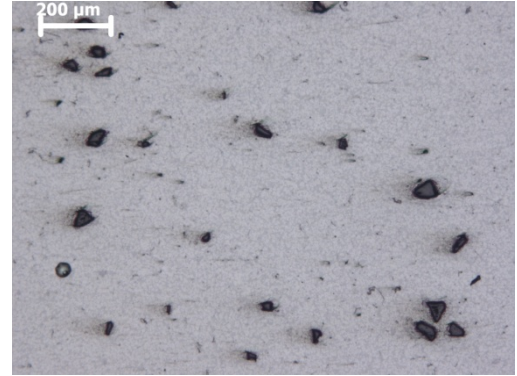
(b)



(e)



(c)



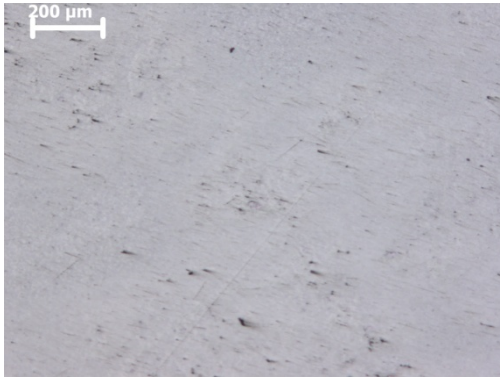
(f)

Resim 6.13. K3 ve K4 Charpy darbe deneyi numunelerinin mikroyapısı

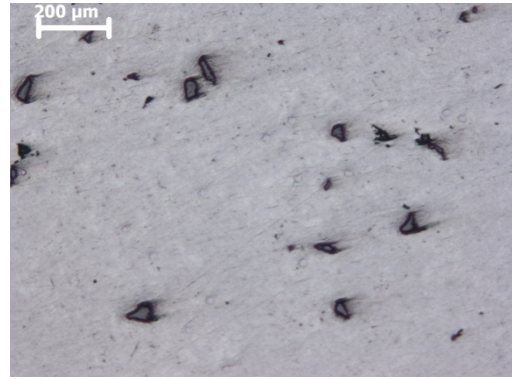
(a) K3'ün hava tahliye kısmı, (b) K3'ün orta kısmı, (c) K3'ün giriş kısmı, (d) K4'ün hava tahliye kısmı, (e) K4'ün orta kısmı, (f) K4'ün giriş kısmı

Resim 6.14 incelendiğinde K5 kompozitinde ise parçacıklar orta bölgelerde toplanmış giriş ve hava tahliye bölgelerinde parçacık bulunmamaktadır. Charpy darbe numuneleri içindeki parçacıkların dağılımı basınca bağlı bir değişimi

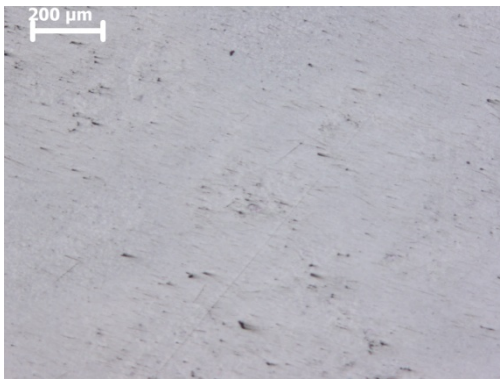
gözenlenmemiştir. Bazı parçalarda orta kısımda bazı parçalarda ise giriş kısımlarında toplanmıştır.



(a)



(b)



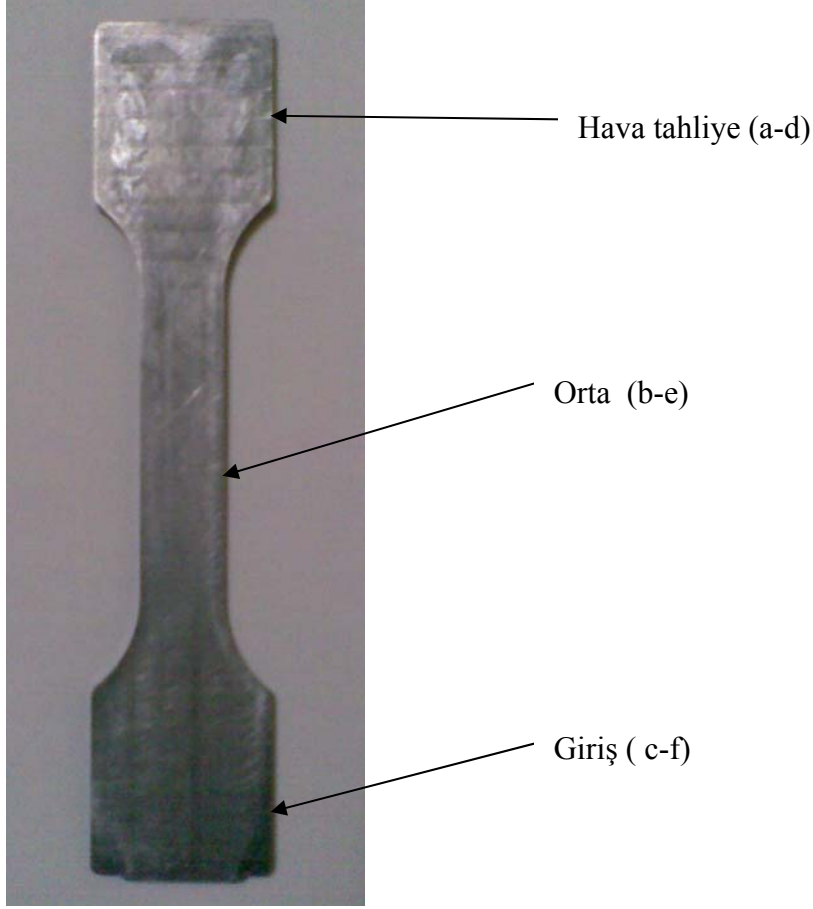
(c)

