

39379

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

8 - ALÜMİNA (SAFFİL) TAKVİYELİ ZA 12 ESASLI KOMPOZİT MALZEMELERİN

İNFİLTRASYON YÖNTEMİ İLE ÜRETİM VE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

39379

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Met.Müh. S.Can KURNAZ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25 Ocak 1993

Tezin Savunulduğu Tarih : 10 Şubat 1993

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Mehmet DURMAN

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Emel GEÇGİNLI

: Prof.Dr. Fevzi YILMAZ

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

ŞUBAT 1993

ÖNSÖZ

Çalışmalarımda labaratuvar olanaklarından yararlandığım Sakarya Üniversitesi Metalurji Mühendisliği Bölümü Başkanlığına teşekkür ederim.

Bu çalışmanın yürütülmesinde ve sonuçlanmasında, çok değerli fikir ve önerilerinden yararlandığım saygıdeğer hocam Doç. Dr. Mehmet DURMAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarımıdaki malzeme üretim aşamasında, olanaklarından yararlanmamı sağlayan TÜBİTAK Mag-953 Projesi Yürütme Başkanı Prof. Dr. Fevzi YILMAZ'a teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarım sırasında bana her bakımdan yardımcı olan, değerli arkadaşım Met. Y. Müh. Hatem AKBULUT'a çok teşekkür ederim. Bu tezin yazılması sırasında hiçbir yardımı esirgemeyen Met. Y. Müh. Ahmet ÖZEL'e teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca çalışmalarım sırasında her türlü desteği veren arkadaşlarıma teşekkür ederim.

SUBAT 1993

Met. Müh. S.Can KURNAZ

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	v
SUMMARY.....	vi
BÖLÜM 1. GİRİŞ VE AMAÇ.....	1
BÖLÜM 2. KOMPOZİT MALZEMELER.....	2
2.1. Kompozit Tanıtımı ve Genel Bilgiler.....	2
2.1.1. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması..	4
2.1.1.1. Seramik Matriksli Kompozitler.....	5
2.1.1.2. Polimer Matriksli Kompozitler.....	6
2.1.1.3. Metal Matriksli Kompozitler.....	7
2.1.1.3.1. Metal Matriksli Kompozitlerin Mekanik Özellikleri.....	11
2.1.1.3.2. Metal Matriksli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri.....	15
2.1.1.3.3. Metal Matriksli Kompozitlerin Kullanım Alanları.....	23
2.1.2. Kompozit Üretiminde Kullanılan Fiber Malzemeleri.....	23
2.1.2.1. Saffil (δ -Al ₂ O ₃) Fiber.....	24
2.1.2.1.1. Preformların Hazırlanması.....	26
2.2. Çinko-Aluminyum Alaşımları.....	30
2.2.1. Zn-Al Alaşımlarının Gelişmesi.....	30
2.2.2. Zn-Al Alaşımlarının Fiziksel Özellikleri.....	31
2.2.3. Zn-Al İkili Denge Diyagramı.....	33
2.2.4. Zn-Al Alaşımlarında Faz Dönüşümleri.....	34
2.2.5. Zn-Al Alaşımlarının Mekanik Özellikleri..	36
2.2.5.1. Oda Sıcaklığındaki Mekanik Özellikler..	36
2.2.5.2. Sıcaklığın Mekanik Özelliklere Etkisi.....	40
2.2.5.3. Zn-Al Alaşımlarında Sürünme Direnci....	41

2.2.5.4. Zn-Al Alaşımlarında Korozyon ve Aşınma Özellikleri.....	41
2.2.5.5. İlave Edilen Elementlerin Zn-Al Alaşımlarının Yapı ve Mekanik Özelliklere Etkisi.....	44
2.2.5.6. ZA Alaşımlarının Kullanım Yerleri.....	45
2.2.5.7. Literatür Çalışması Özeti.....	47
BÖLÜM 3. DENEYSEL ÇALIşMALAR.....	49
3.1. Çalışma Programı.....	49
3.2. Deneylerde Kullanılan Malzemeler.....	49
3.2.1. Matriks Alaşımı.....	49
3.2.2. Fiber Malzemesi.....	50
3.2.3. İnfiltrasyon Cihazı.....	51
3.2.3.1. İnfiltrasyon Cihazının Çalışması ve Kompozit Malzeme Üretilmesi.....	53
3.3. Yoğunluk Deneyleri.....	54
3.4. Metalografik Çalışmalar.....	55
3.5. Sertlik Deneyleri.....	56
3.6. Çekme Deneyleri.....	56
3.7. Aşınma Deneyleri.....	57
BÖLÜM 4. DENEY SONUÇLARI VE İRDELENMESİ.....	59
4.1. Yoğunluk ve Porozite Ölçüm Sonuçları.....	61
4.1.1. Saf ZA12'nin İnfiltrasyonu.....	64
4.1.2. 0.5 MPa'da İnfiltrasyon.....	66
4.1.3. 1 MPa'da İnfiltrasyon.....	69
4.1.4. 2 MPa'da İnfiltrasyon.....	71
4.1.5. 3 MPa'da İnfiltrasyon.....	74
4.2. Mekanik Deneyler.....	92
4.2.1. Sertlik Deneyi Sonuçları.....	92
4.2.2. Çekme Deneyi Sonuçları.....	93
4.2.3. Aşınma Deneyi Sonuçları.....	95
BÖLÜM 5. GENEL SONUÇLAR.....	98
KAYNAKLAR.....	101
ÖZGEÇMİş.....	105

ÖZET

Bu çalışmada, çinko-alüminyum esalı ZA12 alaşımlının mekanik özelliklerinin geliştirilmesi ve mukavemet/ağırlık oranının yükseltilmesi amacıyla, bu alaşımlın, değişik hacim oranlarındaki "SAFFIL" ticari ismi ile bilinen, δ -Al₂O₃ yapısına sahip fiberler ile takviyesi amaçlanmıştır.

Bu nedenle, ilk önce özgün bir tasarımla infiltrasyon cihazı geliştirilmiş, daha sonra malzemelerin üretimine geçilmiştir. Malzemelerin üretiminde δ -Al₂O₃ yapısına sahip fiberlerin düzlemsel olarak gelişigüzel dağılmış halde bulunduğu 100x10 mm boyutlarındaki ön biçim verilmiş disk şeklindeki preformlar kullanılmıştır. Vakum altındaki sistem içinde bulunan % 10, 15, 20 ve 30 fiber hacim oranlarına sahip preformlara, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2 ve 3 MPa basınçları ile sıvı ZA12 infiltre edilmiş ve kompozit malzemeler üretilmiştir. Üretilen malzemeler üzerinde, yoğunluk tayini yapılmış ve buna bağlı olarak basınç-infiltrasyon ilişkileri belirlenmiş ve daha sonra sertlik, çekme, ve aşınma gibi mekanik incelemeler ile metalografik çalışmalar yapılmıştır.

Genel olarak, artan saffil hacim oranı ile üretilen kompozitlerin yoğunluklarının doğrusal olarak azaldığı bulunmuştur. Ayrıca, basınç miktarının artması ile preformların dolma oranının arttığı fakat, basınç sabit tutulduğunda artan saffil hacim oranı ile dolma oranı azaldığı görülmüştür. Buna bağlı olarak, preformların kritik infiltrasyon basıncı tespit edilmiştir. Mekanik deneylerde kullanılan numuneler, minimum porozite içeren, 3 MPa basınç kullanarak elde edilen kompozitlerden alınmıştır. Kompozitlerin Brinel sertlik değerlerinin fiberlere dik ve paralel kesitlerde yaklaşık aynı olduğu ve artan saffil hacim oranının artması ile doğrusal arttığı bulunmuştur. Kompozitlerin çekme mukavemeti ve % uzamaları ise artan fiber hacim oranı ile azalmıştır. ZA12 alaşımı ve fiberlere dik yönde kesitlerden alınan numuneler üzerinde, 10N ve 30N yükler kullanarak yapılan sür-tünme aşınma deneyleri sonucu ise, saf ZA12 alaşımlının aşınma miktarının %10 saffil takviyesi ile önemli ölçüde azaldığı, ancak bu hacim oranının üzerindeki takviyelerin aşınma miktarının daha fazla azaltılmasında çok fazla etkili olmadığı görülmüştür. Buna karşılık, genel olarak kompozit malzemelerin artan yük ile aşınma miktarının arttığı bulunmuş, fakat bu aşınma oranlarındaki artışın, saf ZA12 ve %10 fiber hacimli kompozit malzemeler için birbirine yaklaşık olarak eşit olduğu, daha fazla hacim oranlarında fiber içeren diğer kompozitlerde ise daha az olduğu bulunmuştur.

PRODUCTION OF SAFFIL (δ - Al_2O_3) FIBRE REINFORCED ZINC-ALUMINUM ALLOY (ZA12) MATRIX COMPOSITES USING INFILTRATION TECHNIQUE AND STUDY OF THEIR PROPERTIES

SUMMARY

In recent years, there has been an enormous interest in metal matrix composites (MMCs) because of their attractive physical and mechanical properties, such as high specific modulus, strength, and retention of properties at moderately elevated high temperatures. MMCs combine metallic properties (ductility and toughness) with ceramic properties (high strength and high modulus) leading to greater strength in shear and compression and higher service temperature capabilities. Interest in MMC's for aerospace, automotive and other structural applications has increased over the last five years as a result of availability of relatively inexpensive reinforcement, and the development of various processing routes which result in reproducible microstructures and properties. MMC's encompasses a very broad class of materials which can be subdivided into three main groups; particulate, whisker or short fibre and continuous fibre reinforced metals.

Although MMCs reinforced with continuous fibre provides the greatest improvement in properties, the main thrust of the commercialisation of metal composites has been with the use of particulate reinforcement. This is due mainly to the relative ease of production of particulate reinforced MMCs compared with the difficulty in processing continuous fibre composites.

For the production of particulate reinforced composite it is relatively easy to process large quantities of the material by conventional manufacturing methods, such as casting and extrusion. The particles are mixed with the molten aluminum and the composite material can then be processed by conventional means. With these production methods the volume fraction is limited to approximately 20% due to increase of the metal viscosity that occurs on the addition of the reinforcing particles.

Whisker and short fibre composites can be manufactured either by incorporation of the reinforcement material into the melt or by the production of a fibre preform which can then be infiltrated with molten metal, as in squeeze casting and pressure infiltration process. In melt mixing the level of reinforcement is once again restricted in the liquid metal by the increase in viscosity. In the infiltration of preforms it is restricted as a result of the inability of randomly oriented fibres to achieve a packing density higher than 0.35 volume fraction.

Other manufacturing processes that are used for discontinuous and particulate reinforcement include powder metallurgy and plasma cospray deposition. Both have considerable drawbacks. The mechanical forces involved during powder processing result in considerable fibre damage and the plasma cospray deposition has a low productivity and is severely limited by shape/size considerations.

There are two main routes for production of short fibre MMCs. These are squeeze casting and pressure infiltration process.

Squeeze casting was the first manufacturing method that gave the possibility of a one shot process combined with high producibility rates. The main drawback of this process is that the engineering required to cope with the high process pressures involved result in a size and shape limitation and the mechanical forces involved result in severe fibre damage.

Pressure infiltration process is also a route for high quality production of net shape components using gas pressure to force molten metal into a previously manufactured preform. The advantage of this process over squeeze casting is that die cavity and the pressure vessel can be evacuated, which greatly increases the quality of material produced.

The development of alumina based short fibre such as I.C.I.'s saffil fibre and its incorporation in aluminum alloys by these techniques has lead to its industrial application in areas where high temperature, strength and resistance to thermal fatigue are important criteria. Such fibres are connected to solid preforms by suspension in an aqueous medium, which includes a binder such as sodium silicate, compacted by infiltration and pressing or centrifuging followed by drying and firing. These fibres in the preform are usually two dimensional and

random in orientation. These preforms can be located in a die cavity for selective reinforcement specific areas.

The most common metal matrix material used in industrial application of MMCs is aluminum alloys, although considerable interest is also being shown in titanium and magnesium and, to lesser extent, copper, lead and iron. The concentration of effort on aluminum alloys stems from its unique combination of good corrosion resistance, low density and excellent mechanical properties

However new materials, such as new zinc-aluminum based ZA alloys, with superior properties to the above commonly used alloys in many aspect would also be a good substitutes as a matrix material for many applications.

In view of these recent developments in materials industry, the objectives of this study were set as follows;

(i) to produce saffil fibre reinforced zinc-aluminum alloy (ZA12) matrix composites using pressure infiltration process,

(ii) to investigate casting conditions, microstructure and some principle mechanical properties of resultant composites

At the first step to achieve these purposes, a unique infiltration process with the flexibility of producing near net shape components by liquid metal infiltration of reinforcing material using gas pressures to force metal into previously manufactured preform has been developed, and saffil preforms with volume fractions of 0.10, 0.15, 0.20, 0.30 alumina saffil fibres have been infiltrated by molten ZA12 alloy at various gas pressure from 0.1 MPa to 3 MPa. The disk shape preforms used for infiltration in this study were 100 mm in diameter by 10 mm thick with a two-dimensional random arrangement of saffil (δ -alumina) fibres. The preforms were placed into a split die cavity cut out in the shape of the preform. The lower half of the die was connected to the molten metal reservoir by a feed tube. The both upper half of the die and pressure tank was connected to a mechanical vacuum pump which allowed the die cavity and pressure tank to be vacuummed prior to the infiltration and liquid metal solidified in the die cavity. After infiltration was completed, the pressure tank and die cavity was depressurized and infiltrated preform was taken out the split die.

The parameters influencing the infiltration process were ; die (preform) temperature, liquid metal temperature, applied pressure and volume fraction of saffil fibres in the preforms.

The temperature used in the process is an important parameter and may vary depending on the alloy, the type and value fraction of reinforcement being used, and the size and complexity of the component being produced. If the die temperature is too low, the fibre temperature will be low and this could result in solidification prior to full infiltration and porosity in the casting. High temperatures, on the other hand, result in high fibre temperatures and cause excessively long solidification times and could result in reactions occurring at the fibre/metal interface.

Ability to infiltrate also depends on two other factors, the melt temperature and pressure applied. The melt temperature has lesser effect on ability to infiltrate than the die temperature because, although increased melt supply more heat to the casting, the effect on viscosity above the liquids is only slight. Excessive melt temperatures result in longer solidification times, possibility of fibre/metal reaction and more rapid die erosion.

Once the die and the melt temperatures are fixed to the optimum values, the other important parameters effecting the infiltration are vacuum and pressure applied to the system. The evacuation of the system serves several purposes and greatly increasing the quality of materials produced. It degasses the molten metal preventing the evolution of gas on solidification. It removes air in the die that may cause porosity and allows faster cavity full times as there is no back pressure, and therefore less resistance to metal flow through the preform.

The pressure is applied to the tube of the metal reservoir, when all the main parameters metal temperature, die temperature and vacuum are at the required values, is then only the factor which should be considered for successful infiltration. The infiltration pressure also depends on the alloy, the type and volume fraction of reinforcement and complexity of the component being produced. The pressure causes molten metal flow through the preform and increases the wettability of fibre/metal interface. It is essential to achieve good mechanical contact and bonding between the fibre and matrix and to overcome any intrinsic lack of wetting.

In this study, as a result of numerous pre-experiments carried out, the optimum die temperature and melt temperature for the infiltration of ZA12 alloy were found to be 350°C and 650°C respectively.

Once these parameters were fixed, the gas pressures varying 0.1 MPa to 3 MPa were used to infiltrate the preforms. Density measurements were then carried out on the samples produced, and, from these result, it was found that infiltration had taken place over a range of pressures which increased with increasing volume fraction of saffil preforms. The composites with minimum porosity were obtained from the experiments carried out at 3 MPa, the maximum applied pressure used for the experiments, and mechanical tests carried out on these samples. Brinell Hardness values obtained from longitudinal and transverse section of the composites were found similar and increased almost linearly with increasing fibre volume fraction of the preforms. The magnitude of increase was considerable, about 20 HBN for each 5 % increase in fibre volume fraction.

Tensile strength and elongation of the composites were found to be much lower than those of the base alloy ZA12 and the decrease was much more noticable at the composites with higher volume fraction of saffil fibres.

However, as a result of dry wear tests carried out using a pin-on-disc technique under the loads of 10 N and 30 N, substantial improvements was obtained in wear resistance of the base alloy ZA12. Reduction was sharp about 70 % at composites with 10 % volume of saffil fibre, but the composites with higher volume fraction of saffil did not produce any significant improvements in wear rates above those of the composite with 10 % volume of saffil. On the other hand, increasing the load to 30N brought about increases in wear rates of both the base alloy ZA12 and composites, but this effect become even more marked for the base material and the composite with the volume of 10 % saffil fibre.

BÖLÜM 1. GİRİŞ VE AMAÇ

Son zamanlarda Çinko endüstrisindeki en önemli gelişme, ZA Alaşımları olarak bilinen yüksek alüminyum içerikli yeni bir seri alaşımların geliştirilmesi olmuştur. Günümüzde bu alaşımlar iyi dökülebilirlikleri, yüksek mukavemet ve iyi aşınma özellikleri ile birçok alanda alüminyum, pirinç, bronz ve bazı dökme demir gibi konvansiyonel alaşımların uygulama alanlarında rakip malzeme olmaktadır.

Özellikle ZA12 alaşımı optimum mekanik özellikleri, kıvılcım almama özelliği ve iyi aşınma direnci ile birçok alanda yatak alaşımı olarak kullanılmaktadır. Bu alaşımların, ekonomik olarak, mekanik ve aşınma özelliklerinin daha da geliştirilmesi ve mukavemet/ağırlık oranının yükseltilmesi ile daha cazip hale geleceği ve daha fazla kullanım alanını bulacağı düşünülmektedir.

Dolayısıyla, bu çalışmada temel amaç olarak, iyi özelliklerinin yanı sıra ucuz elde edilmesi avantajı ile, son zamanlarda üzerinde geniş ölçüde araştırmaların yoğunlaştığı Saffil ($\delta\text{-Al}_2\text{O}_3$) fiberleri kullanarak, ZA12 alaşımının takviye edilmesi ve özelliklerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Bu çerçevede, bu amaca iki kademede erişilmesi planlanmıştır. Birinci aşama, kaliteli kompozit üretimine olanak veren özgün bir yaklaşımla, değişik hacim oranlarındaki saffil preformlara sıvı metalin infiltre edilmesini sağlayacak bir infiltasyon sisteminin dizayn edilmesi ve bu sistemde kompozit malzeme üretimi şartlarının incelenmesi, daha sonra ise, üretilen kompozitlerin ayrıntılı metalografisinin yapılması ve özgül ağırlık, porozite, serlik, çekme ve aşınma gibi temel özelliklerinin belirlenmesi olmuştur.

BÖLÜM 2. KOMPOZİT MALZEMELER

2.1. Kompozit Tanıtımı ve Genel Bilgiler

"Kompozit Malzeme" terimindeki "kompozit" kelimesi, makroskobik ölçülerde faydalı malzeme üretmek için, iki veya daha fazla malzemenin bir araya getirilmesini ifade etmektedir. Alaşımlandırma yolu ile farklı malzemeler mikroskobik olarak birleştirilmekte, fakat ürün malzeme makroskobik olarak homojen durumdadır [1]. Kompozit terimini anlatmak için aşağıdaki kriterleri kullanmak gerekmektedir.

- .İnsanlar tarafından üretilmiş olmalı,
- .Birbirleri ile uyumlu, fakat kimyasal olarak birbirlerinden farklı, birbirleri ile reaksiyona girmeyen bileşenlerden oluşturulmuş olmalı,
- .Bileşenler tarafından üç boyutta karışmasıyla oluşmalı,
- .Sonuçta elde edilen kompozitin özellikleri, ayrı ayrı bileşenlerden elde edilemeyecek nitelikte olmalıdır [2].

Kompozit malzeme üretme ile malzemelerin aşağıdaki özellikleri geliştirilebilmektedir.

- | | |
|-------------------|------------------------------|
| .Dayanım | .Yorulma Ömrü |
| .Korozyon Direnci | .Sıcaklığa Bağımlı Davranışı |
| .Aşınma Direnci | .Isı Yalıtımı |
| .Estetik Özelliği | .Termal İletkenlik |
| .Ağırlık | .Ses Yalıtımı [3] |

Kullanımda konvensiyonel malzemelerden kompozit malzemelere geçişin en ana nedenlerinden biri, kompozitlerin standart *hafif/yüksek mukavemet* özellikli malzemelere *daha hafif/daha yüksek mukavemet* alternatifi getirmesidir. Buna ilave olarak üretimlerindeki esneklik, iyi korozyon ve aşınma dirençleri, uzun yorulma ömürleri ve düşük ısı iletkenlikleri ile birçok uygulama alanında konvensiyonel malzemelere oranla üstünlük sağlamaktadırlar [3].

Kompozit malzemelerin en büyük dezavantajları, genel olarak üretimlerinin diğer malzemelere oranla daha pahalı olmasıdır. Bu ise, bu tür malzemelerin göreceli olarak yeni olmaları ve dolayısıyla üretim yöntemlerinin yerleşmemiş, üretimlerinin yüksek üretim oranlarına erişmemiş olmasından kaynaklanmaktadır [4].

Kompozit malzemelerin ticari olarak kullanımı son yıllarda büyük oranlarda artmıştır. Tablo 2.1 'de tipik kullanım alanları verilmektedir.

TABLO.2.1 Kompozit Malzemelerin Çeşitli Kullanım Alanları [4].

Uzay	Uzay Yapıları Anten
Hava Araçları	Uçak Motor Kutuları Ana Kirişler Kapılar Kanat Boşlukları Ana Gövde Türbin Bıçakları
Otomobil	Motor Gövdesi Ana Gövde Piston Kolları Aktü Plakaları
Elektrik	Motor Fırçaları Pil Plakaları
Tıp	Protezler Tekerlekli Sandelyeler Ortopedik Araçlar
Spor	Tenis Raketleri Olta Çubukları Bisiklet ve Motosiklet Gövdeleri
Tekstil	Mekikler

2.1.1. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler kullanılan takviye elemanının şekline göre 4 genel sınıfta toplanabilir. Bunlar;

1-Fiber (visker) takviyeli kompozit malzemeler: Bu tür kompozitlerde, fiber boyu 0.1-250 μm ve matriks içindeki fiber oranı yüzde birkaçtan %70'in üzerindeki oranlara kadar değişmektedir.

2-Tane takviyeli kompozit malzemeler: Bu tür kompozitlerde, matriks içindeki dağılmış takviye partiküllerinin kalınlıkları, 1 μm 'den fazla ve hacim oranı %5-40 arasındadır.

3-Dispersiyon ile sertleştirilmiş kompozit malzemeler: Bu tür kompozitler ise genellikle çok ince taneli, boyutları 0.01-0.1 μm ve hacim oranı %1-15 arasında değişen partiküller ile karakterize edilmektedirler.

4-Tabaka yapıda olan kompozit malzemeler: Bu tür kompozitler matriks ve takviye malzemesinin plaka halinde sandviç biçimleri ile karakterize edilmektedirler [2].

Bunun yanısıra kompozit malzemeler kullanılan matriks malzemesinin cinsine görede 3 ana grupta toplanmaktadır.

Bunlar;

- 1-Seramik Matriksli Kompozitler
- 2-Polimer Matriksli Kompozitler
- 3-Metal Matriksli Kompozitler

2.1.1.1. Seramik Matriksli Kompozitler

Seramikler düşük yoğunluklu, yüksek mukavemet ve sertlik gibi önemli ve istenilen özelliklere sahip olmalarına rağmen, çok kırılğan yapıda olup darbe dirençleri çok düşüktür. Seramikler genellikle kararlı yapıda, yüksek sıcaklıklara ve kimyasal etkilere dayanıklı malzemelerdir. Fakat yüksek ergime sıcaklıkları ve sertlikleri üretimlerini zorlaştırıcı, aynı zamanda kırılğanlıklarında kullanımlarını kısıtlayıcı faktörlerdir.

Seramikler, düşük çekme gerilmesine, termal ve mekanik şoklara karşı zayıf direnç sahip olmalarından dolayı, basınca dayanım isteyen yerler dışında endüstriyel uygulamalarda kullanımı sınırlıdır. Çekme gerilmesinde ve kırılma tokluğunda gelişmeler sağlanırsa kullanımı artacaktır [5].

Seramik matriks, seramik fiberler kullanıldığında çatlamalara karşı direnç artırılmakla birlikte, tokluk ve emniyet sağlanmış olmaktadır. Bu suretle, monolitik seramiklere nazaran tokluk 20 kat artırılmaktadır [5, 6].

Sürekli fiberlerle takviye edilmiş seramik matriksli kompozitlerde fiber ve matris arasındaki arayüzeyde kayma veya çatlama oluştuğunda daha yüksek kırılma tokluğu elde edilmektedir [6]. Yüksek tokluğa sahip ilk seramik matriksli kompozit Phillips ve arkadaşları tarafından C fiberler kullanılarak yapıldı. Daha sonra ise, SiC fiberlerin yüksek sıcaklığa karşı C fiberlerden daha dayanıklı olmalarından dolayı, seramik matrikslerde kullanılmasıyla bu tip kompozitlerin kullanımları daha da geliştirilmiştir [5].

Seramik matriksli kompozitler, hava araçlarında gaz türbini motorlarında, uzay araçlarını atmosfere giriş-çıkışlarda koruyacak bölgelerde (özellikle uç kısımlarda), roket burunları ve ateşleme silindirlerinde kullanılmaktadır [7].

2.1.1.2. Polimer Matriksli Kompozitler

Polimerler düşük yoğunlukları, çok kolay şekillendirilebilme ve birleştirilebilme özellikleri ile son zamanlarda önem kazanmakta ve birçok alanda başarı ile kullanılmaktadırlar. Bu malzemelerin en büyük özellikleri ise düşük mukavemetleri ve sertlikleridir. Özellikle sıcaklık artışı ile bu özellikleri çok daha

kötü etkilenmekte ve diğer malzemeler için çok düşük sayılabilecek sıcaklıklarda kararlı yapılarını koruyamamaktadırlar. Bunun dışında, kimyasal etkilere karşı yapısal kararlılıklarını yitirme tehlikesi genellikle mevcuttur.

Matris olarak kullanılan polimer malzemeler genellikle termosetler ve termoplastikler olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadırlar. İki grup arasındaki en önemli farklılık molekül yapılarındaki bağlanmadan kaynaklanmaktadır; termosetler kimyasal çarpaz bağ oluştururken, termoplastikler bu bağlarla bağlanmazlar. Kimyasal yapılarındaki bu farklılıktan dolayı gösterdikleri özellikler farklıdır. Termosetler genellikle sıvı halde olup, sıcaklık etkisi ile katılaşp molekül yapılarında çarpaz bağ oluştururlar. Termoplastikler ise genellikle katı halde olup, eritilir, şekillendirilir ve soğutulularak tekrar katı hale dönüştürülürler. Termosetler, termoplastiklere oranla daha rijid yapıdadırlar ve yüksek sıcaklıklara dayanımları daha fazladır. Termosetlere polyester, epoksi reçineler, termoplastiklere de polipropylene, naylon, ve polikarbonat örnek olarak verilebilir [3].

2.1.1.3. Metal Matriksli Kompozitler

Metal matriksli kompozitler (MMK) 20 yılı aşkın bir süredir gelişmekte olan malzemelerdir [2]. Son zamanlarda daha çok ilgi çekmektedirler. Bunun en önemli nedeni, üretim yöntemlerindeki ekonomik koşulların elverişli duruma getirilmesidir [8].

Metal matriksli kompozitler üzerindeki ilk çalışmalar, sürekli fiberlere sahip olanlar üzerinde yapılmıştır. Bu malzemeler ilk önceleri havacılık alanındaki kullanımlar için geliştirilmiş ve daha sonra diğer endüstriyel alanlarda kullanılmaya başlanmıştır.

Endüstriyel alanlarda kullanılma imkanının doğması, daha düşük maliyete sahip fiberlerin üretilmesi ile yakından ilgilidir.

Sürekli fiberler ile takviyeli kompozit malzemeler kompozitlerin özel bir sınıfını oluşturmaktadırlar. Fiber takviyeli malzemeler metal ve alaşımlara nazaran anizotropik özellik sergilemektedirler. Anizotropiklik derecesi fiber oryantasyonuna bağlıdır. Son yıllarda, partikül ve plaka halinde SiC gibi fiberlerin ekonomik olarak üretilmesinden dolayı, süreksiz fiberlerle takviyeli kompozitler araştırılmaktadır. Süreksiz fiberlerle takviyeli kompozitlerin avantajlarından biri, dövme, haddeme, ekstrüzyon gibi standart metalurjik işlemler ile şekillendirilmeleridir. Bu malzemelere örnek olarak golf sopasının baş kısmı, tenis raketi ve SiC/Al'dan yapılmış pistonlar ve bağlantı çubukları verilebilir [2].

MMK'lerin yapısal malzemeler olarak kullanılması aşağıdaki avantajlara sahip olmalarından dolayıdır.