Resim 6.14. K5 Charpy darbe deneyi numunesinin mikroyapısı

(a) K5'in hava tahliye kısmı, (b) K5'in orta kısmı, (c) K5'in giriş kısmı

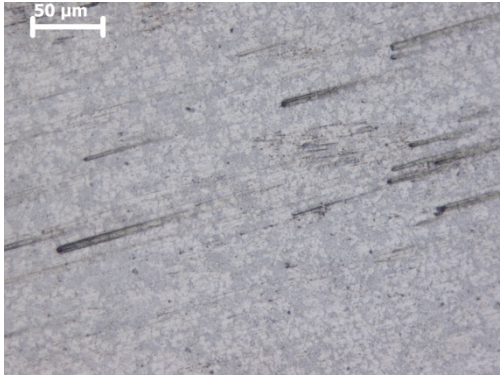
Kompozit parçaların mekanik özelliklerinde iyileşme olmamasının nedeni mikroyapı incelemelerinde görülmektedir. Parçacıkların matris alaşımına yeterli oranda karışmaması ve homojen dağılımın sağlanamaması, ayrıca takviye elemanı ile matris alaşımı ara yüzeyinin oluşmaması veya mikro gözeneklerin oluşması mekanik özellikleri olumsuz etkilemiştir.

Resim 6.15'de ise çekme numunesinin fotoğraf alınan bölgeleri gösterilmektedir.

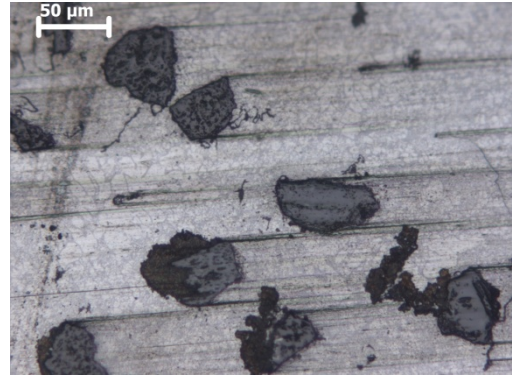


Resim 6.15. Çekme numunesi

Resim 6.16, Resim 6.17 ve Resim 6.18 incelendiğinde çekme numunelerinde Charpy darbe numunelerine göre parçacık dağılımının daha homojen olduğu gözlenmiştir. Ayrıca çekme numunelerindeki parçacık miktarının daha yoğun olduğu görülmektedir.



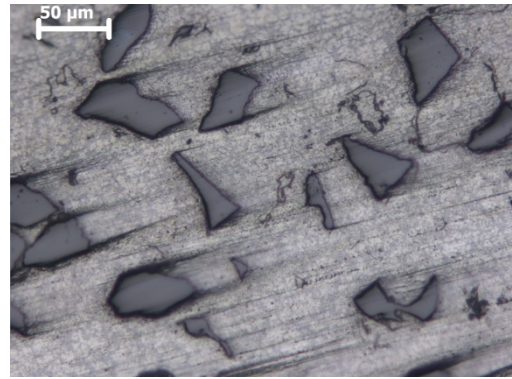
(a)



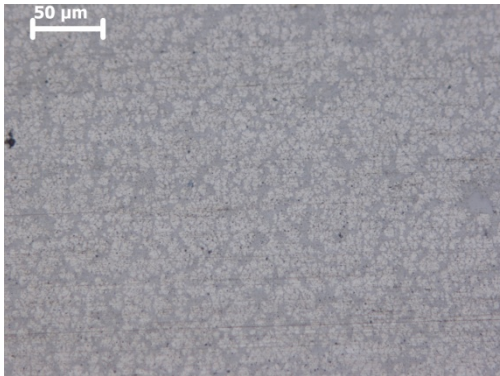
(d)



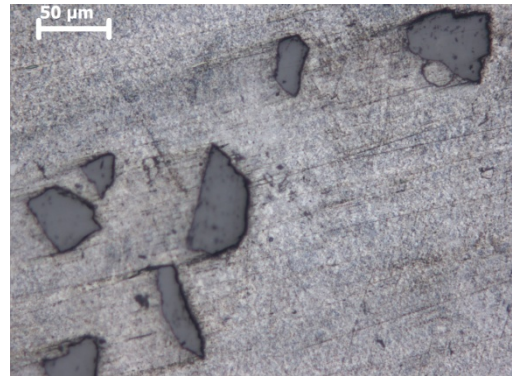
(b)



(e)



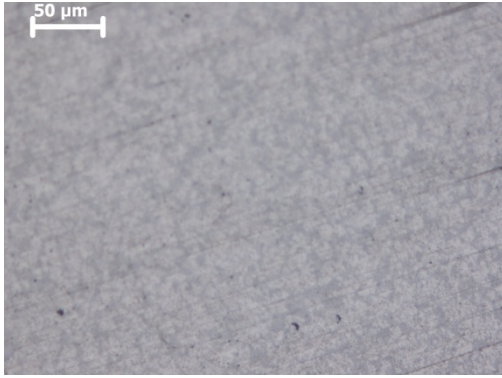
(c)