- .Yüksek mukavemet
- .Yüksek elastisite modülü
- .Yüksek tokluk ve darbe özellikleri
- .Sıcaklık değişikliğine ve termal şok'a dayanıklılık
- .Yüksek yüzey dayanımı (aşınma direnci)
- .Elektriksel ve termal iletkenliğin yüksek olması
- .Yüksek vakum direnci

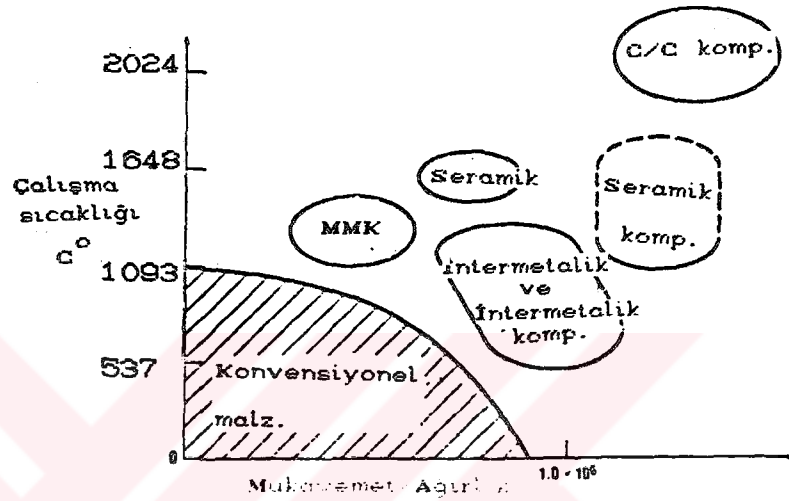
MMK'lerin iletkenliğine ek olarak, yüksek sıcaklıklarda direncini muhafaza edebilmesi, tokluk ve sert çevreye dirençli olması en önemli avantajlarından birisidir. İhtiyaç duyulan mekanik direnç takviye elemanından elde edildiği için, bir kompozit malzemedeki matriksin çevre etkilerine karşı duyarlılığını bilmek gerekmektedir. Sürekli fiberli malzemelerde, matriks olarak kullanılan

metal yükü fiberlere ilettiğinden, matriksin kopma direnci önemsizdir. Bununla birlikte süreksiz fiberlerle takviyeli kompozitlerde matriks malzemesinin bu özelliği önemli duruma gelmektedir.

Metal matriksler ve metal kompozitler yapısal uygulamalarda kullanılmaktadırlar. Bununla birlikte, monolitik metal alaşımları ile kıyaslandığı zaman yüksek maliyetlerinden dolayı, kompozit malzemelerin kullanımı, mukavemet/direngeçlik durumunun maliyetten daha önemli olduğu yerlerdeki maliyetleri ile sınırlı kalmaktadır. Metal matriksin sağladığı diğer bir fayda da, çeşitli oranlardaki mukavemet ve direngeçlik değerlerini ve çeşitli termal genleşme katsayılarını ortaya koymasındır. Aynı zamanda metal matriksler aşınmaya dayanıklı olduklarından aşınma ihtiyacı gösteren yerlerde kullanılırlar [2].

MMK'ler matriks alaşımından daha pahalı olduğundan kesin çözümü gerektiren ihtiyaçları gidermek için kullanılmaktadırlar. Bu malzemelerin kullanımları, direnç/direngeçlik oranının avantajlı olduğu yerlerdeki isteklerle sınırlandırılır. Diğer önemli bir nokta ise, MMK'lerin yüksek sıcaklıklarda da kullanılmalarıdır. Daha düşük yoğunluğa sahip takviye elemanının metal matrikse ilavesi ile, MMK'lerin yoğunluğu düşürülmektedir. MMK malzemesinin türbin motorunun bir parçası olarak kullanıldığı düşünüldüğünde, çalışma performansı dikkatlice değerlendirilmeli ve diğer yüksek sıcaklık malzemeleri ile kıyaslanmalıdır. Kıyaslama parametrelerinden biriside mukavemet/Ağırlık oranıdır (Şekil 2.1).

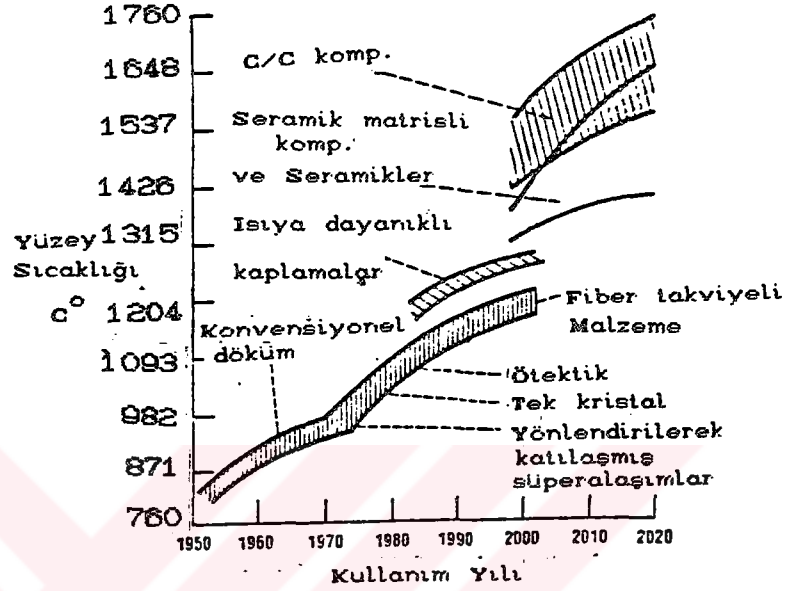
Bununla birlikte MMK'ler belirli dezavantajlara sahiptirler. MMK'ler matriks alaşımından daha düşük kırılma tokluğuna sahiptirler ve aynı zamanda termal yorulmaya karşı daha az dirençlidirler.



SEKİL.2.1. Çalışma Sıcaklığı ve Mukavemet/Ağırlık İlişkisine Göre Yüksek Sıcaklık Malzemelerinin Performans Haritası [2].

MMK'lerin bazı dezavantajlara sahip olduğu bilinmesine karşın, seramik matrisli kompozitlere nazaran, yüksek sıcaklık koşullarında daha istenilir konumda bulunmaktadırlar. Bunun nedeni ise, metal teknolojisi ve biliminin seramiklere kıyasla daha fazla gelişmesidir.

Seramik matrisli kompozitler ve karbon/karbon kompozitleri 1990'lı yılların ilk başlarında çok kullanılmalarına karşın, fiber takviyeli MMK'in 1990'lı yılların sonlarına doğru daha fazla kullanılacağı düşünülmektedir (Şekil 2.2).



SEKİL.2.2. Türbin Motoru Olarak Kullanılan Malzemelerin Yüzey Sıcaklığı ve Kullanım Yılları Arasındaki İlişki [2].

MMK'lerin çeşitli kullanım alanları arasında, NASA ve Amerikan Hava Kuvvetleri tarafından geliştirilen özel araçlardaki motor parçası ve yapısal malzemeler bulunmaktadır [2].

2.1.1.3.1. Metal Matriksli Kompozitlerin Mekanik Özellikleri

Malzemelerin mekanik özelliklerini açıklayan iki ana yaklaşım bulunmaktadır. Bunlardan birincisi sürekli model, ikincisi ise mikro-mekanik yaklaşımdır. Birinci durum, matriksin uygulanan gerilmeleri fiberlere ilettiği sürekli fiberlerle takviyeli kompozit malzemelerdeki,

termal genleşme katsayısı, elastik modülü gibi fiziksel özellikleri belirlenmesinde kullanılmaktadır. İkincisi ise, atomik seviyedeki deformasyonlardan dolayı oluşan (su verme , deformasyon sertleşmesi, tanelerin boyutu ve Orawan mukavemeti) etkilerin bulunmasını sağlamaktadır. [9].

Malzemelerdeki dislokasyon yoğunluğun artması ve tane boyutunun küçülmesi ile mekanik özelliklerde bir artış sağlandığı bilinmektedir. Arsenault ve arkadaşları [10] tarafından Al ve Al alaşımları üzerinde yapılan çalışmalarda, SiC ilavesi ile tane boyutunun küçüldüğü ve dislokasyon yoğunluğunun arttığı kanıtlanarak, kompozit malzemenin mekanik özelliklerinde bir artış olduğu ortaya çıkarılmıştır. Dislokasyon yoğunluğunun artması ise, matriks ve fiber arasındaki termal genleşme katsayısının farklı olmasından dolayıdır. Fakat termal genleşme katsayısının farklı olmasından dolayı oluşan kalıcı gerilmelerde mekanik özellikleri kötü yönde etkilemektedir [10].

MMK'ler son zamanlarda gaz türbin motorları, otomobil motorları ve hava taşıtlarının bazı bölümlerinde kullanılmaktadır. Bu malzemelerin en büyük özellikleri, konvensiyonel malzemelere nazaran daha iyi mekanik özelliklere sahip olmaları ve bu mekanik özelliklerini yüksek sıcaklıklarda da sürdürebilmeleridir [11].

Sürekli fiberlerle takviyeli MMK'ler yüksek mukavemet, düşük yoğunluk ve darbelere karşı direnç gibi malzeme özelliklerini bir araya getiren malzemelerdir [12]. Grafit, zirkon gibi partikül takviyeli Al esaslı MMK'lerin aşınma özellikleri, işlenebilme kabiliyetleri ve dayanımları artırılmasına karşın, süneklilik ve kopma özellikleri kötü yönde etkilenmektedir. Fakat bu özelliklerde termo-mekanik işlemlerle tekrar kazanılmaktadır [13]. Tablo 2.2'de bazı kompozit malzemelerin sahip oldukları mekanik ve fiziksel özellikler verilmektedir.

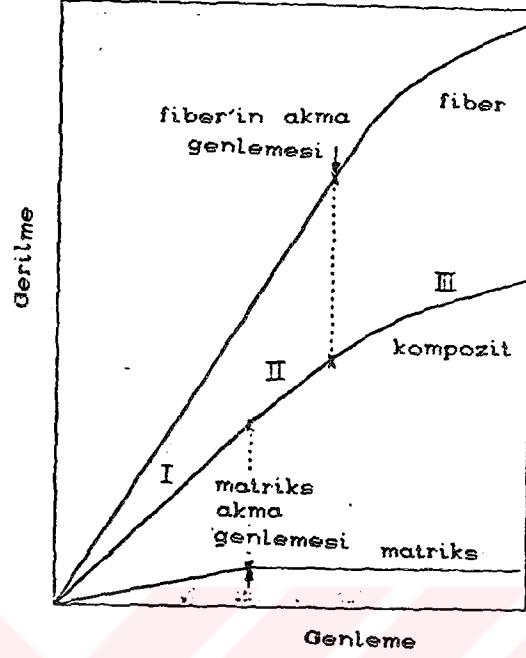
TABLO.2.2. Bazı Kompozit Malzemelerin Özellikleri [14].

	E (GPa)	σ_{akma} (MPa)	ρ (Mg/m ³)	%Kopma Uzaması
% 24 B ₄ C-Mg	86	418	1.92	0.78
%30 SiC-Al	120	434	2.87	3.0
%60 Al ₂ O ₃ -Al				
Parelel	262	690	3.45	0.3
Dik	152	185	3.45	0.6

MMK malzemelerin akma ve çekme gerilmesi değerlerini etkileyen faktörlerin başında matris malzemesi gelmektedir. Alaşımlar yüksek akma ve çekme gerilmesi değerleri göstermelerine karşın, deformasyon kabiliyetleri düşüktür. Bu durum ısıtıl işlemlerle giderilmektedir. Mekanik özellikleri etkileyen faktörlerden biriside fiber hacmidir. Fiber hacminin artması ile kompozitin mukavemeti artmakta fakat gevrek bir yapı elde edilmektedir [13].

Gerilme-Genleme Eğrisi: MMK'lerin gerilme-genleme eğrileri elastisite modülü, akma gerilmesi, kopma gerilmesi gibi değerlerden oluşmaktadır. Sürekli fiberlerle takviyeli MMK'lerin gerilme-genleme eğrileri 3 bölgeden oluşmaktadır. I. bölgede hem matriks hemde fiber elastik davranışı göstermektedir. II. bölgede ise, fiber elastik olarak davranırken matriks kalıcı şekil değiştirmektedir. III. ve son bölgede , matriks ve fiber plastik olarak deforme olmaktadır. II. ve III. bölgelerin oluşmasında, matriks ve fiber tipi ile çevre koşulları etkili olmaktadır (Şekil 2.3). Kısa fiberler ile takviyeli MMK'lerin gerilme genleme eğrileri iki türdür. Birinci durumda, dökme demirlerdeki gevrek davranışı gösteren eğri şeklini sergilemektedir. İkinci bölgede ise iki bölge bulunmaktadır. I. bölge, sürekli fiberler ile takviyeli MMK'lerinkine benzer lineer bir şekil almaktadır. İkinci bölge ise, sürekli fiberlerle takviyeli MMK'lerin üçüncü bölgesine benzer parabolik

eğriden meydana gelmektedir [2].



SEKIL.2.3. Kompozit Malzemelerin Genel Gerilme-Genleme Eğrisi [2]

Partikül takviyeli MMK'lerin yüksek sıcaklıklardaki özellikleri sınırlı bir şekilde araştırılmıştır. % 20' den daha az fiber hacmine sahip MMK'lerde, sürünme eğrilerinde görülen I. ve II. bölgeler görülmemektedir. Fakat yüksek miktarlardaki hacim oranlarında bu bölgeler oluşmaktadır [15].

2.1.1.3.2. Metal Matriksli Kompozit Üretim Yöntemleri

Metal matriksli kompozit malzemelere son zamanlarda büyük ilgi duyulmaktadır. Bu büyük ilginin nedenlerinden biriside, ekonomik ve yüksek kaliteye sahip malzeme üretim yöntemlerinin geliştirilmesidir. MMK üretim yöntemleri,

- . Toz metalurjisi
- . Difüzyon
- . Ekstrüzyon ve Çekme
- . Döküm

yöntemleri olarak sınıflandırılmaktadır [8].

Döküm yöntemleri dışındaki üretim şekilleri pahalı ve kullanışsızdır. Ticari bakımdan, döküm şekli daha uygun gözükmektedir. Döküm yönteminin genel avantajları aşağıda verilmektedir.

- 1- Basit, hızlı ve ucuz
- 2- Kompleks şekilli parçaların mekanik işlemeye tabi tutulmadan elde edilmesi
- 3- Çeşitli metal matriks ve fiberler için uygun olması
- 4- Sık sık ihtiyaç duyulan kompleks parçaların üretim kolaylığı [9].

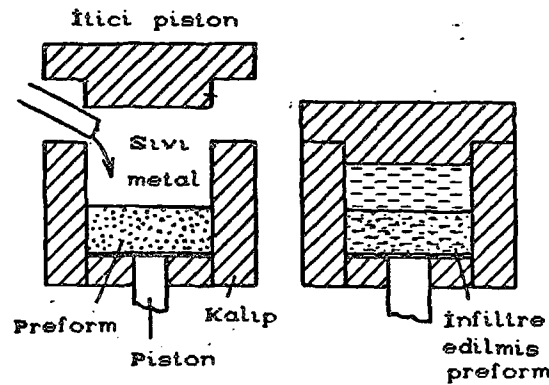
Metal matriksli kompozit üretiminde kullanılan döküm yöntemleri aşağıdaki şekillerdedir [14].

- 1- Sıkıştırma döküm
- 2- Kompokasting
- 3- Atomising ve gaz injeksiyonu
- 4- Basıncılı infiltrasyon
- 5- Pelet
- 6- Vorteks
- 7- Santrifüj
- 8- Ultrasonik titreşim
- 9- Metalik köpük
- 10- Yönlenmiş katılaşma

1- Sıkıştırma döküm : En önemli üretim yöntemlerinden olan sıkıştırma döküm, otomotiv, havacılık alanlarında ve diğer uygulamalarda kullanıldığı için üzerinde pek çok çalışma yapılmıştır.

Şekil 2.4'de görülen sıkıştırma döküm yöntemi, basınç altında katılaştırma prensibine dayanmaktadır. İstenilen şekilde ve fiber hacmine sahip preform ön ısıtılarak kalıp boşluğuna bırakılmakta ve sonra ısıtılmış kalıba sıvı metal dökülmektedir. Hemen ardından hidrolik pres uygulanmakta, sıvı metal katılaşana kadar bu işlem devam ettirilmektedir.

Konvensiyonel dökümlere nazaran daha fazla basınç gerekmektedir. Sisteme uygulanan basınç miktarı yaklaşık olarak 100 MPa kadardır. Bu miktar, fiber ve sıvı metal arasındaki sürtünme kuvvetlerini ve kapiler etkileri yenmek için gerekmektedir. Katılaşma süresince uygulanan basınç, ince taneli mikro yapı, pürüzsüz yüzeye sahip ve porlardan hariç malzeme üretimini sağlamaktadır. Yüksek basınç ihtiyacından dolayı istenilen parçanın boyutu sınırlayıcı faktördür.



ŞEKİL.2.4. Sıkıştırma Döküm Yöntemi [14].

2- **Kompokasting** : Partikül veya viskerler, süreksiz fiberler ile takviye edilen MMK'ler bu yöntemle de üretilmektedir. Bu yöntemde partiküller veya fiberler, katı alaşıma kısmen ilave edilmekte ve karıştırma yapılmaktadır. Karıştırmadan sonra elde edilen malzeme önceden ısıtılmış kalıba dökülmekte ve basınç altında katılaştırılmaktadır. Yöntemin en önemli avantajı takviye elemanın sıvı metal ile ıslatılabilmesini sağlamasıdır.

3- **Atomising ve gaz injeksiyon** : Takviye elemanın eriyik içine N_2 gazı yardımıyla disperse etme prensibine dayanmaktadır. Potadaki sıvı metal, potanın tabanı açıldığında aşağıya doğru akmakta ve partiküller ile karşılaşmaktadır. Bu sırada sisteme gaz üflendiği için eriyik ince damlacıklar haline gelmekte ve homojenlik sağlanmaktadır. Bu sistem partikül takviyeli MMK üretiminde kullanılmaktadır.

4- **Pelet Yöntemi** : Grafit, grafit ve Al tozları içeren pelet şeklindeki parça, sıvı metale daldırılarak partikül takviyeli MMK üretilmektedir. Cu veya Ni kaplı grafit tozları (matrix ile ıslatılma özelliğinin artırılması için grafit tozları kaplanmakta) ve Al tozları karıştırılmakta ve pres uygulanarak pelet şekline getirilmektedir. Bu yöntemde, pelet sıvı metale daldırılır ve hemen sonra karıştırma yapılır. Elde edilen karışım sabit kalıplara dökülür. Tekrarlı üretime ve üretim kolaylığına sahiptir. Eriyik içerisine disperse olan Al tozlarının oksit tabakası içermesi dezavantaj olarak gösterilmektedir.

5- **Vorteks Yöntemi** : Partikül takviyeli MMK üretiminde kullanılan vorteks yönteminde , eriyik metal içinde bir karıştırıcı yardımıyla vorteks oluşturularak tozların ilavesi sağlanmaktadır. Ni veya Cu kaplı grafit tozları sıvı Al içerisine bu yöntemle başarılı bir şekilde ilave edilmektedir.

6- Santrifüj Yöntemi : Simetrik bir parçanın üretiminde kullanılan yöntemde, dış cidarı partikül ile takviye edilmiş malzemeler üretilmektedir. Al-%11 Si alaşımına grafit ve Al_2O_3 partikülleri bu yöntemle ilave edilmektedir.

7- Ultrasonik Titreşim : Eriyik içerisine yüzeyi aktif elementler ilave ederek ve ultrasonik titreşim uygulayarak partiküllerin daha iyi disperse olması sağlanmaktadır. Sesten daha hızlı olan titreşim malzemede oluşabilecek boşlukları ve gazları gidermektedir. 102 mm uzunluğunda, 6.35 mm çapındaki B/Mg kompoziti bu yöntemle üretilmektedir.

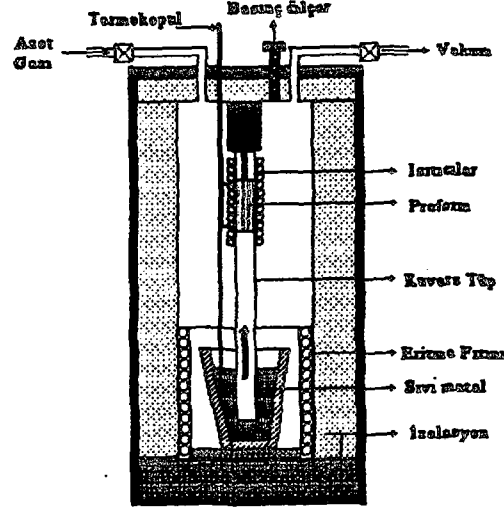
8- Metalik Köpük Yöntemi : %40-98 oranında yüksek porozite içeren metalik köpükler gas/metal matrisli kompozitler olarak adlandırılmaktadır. Hafif ağırlıktaki malzemeler hava ve suya dayanıklı, düşük termal iletkenliğine ve yüksek darbe enerjisine sahip malzemelerdir.

Eriyik metale TiH_2 veya ZrH_2 gibi şişiriciler ilave ederek ve sonra bu malzemeleri adsorbe etmek için ısıtarak metalik köpükler elde edilmektedir.

9- Yönlenmiş Katılaşma : Tek yönde katılaşmış ötektik kompozitler büyük ilgi uyandırmaktadır. Bu metot yardımıyla, tantalyum monokarpit viskerleri ile takviye edilmiş $NiTiC$ süper alaşımından, uçak motoru türbin bıçakları üretilmektedir.

10-Basınçlı İnfiltrasyon Yöntemi : MMK üretiminde bir kaç çeşit basınçlı döküm yöntemi kullanılmaktadır. İnfiltrasyon yönteminde uygulanan basınç miktarı sıkıştırma dökümde kullanılanlardan daha düşüktür. Şekil 2.5'de fiberden yapılmış preform içerisine bir yönde uygulanan basınçlı infiltrasyon dizaynı görülmektedir. Kullanılan diğer basınçlı döküm yöntemi ise, özel bir kalıpta

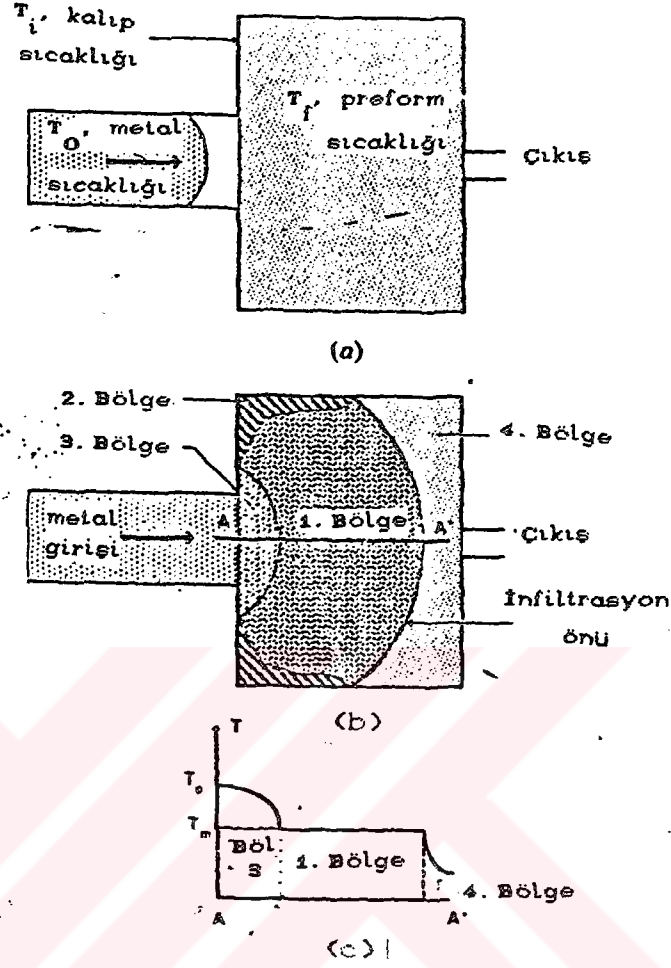
bulunan partikül topluluğu üzerine sıvı metali dökme ve 3 MPa değerinde basınç uygulayarak kompoziti elde etme sistemine dayanmaktadır [14].



ŞEKİL.2.5. Genel Basıncılı İnfiltrasyon Yöntemi [14].

Fiber takviyeli MMK üretiminde kullanılan infiltrasyon yöntemi, kalıp içine yerleştirilmiş preforma metalin N_2 gazı basıncı yardımıyla emdirilmesini içermektedir. Kimyasal reaksiyonları minimuma indirmek ve malzemeyi hatasız üretmek için preform belli bir sıcaklığa ısıtılmaktadır [16].

MMK'ler mühendislik bakımından önemli olduğundan hem teorik hemde deneysel olarak birçok araştırmacı tarafından çalışılmaktadır. Nagata ve Matsuda [17], metal ve partiküllerin fiziksel özelliklerinden yararlanarak, preformların ısıtılması gereken minimum sıcaklığı saptamaya çalışmışlardır. Funkana ve Goda [17], sıvı akışının kesilmesini sağlayan kritik infiltrasyon hızını bulmayı amaçlamışlardır. Clyne ve arkadaşları [17] ise, kritik infiltrasyon basıncını ve bu basıncın preformun deformasyonuna etkisini incelemişlerdir [17].



ŞEKİL.2.6 Preform İçerisinde Sıvı İlerleyişi (a)Sıvı girmeden önce, (b)Sıvının preform içerisindeki durumu ve (c)A-A' Kesitindeki Sıcaklık Değişimi [17].

Şekil 2.6 infiltrasyon sırasında sıvı metal ile preform arasındaki olayları göstermektedir. Burada T_o , metal sıcaklığını, T_f , fiber sıcaklığını ve T_i ise kalıp sıcaklığını göstermektedir. Bu üç sıcaklık birbirinden farklıdır. I. bölgede, infiltrasyon önünün arka yüzeyinde sıvı ve katı metal bir arada bulunmaktadır. Isı alış veriş kalıp ilede olacağından II. bölgede tamamen katı metal oluşmaktadır. Preforma giren sıvı metal (III.bölge)

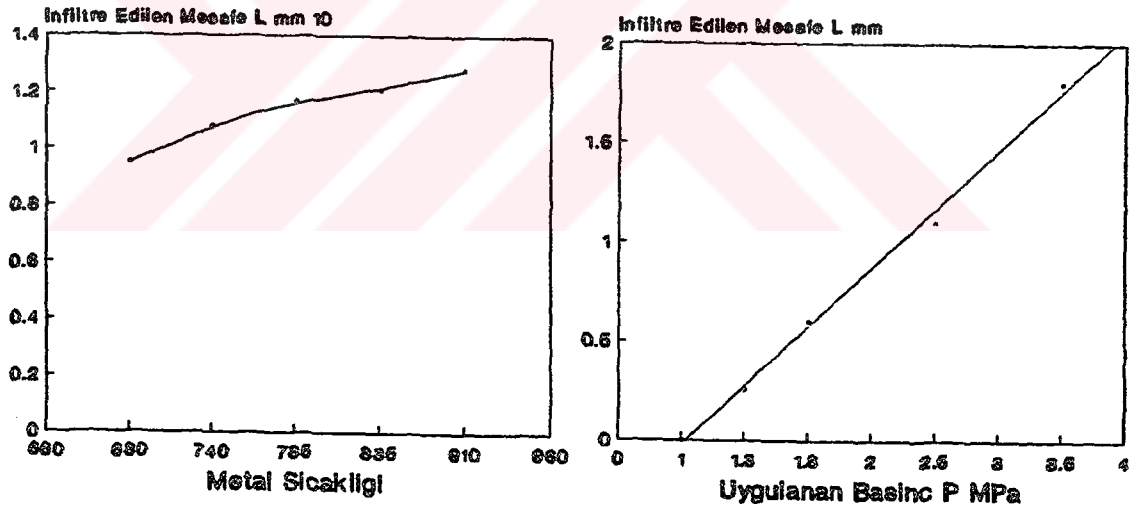
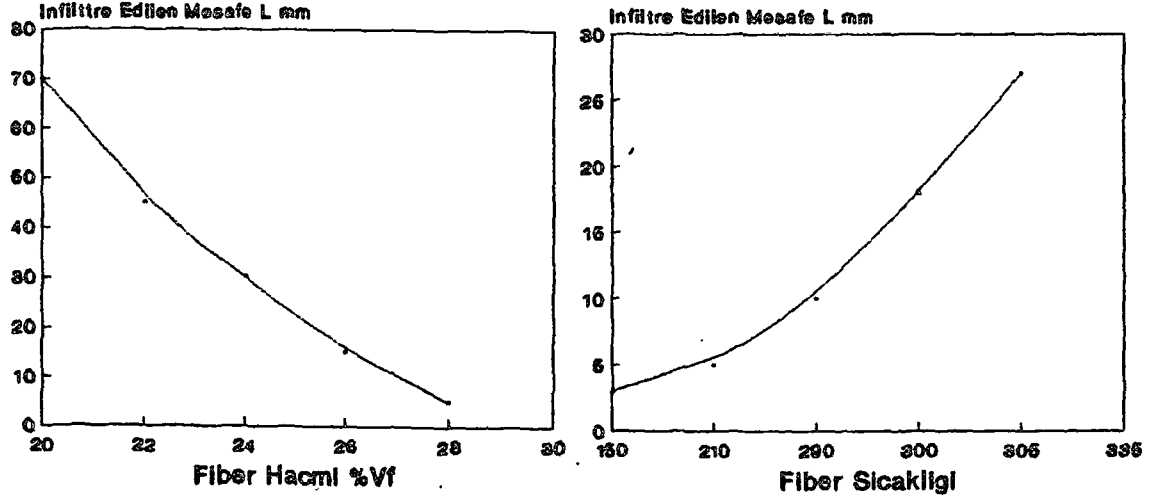
I. ve II. bölgede oluşan katı metali tekrar eritmektedir. İnfiltrasyon süresince oluşan gaz, henüz metal gelmemiş olan IV. bölge yardımıyla dışarı atılmaktadır [17].

Yüzey enerjisi farklılıkları, metalin fiberleri ıslatıp ıslatmayacağına bağlı olarak, infiltrasyon ilerleyişine etki etmektedir. Genel olarak metal ilkönce, preformdaki büyük boşlukları, sonrada fiberler arasında kalan ince boşlukları doldurduğundan, infiltrasyon ilerlemesi engellenmektedir [16]

İnfiltrasyon kinetiğine etki eden faktörler aşağıdaki şekildedir.