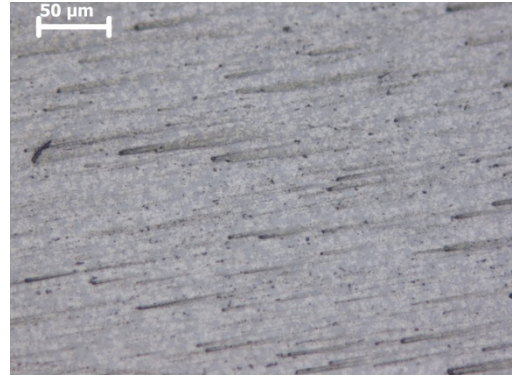
(f)

Resim 6.16. K1 ve K2 Çekme numunelerinin mikroyapısı

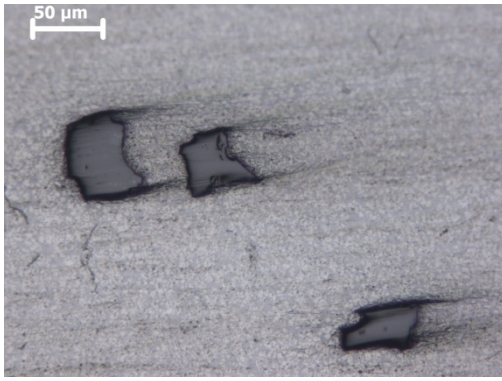
(a) K1'in hava tahliye kısmı, (b) K1'in orta kısmı, (c) K1'in giriş kısmı,
(d) K2'nin hava tahliye kısmı, (e) K2'nin orta kısmı, (f) K2'nin giriş kısmı



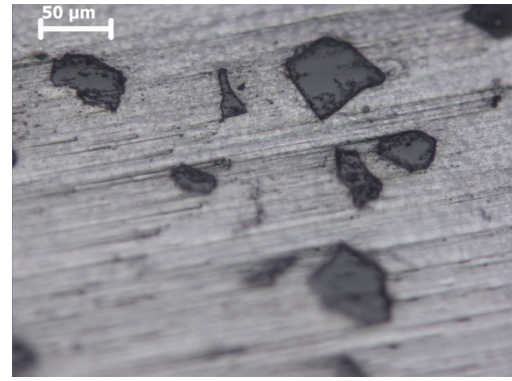
(a)



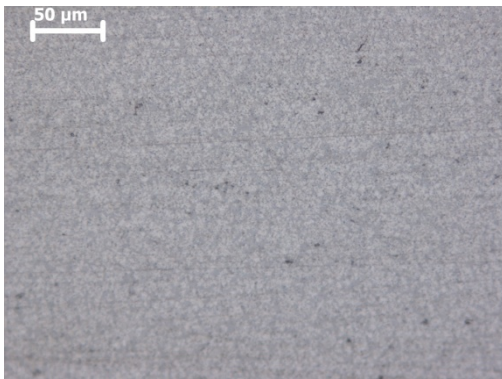
(d)



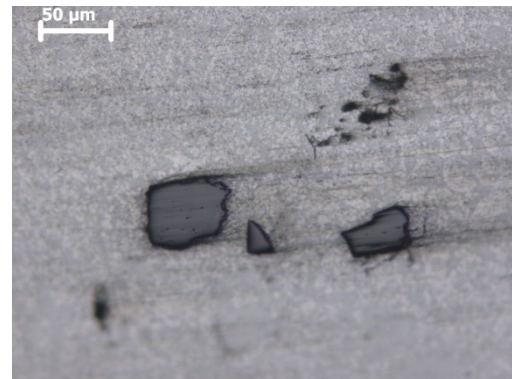
(b)



(e)



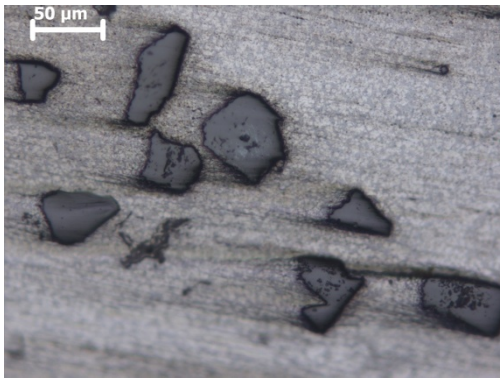
(c)



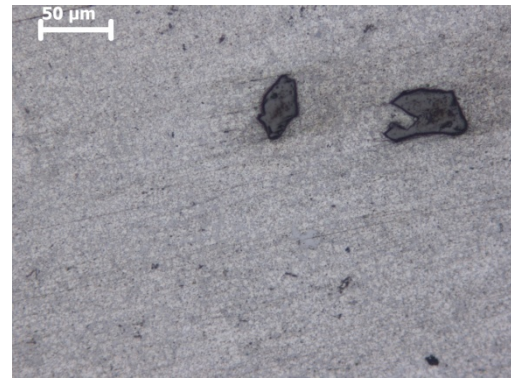
(f)

Resim 6.17. K3 ve K4 Çekme numunelerinin mikroyapısı

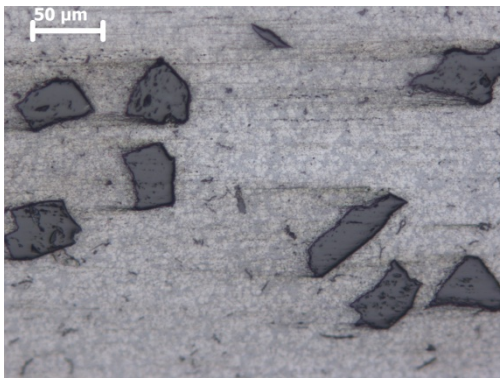
(a) K3'ün hava tahliye kısmı, (b) K3'ün orta kısmı, (c) K3'ün giriş kısmı,
(d) K4'ün hava tahliye kısmı, (e) K4'ün orta kısmı, (f) K4'ün giriş kısmı



(a)



(b)



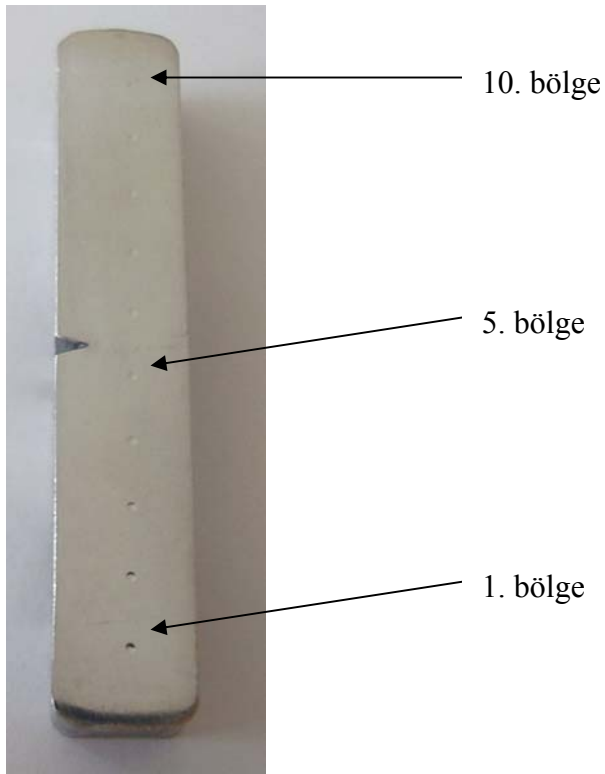
(c)

Resim 6.18. K5 çekme numunesinin mikroyapısı

(a) K5'in hava tahliye kısmı, (b) K5'in orta kısmı, (c) K5'in giriş kısmı

6.4. Sertlik Deneyi Sonuçları

Charpy darbe numuneleri ölçülen sertlik değerleri ve numune üzerindeki bölgelere göre dağılımı Çizelge 6.3'de verilmiştir. Her bir numune üzerinde on bölge tanımlanmış ve sertlik ölçümü yapılmıştır. Birinci bölge malzeme girişi, onuncu bölge hava tahliye kısmıdır. Resim 6.19'da sertlik ölçülen bölgeler gösterilmektedir. SiC parçacık ilavesi kompozit numunelerin sertliğini arttırmış. Kompozit numunelerin ortalama sertlik değeri 97 HBN, takviyesiz alaşım numunelerin ortalama sertlik değeri 86 BHN ölçülmüştür.