- . Fiber hacmi
- . Fiber sıcaklığı
- . Metal sıcaklığı
- . Uygulana basınç miktarı [17]

Şekil 2.7'de bu faktörlerin etkisi görülmektedir. Fiber hacminin (V_f) artması ile preformun infiltre edilme mesafesi azalmaktadır (Şekil 2.7a). Fiber sıcaklığını artırma ile infiltre edilen mesafe artırılmaktadır (Şekil 2.7b). Başlangıç metal sıcaklığının artma sınırının infiltre edilen mesafeye etkisi diğer faktörlerden daha azdır (Şekil 2.7c). Uygulanan basınç miktarı ile infiltre edilen mesafe arasındaki ilişki (Şekil 2.7d) görülmektedir.



ŞEKİL 2.7. İnfiltrasyon Edilen Mesafeye (a)Fiber Hacmi, (b)Fiber Sıcaklığı, (c) Metal Sıcaklığı ve (d)Basıncı Etkisi [17].

2.1.1.3.3. Metal Matriksli Kompozitlerin Kullanım Alanları

MMK'ler yüksek mekanik özelliklere sahip olduklarından ve bu özelliklerini yüksek sıcaklıklarda korumalarından dolayı, birçok uygulama alanı bulmaktadırlar. Özel durumlarda kullanılabilen civatalarda, bağlantı çubuklarında, fan bıçaklarında, jet motorlarının sürücülerinde, füze başlarında, helikopter transmisyon yataklarında, santrifüj döndürme kasnaklarında ve uzay istasyonlarının kirişlerinde kullanılmaktadır.

Grafit takviyeli Al alaşımları uydu, füze, helikopter yapılarında, Cu alaşımları, elektriksel bağlantılarda ve kirişlerinde, borsic (bor kaplanmış SiC) takviyeli Al alaşımları jet motorları fan bıçaklarında, Ti, yüksek sıcaklık yapılarında, alumina takviyeli Al alaşımları süper iletken rezistanlarda, Mg, helikopter yapılarında, SiC takviyeli Ti ve Al yüksek sıcaklık yapılarında kullanılmaktadır [15].

2.1.2. Kompozit Üretiminde Kullanılan Fiber Malzemeleri

Kompozit üretiminde kullanılan fiberler metal, oksit ve oksit olmayanlar adı altında üç grupta toplanmaktadır. Fiber seçiminde dikkat edilecek özellikler aşağıdakileri içermektedir [15]. Tablo 2.3'de yaygın olarak kullanılan fiberlerin bazı özellikleri verilmektedir.

- . Elastisite modülü
- . Çekme dayanımı
- . Yoğunluk
- . Erime sıcaklığı
- . Termal kararlılık
- . Termal genleşme katsayısı
- . Şekil ve boyut

- . Matris tarafından ıslatılabilirliği
- . Maliyet [15]

TABLO 2.3. Yaygın Olarak Kullanılan Fiberlerin Bazı Özellikleri [18].

Fiber	Ort. Çap μm	Yogunluk Mg/m^3	Çekme Ger. GPa	Elast. Mod. GPa
C	8	1.8	2.2	250
SiC	13	2.5	2	190
$\text{K}_2\text{O}(\text{TiO}_2)_6$	0.2	3.3	>7	280
$\text{LiOAl}_2\text{O}_3\text{SiO}_2$	5	2.6	2	85
$\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$	2.8	2.6	1.3	120
FP $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$	2	3.95	1.7	380
RF Saffil	3	3.3	2	300

2.1.2.1. Saffil ($\delta\text{-Al}_2\text{O}_3$) Fiber

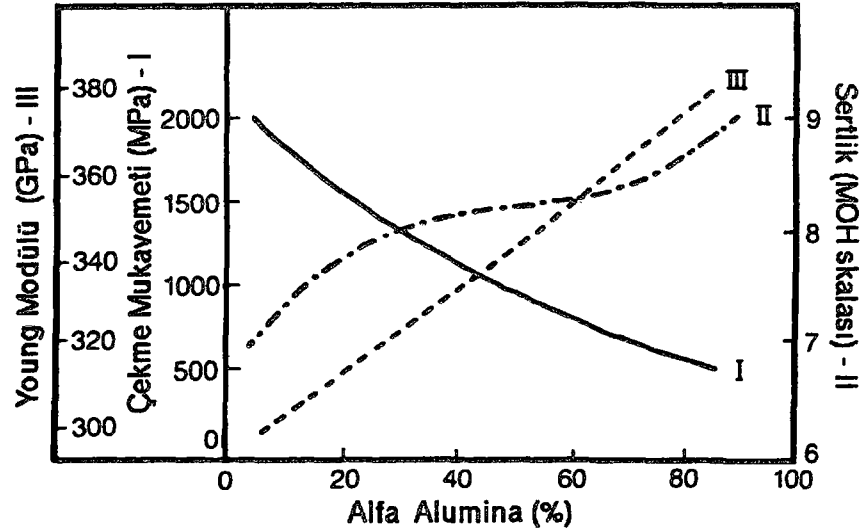
Geçen 15 yıl boyunca, takviye elemanı olarak kullanılan malzemeler üzerinde yapılan çalışmalar sonucu, daha düşük maliyete sahip olan malzemelerin elde edilmesi sağlanmaktadır. Bu malzemelerden birisi de, I.C.I. (Imperial Chemical Industries) tarafından "SAFFIL" ticari ismiyle üretilen δ alumina fiberleridir. Saffil fiberler RF ve RG tiplerinde bulunmaktadırlar. RF tipi saffil, RG tip saffilden daha yüksek çekme mukavemetine, fakat daha az sertliğe sahiptir. RF tip saffil hafif metallerin yüksek sıcaklık özelliklerini geliştirmede, RG tip ise, aşınma dayanımı gerektiren yerlerde kullanılmaktadır [19]. Tablo 2.4'de fiber olarak kullanılan alumina çeşitleri, tablo 2.5'de ise RF ve RG tipi saffil fiberlerin özellikleri verilmektedir. Şekil 2.8'de ise δ -alumina içinde α -alumina miktarının artması ile δ -alumina fiberlerin çekme mukavemeti, elastisite modülü ve sertliğindeki değişimler görülmektedir. Şekil 2.9'da, preform içerisinde bulunan fiberlerin sayısı ile çapları ve uzunlukları arasındaki durum gösterilmektedir.

TABLO.2.4. Alumina Tipleri [14].

	SAFFİL	DUPONT	SUMİTOMO
Derece	RF	FP	-
Kim. Kompozisyon	%96-97 Al_2O_3 %3-4 SiO_2	-	%85 Al_2O_3 %15 SiO_2
Çekme Ger. (MPa)	2000	1380-2070	1800
Elast. Mod. (GPa)	300	380	250
Erime Sıc. (C°)	>2000	2045	-
Kristal Yapısı	δ Alumina (ortorombik)	α Alumina (hegzagonal)	Spinel
Yoğunluk (gr/cm ³)	3.3	3.9	3.2
Fiber Tipi	Süreksiz	Sürekli	Sürekli
Ort. Fiber Çapı (μm)	3	20	17
Ort. Fiber Boyu (μm)	500		

TABLO.2.5. RF ve RG Saffil Alumina Fiberlerin Özellikleri [19].

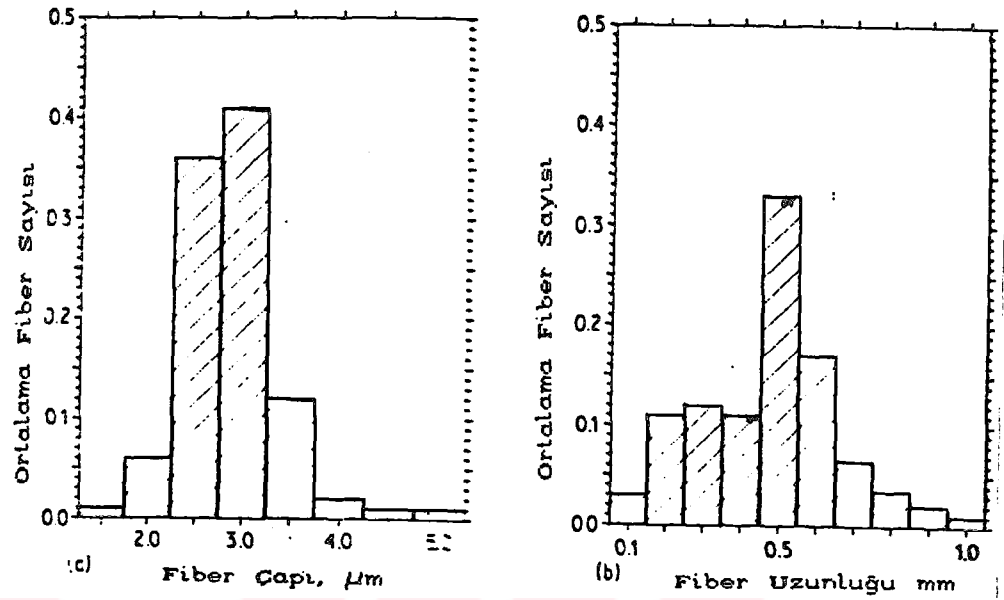
	RF	RG
Kimyasal Komp.		
Al_2O_3	%96-97	Aynı
SiO_2	%3-4	~
Fe	400 ppm	~
Cr	60 ppm	~
Ni	Mg ppm	~
Mg	Na ppm	~
Na	875 ppm	~
Ca	525 ppm	~
Erime Dercesi	>2000 C°	~
Max. Kullanım Sıc.	1600 C°	~
Çekme Gerilmesi	2000 MPa	1000-2000 MPa
Young Modülü	300 GPa	300-330 GPa
Yoğunluk	3.3 gr/cm ³	3.3-3.5 gr/cm ³
Ort. Fiber Çapı	3 μm	3 μm
Ort. Fiber Boyu	500	
Kristal Yapısı	δ Alumina	$\delta + \alpha$ Alumina
Moh Sertlik	7	7-9



ŞEKİL.2.8. α -Alumina Konsantrasyonun Saffil Fiberin
(I)Çekme Gerilmesi, (II)Sertlik ve
(III)Young Modülüne Etkisi [20].

2.1.2.1.1. Preformların Hazırlanması

Eğirme (Spinning) yöntemiyle toz halinde elde edilen alumina fiberlerin istenilen şekle getirilmesi için, fiberlerin birbirlerine bağlanması gerekmektedir. Bunun için bir miktar organik ve inorganik (latex) bağlayıcıların bulunduğu su içerisine arzulanan boylardaki fiberler ilave edilmektedir. Hazırlanan bu çamur, kağıt üretiminin yapıldığı yöntemle, üretimde kullanılacak şekle getirilmekte ve yakılmaktadır. Böylece preformlar hazırlanmaktadır [21]. Saffil fiberlerde δ -alumina yapısının korunması, yani α -alumina şekline dönüşmemesi, ve 50 nm lik ince tanelerin elde edilmesi için %3-4 civarında SiO_2 bulunmaktadır. SiO_2 δ -alumina fazı boyunca ve fiberlerin serbest yüzeyinde 1-5 nm kalınlığında, $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ şeklinde ince film halinde bulunmaktadır. SiO_2 , organik bağlayıcıların yanmasından sonraki mukavemeti sağlamaktadır. Ayrıca SiO_2 saffil fiberlerin ıslatılabilirliğini olumlu yönde etkilemektedir [18].



SEKIL.2.9. Preform İçerisinde Bulunan Fiber Miktarı İle Fiber Çapı ve Uzunluğu Arasındaki İlişki [18]

Saffil fiberlerin kullanılmasındaki avantajları aşağıdaki şekilde sıralamak mümkündür.

1- RF tipi saffil fiberin çekme gerilmesi α alumina fibere nazaran %45 daha fazladır.

2- δ -alumina kristal yapısı ve SiO_2 ilavesi, matris malzemesi ile güçlü bağ yapmayı ve ıslatmayı sağlamaktadır. Li veya diğer ıslatma özelliği sağlayan ilavelerin kullanımına gerek yoktur. α -Alumina ya Li ilave etmek gerekmektedir.

3- Oksidasyona karşı direncinden dolayı C veya grafitte nazaran yüksek sıcaklık uygulamalarında daha kolay kullanılmaktadır. Kullanım sırasında uzun süreli kararlılığa sahiptir.

4- Kimyasal inertliğinden dolayı, Al alaşımları ile temas halinde iken direnç kayıplarına imkan vermez. Oysa

SiC'de bu özellik yoktur.

5- Diğer fiberlere nazaran ticari olarak üretilmesi daha fazladır.

6- SiC, α alumina gibi diğer fiber ve viskerlere nazaran daha ucuzdur

7- Malzemelerin mekanik özelliklerini kötü yönde etkileyen emprüteler çok düşük miktarlarda bulunmaktadır.

8- Son derece küçük çapa sahip ve içerisinde az veya hiçbir mukavemet etkisi göstermeyen, visker olmayan maddeleri yüksek miktarda içeren visker ürünlerine nazaran, daha iyi kararlılık ve kolay işlenebilirlik özellikleri sergilemektedirler.

9- Fiberlerin gelişi güzel dağılmış veya düzenli (dokunmuş)halde bulunduğu durumlarda, çok yüksek yüklemelerde elde edilen mukavemeti, % 30 Saffil fiber kullanarak elde etmek mümkündür [19].