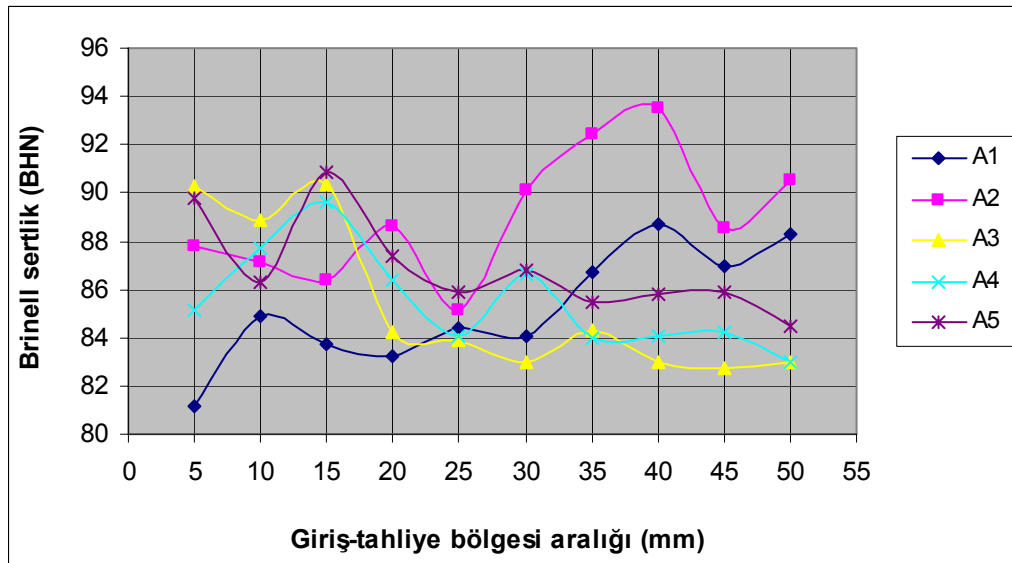


Resim 6.19. Sertlik ölçülen bölgeler

Çizelge 6.3. Brinell sertlik ölçüm deneyi değerleri

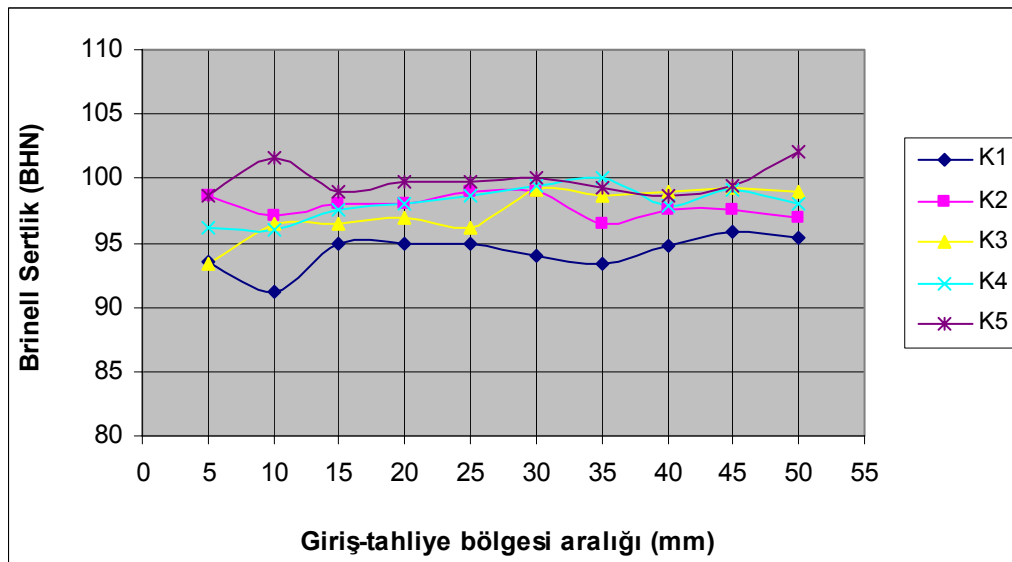
Malzeme kodu	1. Bölge	2. Bölge	3. Bölge	4. Bölge	5. Bölge	6. Bölge	7. Bölge	8. Bölge	9. Bölge	10. Bölge	Ort.
A1	81,2	84,9	83,7	83,2	84,4	84,1	86,7	88,7	87	88,3	85,2
A2	87,8	87,1	86,4	88,6	85,1	90,1	92,4	93,5	88,5	90,5	89
A3	90,3	88,9	90,4	84,2	83,9	83	84,3	83	82,7	83	85,3
A4	85,1	87,7	89,6	86,4	84,1	86,6	84	84,1	84,2	83	85,4
A5	89,8	86,3	90,9	87,4	85,9	86,8	85,5	85,8	85,9	84,5	86,8
K1	93,6	91,2	95	95	95	94	93,4	94,8	95,9	95,4	94,3
K2	98,6	97,1	98	98	99	99	96,5	97,6	97,6	97	97,8
K3	93,4	96,4	96,5	97	96,2	99,1	98,7	98,9	99,3	99	97,4
K4	96,2	96	97,6	98	98,7	99,5	100	97,8	99,1	98	98
K5	98,7	101,6	99	99,7	99,8	100	99,2	98,7	99,5	102	99,8

Şekil 6.4 incelendiğinde alaşım numunelerinin bölgesel sertlik değerleri görülmektedir. Basınca bağlı düzenli artış gözlenmemiştir. Ortalama değerler birbirine yakındır.



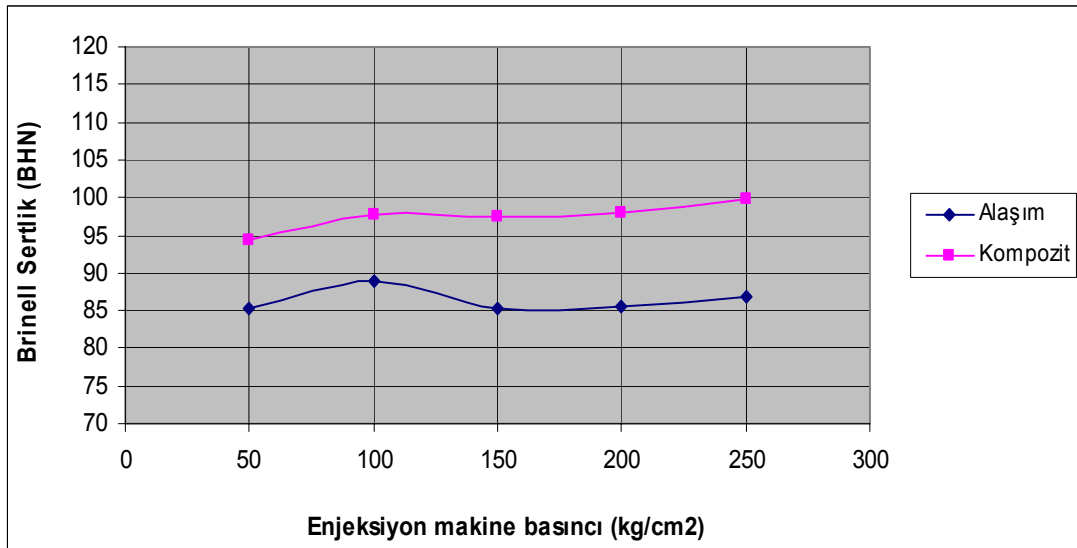
Şekil 6.4. Charpy darbe deneyi alaşım numunelerinin bölgesel sertlik değişimi

Şekil 6.5'te kompozit numunelerin enjeksiyon basıncının artmasıyla sertlik değerinde küçük artış olmuştur. K1 kompoziti ile K5 kompoziti arasında 5,5 BHN'lik bir artış gözlenmiştir.



Şekil 6.5. Charpy darbe deneyi kompozit numunelerinin bölgesel sertlik değişimi

Şekil 6.6’da kompozit numunelerin takviyesiz alaşım numunelerine göre sertliğinin yaklaşık 10 BHN daha fazla olduğu görülmektedir. SiC parçacık takviyesi numunelerin sertliğini arttırmıştır.



Şekil 6.6. Kompozit numune ile alaşım numunesi ortalama sertlik değerleri

Alüminyum matris alaşımlı kompozit malzemelerde SiC parçacık oranı arttıkça sertlik de artmaktadır. Özdin (2006), yaptığı çalışmada Al 2011 alaşımına farklı hacim oranlarında farklı boyutlarda SiC parçacıkları takviye edilmiş, sıkıştırılmalı döküm (5 MPa) yöntemiyle kompozit malzemeler üretmiştir. Çalışmasında parçacık oranının ve boyutunun artmasıyla sertlik değerinin arttığını tespit etmiştir. Hacimce %15 oranında 64 µm SiC parçacık takviyeli kompozitinin sertlik değeri 117, hacimce %10 64 µm SiC parçacık takviyeli kompozitinin sertlik değerini ise 111 Brinell bulmuştur. Hacimce %15, 240 µm SiC parçacık takviyeli kompozit malzemenin sertlik değeri ise 127 Brinell olarak ifade etmiştir.

Ekici (2004), ekstrüzyonla ürettiği kompozitlerde ekstrüzyon oranının sertliği etkilemediğini tespit etmiştir. Yapılan sertlik deneylerinde 167 µm’lik parçacık boyutlu kompozitlerin 511 µm’lik parçacık boyutlu kompozitlerden daha sert olduğu anlaşılmıştır. Genel olarak malzemelere yapılan termomekanik işlemler malzemelerin mekanik özelliklerini iyileştirmektedir. Ancak Ekici (2006)’nin yaptığı

çalışma ve bu çalışmada alaşım numunelerinde yapılan işlemlerin sertliği etkilemediği ancak kompozit numunelerde enjeksiyon basıncının sertliği arttırdığı görülmüştür.

6.5. Gözenek Ölçüm Sonuçları

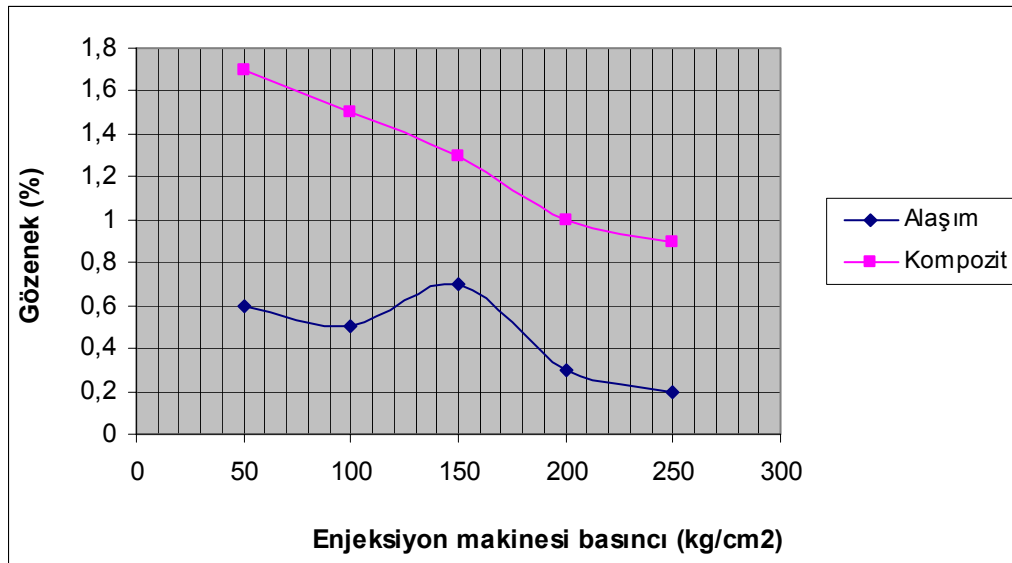
Bu çalışmada gözenek miktarı Arşimed prensibine göre yapılan ölçümlerden hesaplanmıştır. Gözenek yüzdesi hesabında aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır. Teorik yoğunluk ise kompozitin içerdiği SiC parçacık %10 hacim oranına göre hesaplanmıştır. Çizelge 6.4’de gözenek oranları verilmiştir.

$$\% \text{ gözenek} = ((d_{\text{teorik}} - d_{\text{deneysel}}) / d_{\text{teorik}}) \times 10$$

Çizelge 6.4. Arşimed prensibine göre gözenek ölçüm değerleri

Malzeme kodu	Uygulanan basınç (kg/cm ²)	Teorik yoğunluk (g/cm ³)	Deneysel yoğunluk (g/cm ³)	Gözenek (%)
Matris Alaşımı		2,64	2,64	0
A1	50	2,64	2,625	0,6
A2	100	2,64	2,627	0,5
A3	150	2,64	2,622	0,7
A4	200	2,64	2,632	0,3
A5	250	2,64	2,635	0,2
K1	50	2,696	2,651	1,7
K2	100	2,696	2,655	1,5
K3	150	2,696	2,662	1,3
K4	200	2,696	2,670	1,0
K5	250	2,696	2,672	0,9

Şekil 6.7 incelendiğinde gözenek yüzdesinin basınç arttıkça düştüğü görülmektedir. Alaşıma göre kompozit malzemelerin gözenek yüzdeleri daha yüksektir. Bunun nedeni parçacık topaklanması ve matris/takviye elemanı arayüzeyinde oluşan mikro gözeneklerdir.