Saffil fiberlerin uygulama bulduğu alanlar;

Pistonlar,

Bağlantı çubukları

Menteşe milleri

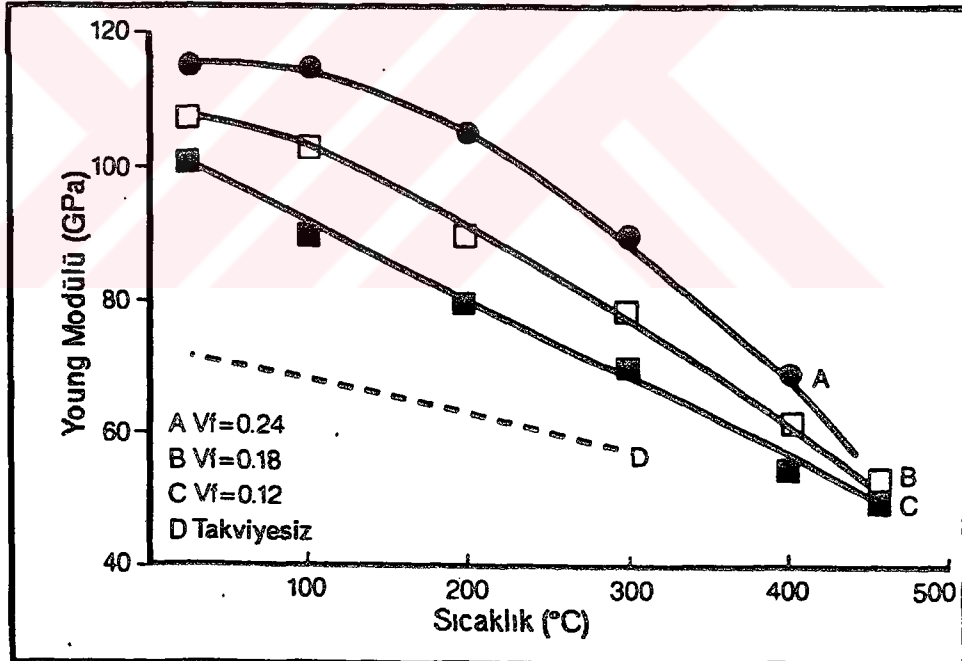
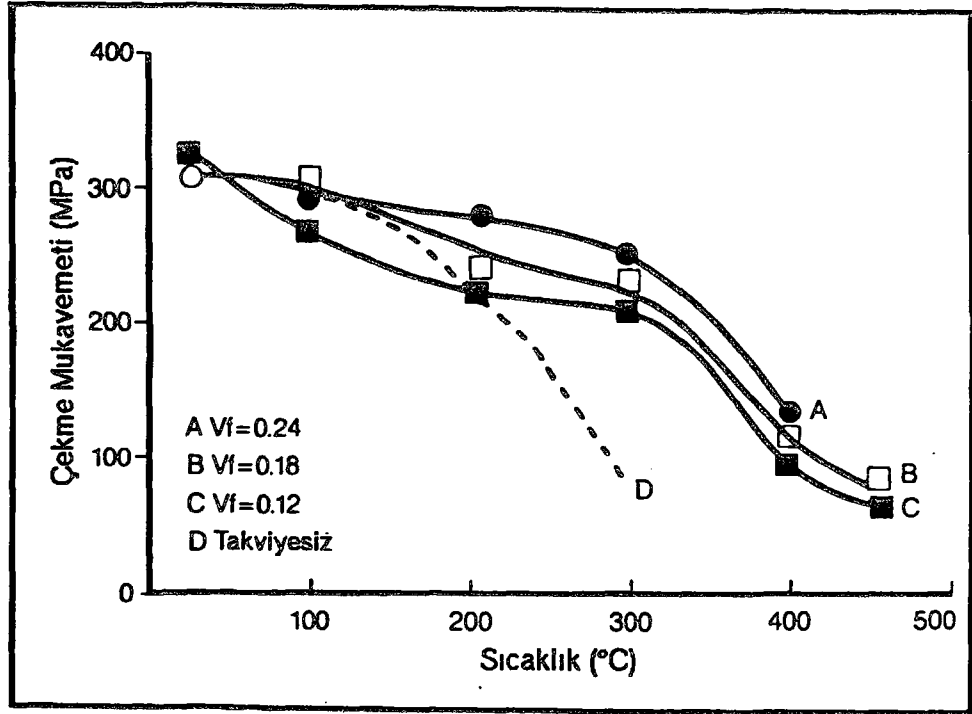
Dişliler

Firen diskleri

Boru ağızları

Turbo kompresör pervaneleri [19]

Toyota Motor Şirketi tarafından değişik oranlarda saffil fiber ilave edilerek, Al-9Si-3Cu malzemesinden üretilen pistonların mekanik özellikleri Şekil 2.10'da görülmektedir [21]



ŞEKİL.2.10. Al-9Si-3Cu + %Saffil malzemesinin
 (a)Çekme Mukavemeti, (b)Young Modülüne
 Sıcaklığın Etkisi [21]

2.2. Çinko-Alüminyum Alaşımları

2.2.1. Çinko-Alüminyum Alaşımlarının Gelişmesi

Çinko-alüminyum esaslı alaşımlar, endüstride çeşitli alanlarda yaygın olarak uzun yıllardır kullanılmaktadır. Basınçlı kokil döküm alaşımlarının piyasaya sunulmaları 1920'li yılların başında ve ZAMAK-3 ve ZAMAK-5 ticari isimleri ile olmuştur [22, 23]. Günümüzde NO.3 ve No.5 alaşımları olarak standartlaştırılmıştır. Dekoratif ve yapısal amaçlar için kullanılan bu alaşımlar yüksek kaliteye, düşük maliyete, uygun mekanik ve fiziksel özelliklere sahip olmaları bakımından yaygın kullanım alanı bulmaktadırlar [22].

1960'lı yılların başında, plastik malzemelerin piyasayı ele geçirmeleri ve ZAMAK alaşımlarının yüksek sıcaklık özelliklerinin bekleneni verememesi sonucunda, bu alaşımların kullanım alanları daraldı. Kaybedilen piyasayı tekrar ele geçirmek ve istenen özellikleri sağlamak amacıyla, çinko endüstrisi, özellikle bu endüstrinin araştırma kolu olan ILZRO (International Lead Zinc Research Organization) önderliğinde, araştırma programları başlattı [22, 24]. Bu çalışmaların ışığı altında, 1960'lı yılların ortasında, mevcut ihtiyaçları karşılamak üzere ILZRO 14 ve 16 olarak adlandırılan iki alaşım geliştirildi. Fakat bu alaşımlarda düşük alüminyum içeriğinden dolayı düşük mukavemete sahip olmaları ve sıcak kamaralı döküm yöntemi ile dökülememeleri sebebiyle konvansiyonel malzemeler karşısında yetersiz kalmaktaydılar [24].

Sonuç olarak, 1970'li yılların başında, ILZRO tarafından ZA12, NORANDA araştırma merkezince ZA8 ve ZA27 isimli alaşımlar piyasaya çıkarıldı. Bu üç alaşım ilk önceleri gravite döküm uygulamaları için tanıtılmalarına karşın, basınçlı kokil döküm sektöründe de kullanıldı [25].

2.2.2. Zn-Al Alaşımlarının Fiziksel Özellikleri

Zn-Al denge diyagramından görüleceği üzere, alaşımların ergime noktası ve katılaşma aralığı Al miktarı ile değişmektedir. Tablo 2.6'dan görüldüğü gibi, ZA8 alaşımı için liküdüs sıcaklığı 404°C ve katılaşma aralığı 29°C dir. ZA12 ve ZA27 için bu değerler sırasıyla, 432°C , 55°C ve 484°C , 109°C 'dir. ZA27 yüksek ergime sıcaklığına sahip olmasından dolayı, aşırı miktarda çekilme boşluktan kaçınmak için katılaşmayı kontrol etmek gerekir. ZA alaşımlarının 50°C 'deki ısı içeriği, ortalama olarak, Al'un sahip olduğu değerin yarısından daha azdır [25].

Düşük ergime noktasına sahip alaşımlar daha düşük enerjiye ihtiyaç gösterirler. Çinko'yu eritmek için gerekli enerji 130 KWh/ton, princi için 220 KWh/ton, alüminyum için 400KWh/ton, dökme demir için ise 500 KWh/ton dur. Çinko alaşımları yaklaşık olarak alüminyumdan iki kat daha hızlı, bronzdan ise üç kat daha hızlı bir şekilde ertilebilirler.

Bu üç alaşımın (ZA8, ZA12, ZA27) yoğunluğu Al miktarı ile ilgilidir. 5 gr/cm^3 yoğunluğundaki ZA27, No 3 çinko kokil döküm alaşımından % 25, bakırdan % 65, dökme demirden % 45 daha hafif ve alüminyumdan ise % 85 daha ağırdır.

Termal genleşme katsayısı pres ve sıkı geçme yatak durumlarında önemlidir. $20-100^{\circ}\text{C}$ aralığında, ZA alaşımlarının termal genleşme katsayısı çoğu Al ve Cu alaşımlarından daha yüksektir. Dökme demirin değerinin yarısına yakındır. 24°C 'deki termal iletkenlik $115-125.5 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ arasında değişmektedir. Bu değerler bakır döküm alaşımlarının değerinden düşüktür [25].

TABLO.2.6. ZA ve Bazı Konvensiyonel Malzemelerin Fiziksel Özellikleri [25].

			Yoğunluk gr/cm ³	Erime Aralığı C°	Termal Genleşme Katsayısı μm/mK	Termal İletkenlik W/mK	Elektriksel İletkenlik %IACS
Z n	NO. 3	Basnc	6.60	381-387	27.4	113	27.0
	NO. 5	Basnc	6.70	380-386	27.4	109	26.0
	ZA. 8	Kokil	6.3	375-404	23.2	115	27.7
		Basnc					
	ZA. 12	Kum	6.03	377-432	24.1	116	28.3
		Kokil					
		Basnc					
	ZA. 27	Kum	5.00	375-484	26.0	125.5	29.7
		Basnc					
	355-T6	Kokil	2.69	556-615	21.5	151	39
A l	380	Basnc	2.74	540-595	21.8	96.2	27
	319	Kum	2.80	515-605	21.5	109	27
P	SAE40	Kum	8.83	855-1010	18	72	15
B r	SAE660	Kum	8.93	855-975	18	59	12
	SAE64	Kum	8.88	762-928	18.5	46.9	10.1
D D	GG 30	Kum	--	>1176C°	12.1	49-52	-
	GGG	Kum	7.20	>1232C°	11.9	-	5

Zn-Çinko
Al-Aluminyum

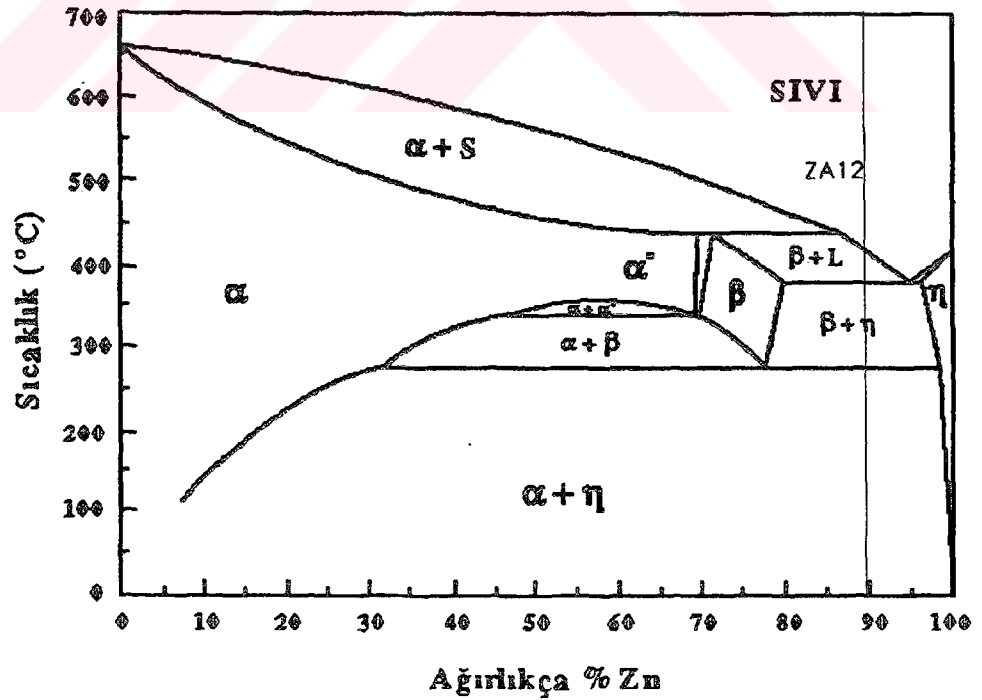
P-Princ
Br-Bronz

DD-Dökme demir

2.2.3. Zn-Al İkili Denge Diyagramı

Malzemelerde içyapı-mekanik özellik ilişkilerinin belirlenebilmesi için ele alınan alaşım sistemine ait denge diyagramının bilinmesi gerekmektedir [26]. Zn-Al denge diyagramı 80 yıldan fazla bir süredir araştırılmaktadır. Bu süre içinde bir çok denge diyagramı yayınlanmıştır [23]. İlk çalışmalar Presnykof ve arkadaşları tarafından ortaya konulmuş ve daha sonra Goldak ve Parr tarafından bazı değişiklikler yapılmıştır. Günümüzde bu diyagram geçerli sayılmaktadır [27].

Zn-Al denge diyagramı Şekil 2.11'de verilmektedir. Bu diyagramdan görüldüğü gibi, çinko, alüminyum içerisinde % 80'ekadar çözünerek α , α' ve β olarak isimlendirilen üç tane değişik faz bölgesi oluşturmaktadır [26]. Alüminyumca zengin eriyiğe α , monoötektit'in çinko tarafında kalan kısmına α' , çinkoca zengin ötektit faz'a β ve çinkoca zengin katı eriyiğe'de η denilmektedir. 443°C de peritektik, 380°C 'de ötektik, 340°C 'de monotektik ve 275°C 'de da ötektit dönüşümler meydana gelmektedir [27].



ŞEKİL.2.11. Zn-Al İkili Denge Diyagramı [23].

351°C ve 340°C sıcaklıkları arasında, alüminyumca zengin katı eriyikler, farklı miktarlarda çinko içerdiklerinden ve kafes parametreleri değişik olduğundan α , α' olarak ikiye ayrılmaktadırlar. α ve α' 'nın karışabilme aralığı 340°C'de % 49 Zn'dan % 69.5 Zn'ya kadar uzanmaktadır ve 351°C'de tek bir noktaya ulaşmaktadır. $\alpha+\beta$ bölgesi ise % 69.5 Zn içeren ötektoit noktadan 443°C'deki peritektik noktaya kadar dar bir alanı kapsamaktadır. Çinko içerisinde Al çözünürlüğü ötektik sıcaklıkta yaklaşık olarak % 1.1, ötektoit sıcaklıkta azalarak % 0.65 ve 227°C'de % 0.42 olmaktadır [23].

Kübik yüzey merkezli β fazının kafes parametresi % 70 Zn içeren durumda 4.04 Å iken, % 76 Zn içermesi durumunda 4.03 Å'e düşmektedir. Saf alüminyum'un 25°C'deki kafes parametresi 4.0414 Å'dür. α bölgesinde % 65 Zn içeren bölüme kadar lineer bir şekilde azalarak 4.0 Å değerine ulaşmaktadır. Çinko hegzagonal sıkı paket kristal yapısına sahiptir ve kafes parametreleri ;saf olduğu zaman, a:2.6595 Å, c:4.9368 Å, alüminyum ile katı eriyik yaptığında, a:2.665 Å, c:4.987 Å olmaktadır [23].

2.2.4. Zn-Al Alaşımlarında Faz Dönüşümleri

Zn-Al denge diyagramına bağlı olarak, herhangi faz dönüşümüne maruz kalabilecek katı eriyikler aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır.

- a) Alüminyumca zengin α fazı
- b) Monotektoit α/α' fazı
- c) Ötektoit β fazı
- d) Çinkoca zengin η fazı [23].

ZA3 alaşımının mikro yapısı dendiritik çinko (η) ile ötektik yapıdan oluşmaktadır. Ötektik matris, beta (β) ve eta (η) karışımından meydana gelmekte, ötektoid dönüşüm sonunda β fazı, α ve η 'ya dönüşmektedir. ZA3'deki dendiritler % 1.6 Al ve % 1.7 Cu ihtiva etmektedirler. Ötektik matris ise % 1.2 Al ve % 1.7 Cu içeren çinkodan oluşmaktadır [28].