Şekil 6.7. Alaşım ve kompozit numunelerin gözeneklerinin basınca bağlı Değişimi

Gözenekler yükün uygulandığı alanı azaltarak malzemenin mekanik özelliklerini olumsuz etkileyen önemli bir parametredir. Bu çalışmada yüksek basınçlı döküm uygulanarak ve döküm öncesinde gaz alma işlemleri yapılarak gözenekli yapının oluşması engellenmiştir. Uygulanan yüksek basınç, katılaştan metal içerisinde gaz ve büzülmeden kaynaklanan gözeneklerin oluşmasını engellemektedir. Basınç sayesinde SiC parçacıklarının arasına sıvı alüminyum girerek boşlukların oluşması önlenmiştir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Vorteks metodu ile ergimiş alüminyum alaşımı Etial 171 içerisine hacimce %10 oranında, 64 μm boyutunda SiC parçacıkları takviye edilerek kompozit ve takviyesiz alaşım metal enjeksiyon makinesinde ayrı ayrı, beş farklı basınçta dökülerek çekme ve Charpy darbe çentik numuneleri üretilmiştir. Kompozit ve alaşım numunelerinin mekanik özellikleri araştırılmıştır. Üretilen kompozitlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi üzerine yapılan bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Matris ile SiC parçacıkları arasında iyi bir ıslanmanın olmaması kompozit malzemelerin çekme ve akma mukavemet değerlerinin takviyesiz alaşım numunelerine göre daha düşük olmasına neden olmuştur.
2. Yüzde uzama değeri 5,5 civarında olan takviyesiz alaşımın, hacimce %10 oranında SiC parçacık ilavesi ile kompozit çekme numunelerinin yüzde uzama değeri 2'ye düşmüştür.
3. SiC parçacık ilavesi ile numunelerin darbe dayanımları düşmüştür. En yüksek darbe dayanımı en yüksek basınçta dökülmüş olan A5 numunesine aittir. En düşük darbe dayanımı SiC takviyeli düşük basınçlı numunede elde edilmiştir.
4. Hacimce %10 SiC parçacık ilavesi kompozit numunelerin sertliğini yaklaşık 10 HBN arttırmıştır.
5. Enjeksiyon basıncının artmasıyla sertlik miktarında çok az artış görülmüştür. Enjeksiyon basıncının sertlik üzerinde fazla bir etkisi olmadığı sonucuna varılmıştır.
6. Kompozit malzemelerde gözenek miktarının takviyesiz alaşımın gözenek miktarından daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeni matris/takviye elemanı arayüzeyinde oluşan mikro gözeneklerdir.

7. Basınçlı pres dökümle yapılan numunelere uygulanan enjeksiyon basıncı en yüksek 153 MPa'dır. En yüksek basınç değerinde en düşük gözenek miktarı (%0,2) elde edilmiştir.
8. Takviye elemanının ilave işleminden sonra pota içinde SiC parçacıkları sıvı metal yüzeyinde toplanmıştır. Islanmanın yeterli olmadığı gözlenmiştir. Basınçlı pres döküm yöntemiyle üretilen kompozitlerde parçacıkların hem döküm potası içinde hem de kalıp boşluğu içinde homojen dağıtılamadığı sonucuna varılmıştır.
9. Döküm işlemi sırasında yirmi beş baskı yapılmış, SiC parçacıkları sıvı metalin doldurulduğu piston silindir düzeneğini ve kalıp yüzeyini aşındırmıştır. Kalıpta ve pistonda meydana gelen bu aşınmalar alüminyumun yüzeylere sıvanmasına ve yapışmasına neden olmuştur. Bu çalışmada kullanılan basınçlı pres döküm yöntemi kompozit malzemenin seri üretimine uygun değildir.

Bu çalışmada sabit enjeksiyon hızı ile farklı basınçlarda numuneler üretilmiştir. Farklı enjeksiyon hızlarında numuneler üretilip incelenebilir.

Bu çalışmada oksidasyon yapılarak metal matrisle takviye malzemesi SiC parçacıkları arasında iyi bir ıslanma elde edilememiştir. SiC parçacıklarına Ni, SiO₂, TiO₂ kaplama yapılarak daha iyi ıslanma ve bunun sonucunda mekanik özellikleri daha iyi kompozit malzemeler elde edilebilir.