ZA8, Zn-Al sisteminde ötektik üstü bir alaşım olup, β ve η lamelar ötektik matrisinde primer- β dendiritlerini oluşturarak katılaşmaktadır. 275°C'nin altında β kararsız bir yapıdadır ve ötektoid dönüşüm sonucu η ve alfa'ya (α) dönüşmektedir [29]. Katılaşan ilk faz çinko'ca zengin olacağından, birincil dendiritlerin merkezinde, en dış uca nazaran daha fazla Zn bulunmaktadır [30].

ZA12 alaşımında ise, ötektik matris içinde ayrışmış primer- β dendiritleri bulunmaktadır. Ötektik yapı büyük oranda çinko (η) ve ayrışmış halde bulunan β parçacıklarından meydana gelmektedir. ZA12'de dendiritler % 18.6 Al, % 0.8 Cu, ötektik matris ise % 0.8 Al, % 1.7 Cu içermektedir. ZA 12'nin katılaşma aralığı (43°C) geniş olduğundan, büyük oranda dendiritik yapı görülmektedir. Primer- β dendiritleri oda sıcaklığında $\alpha + \eta$ 'ya dönüşmektedir [28].

ZA27 katılaşma süresince peritektik ve ötektoid dönüşümlere maruz kalmaktadır [30]. İlkönce alüminyum'ca zengin α fazı hızlı bir şekilde dendiritik olarak büyümektedir. α büyümesi, α ve geriye kalan sıvı arasındaki peritektik sayesinde, primer dendiritler etrafında β 'nın katılaşmasına kadar sürmektedir. α ve β sadece kompozisyonları ile ayırtedilebilmektedir. Araştırmacılar, β oluşumu için, sıcaklık düşmesinden dolayı α 'ya dönüşüm hızlanmadan önce, α +L sınırının ötektiğe yakın bölgelerinde eğimin düşük olmasından dolayı, 440°C'de α 'nın dönüşümünün durduğunu ve böylece iki ayrı dönüşümün

başladığını savunmaktadırlar [22]. Döküm mikroyapısı alüminyum'ca zengin dendiritleri içermektedir. Bu dendiritlerin etrafında ötektit reaksiyon sonucu α ve η 'dan oluşan çok ince lamelar yapı mevcuttur. Dendiritler'deki Cu miktarı, merkezden dışa doğru artmaktadır. Dendiritler arasında Cu katı eriyikte tutulamaz ve CuZn_4 şeklinde çökerek ötektik yapıda görülür [30].

2.2.5. Zn-Al Alaşımlarının Mekanik Özellikler

2.2.5.1. Oda Sıcaklığındaki Mekanik Özellikler

Yeni çinko-alüminyum (ZA) alaşımlarının piyasadaki yerlerini almaları hızlı bir şekilde olmuştur. Mükemmel mekanik özelliklere sahip olmaları ve, Kuzey Amerika ve Avrupa'daki piyasayı ele geçirme çabaları sonucunda, endüstriyel alanlardaki kullanımı artmaktadır. Mukavemet gerektiren yerlerde, çinko ve alüminyum alaşımlarının yerlerini özellikle kokil döküm ZA alaşımları almaktadır [31].

% 4 Al içeren No.3 ve No.5 gibi çinko-alüminyum alaşımlarının kokil döküm mekanik incelemeleri, 1970'li yılların sonuna dayanmaktadır [32]. Yüksek çekme mukavemetine sahip ZA27 alaşımının kokil döküm mekanik özelliklerinin incelenmesi ILZRO tarafından yapılmıştır. ZAS ve ZA12 alaşımlarının mekanik özellikleri ise NORANDA merkezince incelenmiştir [31].

Kokil döküm çinko-alüminyum alaşımlarının kimyasal kompozisyonları Tablo 2.7'de, oda sıcaklığındaki mekanik özellikler ise konvensiyonel malzemelerle karşılaştırmalı olarak Tablo 2.8'de verilmektedir [22, 23, 24]

% 4 Al içeren ZAMAK 3 alaşımı mükemmel darbe direnci ve uzun süreli boyutsal kararlılık göstermektedir. Aynı kompozisyonda fakat daha fazla Cu içeren ZAMAK 5 daha

yüksek çekme dayanımı ve sürünme direnci arz ederek, benzer mekanik ve döküm özellikleri sunmaktadır. ILZRO 14 ve 16 alaşımları ise ZAMAK 3 ve 5 alaşımlarına nazaran daha iyi sürünme direncine sahip malzemelerdir [23].

TABLO.2.7. ASTM Standartlarına Göre Zn-Al Alaşımların Kompozisyonları [22, 23, 25,].

METAL(%)	ZAMAK3	ZAMAK5	ZAMAK7	ILZRO16	ZA8	ZA12	ZA27
Al	3.9-4.3	3.9-4.3	3.9-4.3	0.01-0.04	8.0-8.8	10.5-11.5	25-28
Cu	0.10	0.75	0.10	1.0-1.5	0.8-1.3	0.5-1.25	1.0-2.5
Mg	.025-.05	.03-.06	.01-.02	.02	.015-.03	.015-.03	.01-.02
Fe	<0.1	<0.1	<0.1	-	<0.10	<0.075	<0.01
Pb	<0.004	<0.004	<0.004	-	<0.004	<0.004	<0.004
Cd	<0.003	<0.003	<0.003	-	<0.003	<0.003	<0.003
Sn	<0.002	<0.002	<0.002	-	<0.002	<0.002	<0.002
Ti	-	-	-	0.15-0.25	-	-	-
Cr	-	-	-	0.1-0.2	-	-	-
Zn	kalan	kalan	kalan	kalan	kalan	kalan	kalan

ZA27 alaşımının kum ve kokil döküm, ZA8 ve ZA12'nin kokil döküm çekme ve % 0.2'lik akma gerilmesi değerleri, konvensiyonel malzemelerden daha iyi olduğu görülmektedir. ZA alaşımlarının Brinel sertliği Al ve Cu alaşımlarından yüksek, dökme demirden ise düşük durumdadır [25].

ZA27'nin çekme gerilmesi döküm yönteminin değişmesiyle önemli bir şekilde etkilenmemesine karşın, ZA8 ve ZA12'nin özellikleri değişmektedir. Gravite döküm ZA8 alaşımının çekme ve akma gerilme değerleri, kokil döküm yöntemiyle % 50 oranında artırılmaktadır. ZA12 için ise bu değerler, sırasıyla, % 30 ve % 45 olmaktadır. Kokil döküm ile sağlanan hızlı katılaşma sonucu, mikroyapının küçülmesi bu artışı sağlamaktadır. Gravite döküm ZA27'nin darbe direnci ise en yüksek değerdedir [25, 31].

Çinko-alüminyum alaşımları içinde kum döküm ZA27'nin çekme gerilmesi en yüksek değerdedir ve 400-440 MPa arasında bulunmaktadır. Yüksek mukavemete sahip olmasının yanında, Belçika'da yapılan araştırmalar sonucu Ti-B ilavesi ile de sünekliliği artırılmıştır.

ZA12 orta dirençteki ihtiyaçları karşılamakta ve Al alaşımlarına, dökme demirlere ve bronzlara karşı alternatif malzeme olarak görülmektedir. Kum dökümdeki çekme gerilmesi 275-310 MPa, kokil döküm'de ise 310-345 MPa değerlerindedir.

ZA8'de orta dirençteki ihtiyaçları karşılamaktadır. Fakat ZA12'den daha düşük çekme gerilmesi değerlerine sahiptir [33].



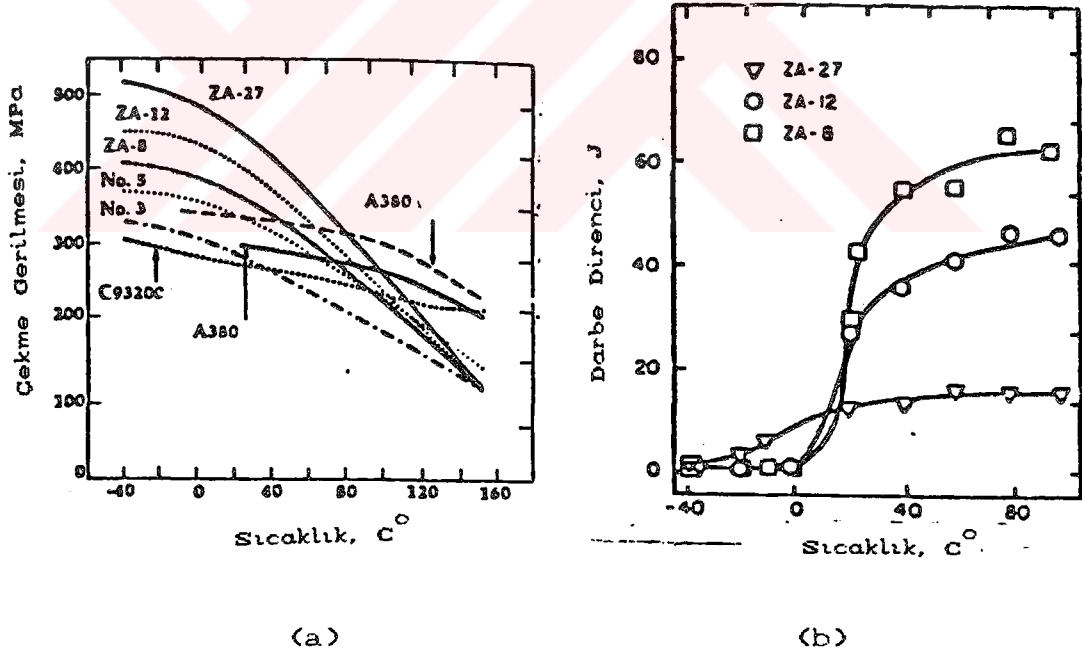
TABLO.2.8. Zn-Al Alaşımları ve Bazı Konvensiyonel Malzemelerin Mekanik Özellikleri [25].

			Elastik Modülü GPa	% Uzama	%0.2 Akma Gerilmesi MPa	Çekme Gerilmesi MPa	Brinel Sertlik 500-10-30s	Darbe Direnci Joule
Z n	NO. 3	Basınç	-	10	-	283	82	58
	NO. 5	Basınç	-	7	-	331	91	65
	ZA. 8	Kokül	85.5	1-2	207	221-255	85-90	-
		Basınç	-	6-10	283-296	365-386	93-107	32-48
	ZA. 12	Kum	83	1-3	207	276-317	92-96	23-27
		Kokül	83	1.5-2.5	248-276	310-345	85-95	-
		Basınç	-	4-7	310-331	393-414	95-105	20-37
	ZA. 27	Kum	75	3-6	365	400-414	110-120	31-54
		Basınç	-	2-3.5	359-379	407-441	116-122	9-16
	356-16	Kokül	72.4	5	186	262	80	8
A l	380	Basınç	71	3.5	158	324	80-85	3
	319	Kum	74	2	124	185	70	4
P	SAE40	Kum	83	30	117	255	60	15
B r	SAE660	Kum	100	20	124	240	65	8
	SAE64	Kum	80	20	124	240	60	15
D	GG 30	Kum	90-113	-	124	214	210	-
D	GGG	Kum	172	10	221	345	110-156	34-68

2.2.5.2. Sıcaklığın Mekanik Özelliklere Etkisi

Çinko-alüminyum alaşımlarının düşük ergime sıcaklığına sahip olması, üretim yönünden avantajlar sağlamasına karşın, alaşımları sıcaklığa karşı duyarlı hale getirmektedir. Kelvin skalasına göre 150°C , ZA27'nin ergime sıcaklığının % 56'sına karşılık gelmektedir. Bundan dolayı sıcaklığın artması ile çekme ve akma gerilmelerinin azalması, sünekliliğin artması şaşırtıcı olmamaktadır (Şekil 2.12a).

Şekil 2.12b'ye ZA alaşımları sünek-gevrek geçiş sıcaklığı göstermektedirler. ZA27 oda sıcaklığında en yüksek darbe ve en düşük sünek-gevrek geçiş sıcaklığına sahiptir. Buna neden olarak, daha fazla Al içermesi ve daha az miktarda ötektik faza sahip olması gösterilmektedir [32, 33].



SEKIL.2.12. ZA Alaşımlarında Sıcaklık ile (a)Çekme Gerilmesi ve (b)Darbe Direnci Değişimi [32, 33].

2.2.5.3. Zn-Al Alaşımlarında Sürünme Direnci

Çinko-alüminyum alaşımlarının sürünme özellikleri pek çok araştırmacı tarafından çalışılmıştır. Basınçlı kokil döküm çinko-alüminyum alaşımlarının sürünme özelliklerinin açıklanması, Durman ve Murphy [34] tarafından daha önce yapılan çalışmalarla $f(\epsilon) = A.t.\sigma^n \exp(-Q/RT)$ [34] empirik formülüyle hesaplanmaktaydı. Fakat bu eşitlik 120°C ve 40 MPa'a kadar olan gerilmelerde olumlu sonuçlar vermektedir. Daha sonra yapılan ayrıntılı çalışmalarda ise, Durman ve Murphy [35] bu eşitliği $f(\epsilon) = C.t(\sinh \alpha \sigma)^n \exp(-Q/RT)$ şekline geliştirmişler ve daha yüksek sıcaklıklardaki ve daha yüksek gerilmelerdeki sürünme özelliklerinin açıklanmasını sağlamışlardır.

Burada;

No.3 ve ZA27 için

n: 3.0

$\alpha: 24.3 \times 10^{-3}$

Q: 106 kJ/mol

ZA8 için

n: 3.2

$\alpha: 26.6 \times 10^{-3}$

Q: 99 kJ/mol

Durman ve Murphy [35] tarafından yapılan çalışmalar sonucunda çinko-alüminyum kokil döküm alaşımları içerisinde, en iyi sürünme özelliği gösteren alaşım ZA8 olarak bulunmuştur. ZA12, ZA8'e benzer sürünme özellikleri sergilemektedir. ZA27 ve No.3 alaşımlarının sürünme davranışları ise ZA8 ve ZA12'ye oranla daha düşüktür [35].