KAYNAKLAR

1. Acun, S., “SiC Partikül Takviyeli Alüminyum Alaşım Matriksli Kompozit Malzemelerde Yaşlandırma İşleminin Mekanik Özelliklere Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 7, 9-10, 15-16 (2007).
2. Özdin, K., “Alüminyum Esaslı SiC Takviyeli Kompozitlerin Üretimi Ve Aşınma Özelliklerinin Araştırılması” , Doktora tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 5-7, 60-61 (2006).
3. Tekmen, Ç., “Metal Matriksli Kompozitlerin Sıkıştırılmalı Döküm Yöntemi İle Üretimi” , Doktora Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 15, 19, 30, 110-111, 116 (2006).
4. Kılıç, E. F., “Alüminyum Alaşımli SiC Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Toz Metalurjisi Yöntemi İle Üretimi Ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi” , Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 6, 11-13 (2007).
5. Ekici, R., “Alüminyum Esaslı SiC Partikül Takviyeli Metal Matriksli Kompozit Malzemelerin Darbe Davranışlarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri, 35-36, 38-39, 40, 42-43, 48, 50-53, 58-59 (2004).
6. Boylu, S., Kaynak, C., “Effects of SiC particulates on the fatigue behaviour of an Alloy Matrix composite”, *Material & Design*, 27: 776-782 (2006).
7. Shan, D., Nayeib-Hasemi, H., “Fatigue-life prediction of SiC aluminum composite using a Weibull model”, *NDT&E International*, 32: 265-274 (1999).
8. Lu, Y.X., Meng, X.M., Lee, C.S., Li, R.K.Y., Huang, C.G., Lai, J.K.L., “Microstructure and mechanical behaviour of a SiC particles reinforced Al-5Cu composite under dynamic loading”, *Journal of Materials Processing Technology*, 94: 175-178 (1999).
9. Bekheet, N.E., Gadelrab, R.M., Salah, M.F., Abd El-Azim, A.N., “The Effect of aging on the hardness and fatigue behavior of 2024 alloy / SiC composites” , *Material & Design*, 23: 153-159 (2002).
10. Dong, S.L., Mao, J.F., Yang, D.Z., Cui, YX., Jiang, L.T., “Age-hardening behavior of a SiCw/Al-Li-Cu-Mg-Zr composite”, *Materials Science & Engineering A*, 327, 213-223 (2002).

11. Şahin, Y., “Kompozit Malzemelere Giriş”, *Seçkin Yayıncılık San. Tic. Aş.*, Ankara, 118-119, 125, 234 (2006).
12. Çiğdemoğlu, M., “Basınçlı döküm , Cilt 1”, *Makine Mühendisleri Odası*, Yayın No: 77, Ankara, 8, 11-12, 23, 69-70, 80-86, 96-97, 103-104 (1972).
13. Çavuşoğlu, E.N., “Döküm Teknolojisi”, *İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstanbul , 139, 144-146, 153 (1981).
14. Aslan, B.O., “Basınçlı Dökümde Kaliteyi Etkileyen Faktörlerin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi , *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* , İstanbul, 7, 11-12, 24, 29-34, 48 (2007).
15. Karataş, Ç., Karaman, E., “Basınçlı Metal Döküm Makine Ve Kalıpları”, *Kalıp Dünyası Dergisi*, 19: 114-120 (2003).
16. Doehler, H.H., “Die Casting”, First Edition, *MCGRAW- HILL*, New York, 16, 21 (1951).
17. Uludağ, A., “Basınçlı Döküm Yönteminde Kalıp Sistem Tasarımı ve Simülasyon Analizi” Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* , İstanbul, 38 (2007).
18. *ASM Handbook*, Formerly Ninth Edition, Metals Handbook Volume 15 Casting, 9th Edition, ASM International, Ohio, 288 (1998).
19. *ASM International Handbook Committee*, Metals Handbook Volume: 5 (Forging and Casting), 8th Edition, Materials Park OH, 292, 293, 294, 324, 326, 328 (1970).
20. Gözen, A., “Basınçlı Döküm Kalıplarında Yolluk Sistemlerinin Tasarımı Ve Simülasyonunun İncelenmesi” , Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* , İstanbul, 17, 21, 26-30 (2007).
21. Özçelik, G., “Enjeksiyon Kalıp Tasarımı Ve Mukavemet Hesapları”, Yüksek lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 43-44 (2004).
22. Gay, D., Hoa, S.V., Tsai, S.W., “Composite Materials Desing and Applications” *CRC Press LLC*, New York, 184-185, 190, 192 (2003).
23. Ersoy, H.Y., “Kompozit Malzeme”, *Literatür Yayıncılık*, İstanbul, 100-101 (2001).
24. Chung, D.D.L., “Composite Materials”, *Springer-Verlag London Limited*, 17 (2003).

25. Chawla, K.K., “Composite Materials Science and Engineering”, 2nd ed. **Springer-Verlag**, New York, 102-103 (2001).
26. Özkan, S., “Alüminyum Matriksli SiC Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Mekanik Alaşımlama Yöntemiyle Üretimi ve Kuru Aşınma Davranışlarının İncelenmesi“, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 18, 49 (2007).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : BAYAR, Harun
Uyruğu : T.C.
Dogum tarihi ve yeri : 17.02.1978 / İzmir
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 536 411 48 70
e-mail : bayar-harun@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	G.Ü.T.E.F. Makine Eğitimi Bölümü / Kalıpcılık Eğitimi Anabilimdalı	2000
Lise	Çınarlı Teknik Lisesi	1995

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2004-2009	Pompasan A.Ş	Mühendislik Sorumlusu
2001-2004	Pompasan A.Ş.	Üretim ve Metot Sorumlusu

Yabancı Dil

İngilizce