2.2.5.4. Zn-Al Alaşımlarında Korozyon ve Aşınma Özellikleri

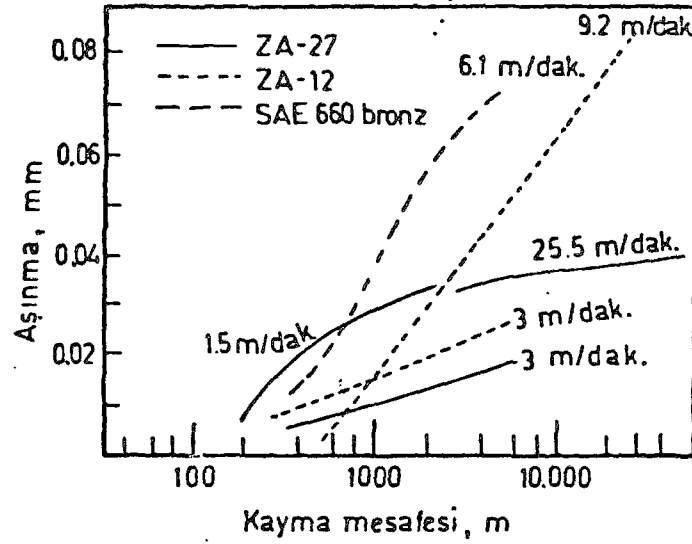
ZA alaşımlarının korozyon dirençleri konvensiyonel çinko alaşımları ve Al arasında değişmektedir. Tuzlu bir ortamda, ZA8 ve ZA12, saf Zn ve No.3 çinko alaşımından

daha dirençli görünmektedirler. ZA27 ise alüminyum 380 alaşımlarının korozyon özelliklerine benzer davranışlar göstermektedir. Dökülmüş halde ZA alaşımlarının yüzeyinde pasif film tabakası olduğundan, atmosferik ortamlarda korozyona karşı dirençlidirler. Deniz suyu gibi daha sert koşullarda ise ilave korumalar gerekmektedir [33].

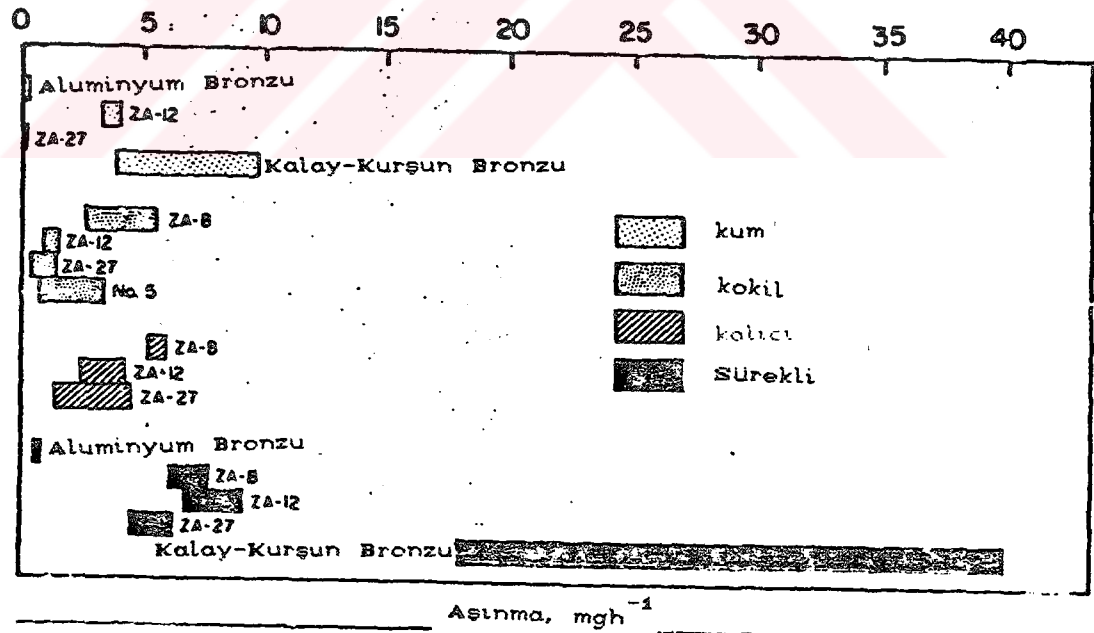
ZA alaşımlarının diğer bir mühendislik özelliğide yatak ve aşınma özelliklerine sahip olmalarıdır [33]. Marczah ve Ciach [27] % 2 Cu içeren çinko-alüminyum alaşımlarının çok iyi aşınma özelliklerine sahip olduklarını göstermişlerdir. Bu özellikler ise, boyutsal kararsızlıkları ortadan kaldırmak için uygulanan ısıtma işlemler sonucu, meydana gelen çok fazlı yapı ve yatak yüzeyinde oluşan çinko oksit ve alüminyum oksitten kaynaklanmaktadır. Alüminyumoksit'in sertliği alaşım sertliğinden fazla olduğu için aşınma direnci kazandırmaktadır. Çinko oksit ise alaşımdan daha yumuşak olup, yatak-mıllar arasında bir sıkışma olması halinde yatağı yağlama görevi yapmaktadır [27].

ZA alaşımları, endüstride kullanılan SAE 660 kurşun-kalay bronzu gibi konvansiyonel yatak alaşımlarına nazaran, daha iyi aşınma özellikleri sergilemektedirler. ZA12 ve ZA27 düşük sürtünme katsayısına, daha düşük sıcaklıkta çalışabilme, çok geniş hidrodinamik yağlama aralığına ve daha iyi yüke maruz kalan yatak alaşımları özelliklerine sahip olduğundan, kuru ve yağlı ortamlarda süper aşınma performansı göstermektedirler. Birçok kurşun-kalay yatak bronzlarına kıyasla daha dayanıklı, sert ve daha yüksek darbe direncine sahiptir. ZA27 ve ZA12, sırasıyla, SAE 660 bronz alaşımından % 44 ve % 32 daha hafiftirler [33].

Şekil 2.13 ve 2.14'de ZA alaşımlarının aşınma özellikleri konvansiyonel malzemelerle kıyaslamalı olarak verilmektedir [27, 36].



ŞEKİL. 2.13. ZA Alaşımları ve Bazı Konvensiyonel Malzemelerin Kayma Mesafesi-Aşınma Oranının zamana Bağlı Olarak Gösterilmesi [27].



ŞEKİL. 2.14. ZA Alaşımları ve Bazı Konvensiyonel Malzemelerin Aşınma Özelliklerinin Karşılaştırılması [36].

2.2.5.5. İlave Edilen Elementlerin ZA Alaşımlarının Yapı ve Mekanik Özelliklere Etkisi

ZA8 ve ZA12 alaşımları kısa ve orta katılaşma aralığına sahip olduklarından, çekilme boşluğu hatası döküm parametrelerinin ; besleyici hacmi, yolluk dizaynı, döküm sıcaklığı, çil uygulanması kontrolü ile önlenabilir. ZA27 alaşımının katılaşma aralığı daha geniş olduğundan, döküm dizaynının kompleksliğinden ve yüksek maliyetten dolayı, yukarıdaki önlemlerin bu hatayı önlemesi için kullanımı tavsiye edilmez [37]. Yapılan çalışmalar sonucunda, 1A grubu (Li, N, K, Cs) ve 2A grubu (Be, Ca, Sr, Ba) elementleri % 0.02-0.1 aralığında kullanıldığında, çekilme boşluğunu elimine ettikleri görülmüştür [37, 38].

ZA alaşımlarında Al miktarı arttığında liküdüs sıcaklığı artacağından, ortalama katılaşma hızı azalmakta ve böylece dökülebilme özelliği de artmaktadır [22].

Düşük oranlarda Cu ilavesi Zn-Al alaşımlarının çekme mukavemetini ve sertliğini büyük ölçüde artırmaktadır [26]. % 1'in üzerinde Cu sünekliliği düşürmekte ve boyutsal değişikliğe sebebiyet vermektedir [23]. Cu aynı zamanda $CuZn_4$ şeklinde çökelme yaparak sürünme direncinin artmasına, liküdüs sıcaklığının düşmesine ve yüksek sıcaklık fazının (β) kararlı $\eta+\alpha$ 'ya dönüşümünün gecikmesine neden olmaktadır [29, 38].

Mg, ötektik dönüşümün oluşmasını geciktirmekte ve geriye kalan sıvı ile etkileşmesinden dolayı ortalama katılaşma hızını düşürmektedir. $300^{\circ}C$ 'de katı-hal dönüşümüne sebebiyet vermekte ve % 0.01 gibi düşük miktarlarda kullanıldığında mukavemetin artmasına neden olmaktadır [38]. Cd, Pb, Sn gibi emrütelerin olduğu rutubetli ortamlarda, taneler arası korozyon direncini artırmaktadır [23, 38].

Cr, Mn ve Alkali metaller sürünmeye karşı dayanımı artırır. Ayrıca Cr, ZA alaşımlarının dökülebilme özelliklerini kötü yönde etkilemekte ve dendritik büyümeyi hızlandırmaktadır [22].

Pollard ve arkadaşları [37] Ti'un ZA alaşımlarının mikro-yapısını incelttiğini göstermişlerdir. Bunun nedeni ise, alüminyumca zengin katı eriyik merkezinde görülen Al_5Ti_2Zn metallerarası bileşiktir. Bu ise sünekliliğin artmasına imkan vermektedir [37].

Üç tip ZA alaşımına % 0.06'ya kadar Sr ilavesi, söz konusu malzemelerin mekanik özelliklerine zararlı etki yapmaktadırlar. Daha yüksek miktarlarda Sr ise maksimum çekme dayanımını, % uzamayı ve darbe direncini düşürmektedir. Sr ile B ikilisinin birlikte kullanılması sünekliliği artırmakta, döküm yüzeyi kaliteli ürünler elde edilmesini sağlamaktadırlar. Yüksek miktarda B ilavesi % uzamanın düşmesini önlemektedir. Sr ilavesi mikroyapıyı etkilememekte, çinko, alüminyum, bakır içeren ayrı bir fazda görülmektedir [30].

Yapıda % 0.05 miktarında bulunan Fe, $FeAl_3$ metallerarası bileşiğini oluşturarak % uzamayı azaltmaktadır [30].

2.2.5.6. ZA Alaşımlarının Kullanım Yerleri

ZA alaşımlarının aşınma özellikleri standart yatak malzemelerine kıyasla daha iyi olduğundan, yatak malzemesi olarak kullanılmaktadırlar. Endüstriyel alanlarda kullanılan yatak malzemelerinde, sulama cihazlarında, ağır flenç yatağı şeklinde, telefon ve güç ünitelerinde kullanılmaktadırlar. Aynı zamanda lokomotif çekme yatağı ve baskı makinalarında da kullanıma sahiptirler [36].

Çinko alaşımları yatak malzemesi olarak kullanımları dışında, bazı ekipmanlarda örneğin, kazı makinaları, kompresör, pistonlu su pompası, haddeleme tezgahı, hava ile çalışan matkaplar gibi bir çok yerde kullanılmakta ve bronzlara nazaran daha iyi performans göstermektedirler [27].

Yüksek sönüm kapasitesine sahip olmalarından dolayı, kokil döküm durumundaki ZA12 elle çalışan havalı çekiç, ZA27 ise, otomobil motoru çerçevelerinde ve arazi motosikletlerin kam mili tahrik kasnaklarında kullanılmaktadırlar [39].



2.2.5.7. LİTERATÜR ÇALIŞMASI ÖZETİ

Metal matrisli kompozitler (MMK) 20 yılı aşkın bir süredir gelişmekte olan malzemelerdir . Son zamanlarda da daha çok ilgi çekmektedirler. Bunun en önemli nedeni, üretim yöntemlerindeki ekonomik koşulların elverişli duruma getirilmesidir.

MMK'lerin yapısal malzemeler olarak kullanılması aşağıdaki avantajlara sahip olmalarından dolayıdır.

- .Yüksek direnç
- .Yüksek elastisite modülü
- .Yüksek tokluk ve darbe özellikleri
- .Sıcaklık değişikliğine ve termal şok'a dayanıklılık
- .Yüksek yüzey dayanımı (aşınma direnci)
- .Elektriksel ve termal iletkenliğin yüksek olması
- .Yüksek vakum direnci

İnfiltrasyon yönteminde uygulanan basınç miktarı sıkıştırma dökümde kullanılanlardan daha düşüktür. Ayrıca sisteme uygulanan vakum sayesinde, çok küçük gözeneklere sıvı metalin nüfuz etmesi ve sistemde bulunan gazların dışarı atılması sağlanmaktadır.

Yüksek sıcaklıkta çalışan endüstriyel fırınlarda, yalıtım malzemesi olarak kullanılan alüminanın MMK'de fiber olarak kullanımı, nispeten düşük maliyete (30 dolar/kg) ve kaliteli biçimde yüksek tonajda bulunması nedenlerine dayanmaktadır.

Konvensiyonel malzemelerden daha iyi mekanik özelliklere sahip olan ZA alaşımları, dökme demirlerde yakın özellikler sergilemektedir. ZA12 alaşımında katılaşma aralığı geniş olduğundan katılaşma şartları kontrol edilebilmektedir. Aşınma direnci ve sürünme özellikleri yüksek olan ZA12 alaşımı kıvılcım (parlama) çıkarma

özelliğine sahip olmadığından madencilik sektöründe kullanılmaktadır.

Sonuç olarak, ekonomik olarak uygun bir yöntemle ucuz fiberlerle takviye edilerek mekanik özellikleri geliştirilmiş ve mukavemet/ağırlık oranı iyileştirilmiş ZA12 metal matriksli kompozitlerin, daha geniş uygulama alanları bulacağı ve kullanımlarının artacağı beklenmektedir.



BÖLÜM 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Çalışma Programı

Bu çalışmada, infiltrasyon tekniği kullanarak metal matrisli kompozit malzeme üretimi ve üretilen malzemelerin özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu düşünce ile ilkbasta, infiltrasyon cihazının yapılmasına ağırlık verilmiştir. İkinci kademede ise, deneylerde kullanılacak matriks malzemesinin üretimi ve fiber malzemesinin elde edilmesine geçilmiştir. Matriks malzemesi kuma döküm yoluyla üretilmiştir. Disk biçimindeki saffil (δ - Al_2O_3) preformlar, %10, 15, 20 ve 30 hacim oranlarına sahip şekilde I.C.I (Imperial Chemical Industry) firmasından elde edilmiştir. Bu işlemlerden sonra kompozit malzeme üretimine geçilmiştir. Dört çeşit preform'a, sıvı ZA12 alaşımın infiltrasyonu, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 3 MPa değerinde N_2 basınçları uygulamak suretiyle gerçekleştirilmiş ve bu basınçlarda preformların dolma kinetiği incelenmiştir.

Son olarak ise, üretilen malzemeler üzerindeki deneysel çalışmalara geçilmiştir. Bu çalışmalar yoğunluk tayini, sertlik, çekme ve aşınma gibi mekanik incelemeleri ve metalografik uygulamaları içermektedir.

3.2. Deneyde Kullanılan Malzemeler.

3.2.1. Matriks Alaşımı: Tablo 2.7'de verilen kompozisyon-daki ZA-12 matriks alaşımının üretilmesinde %99.99'luk Zn, %99.66'luk Al, elektrolitik Cu ve %99.99'luk Mg kullanılarak 15 kg'lık alaşım elde edilmiştir. Üretilen malzeme marka spektral cihazında analiz edilmiştir. Bulunan

değerler Tablo 3.1'de verilmektedir.

TABLO.3.1. ZA12 Alaşımının Spektral Analiz Sonucu
Elde Edilen Kimyasal Bileşimi

Metal	% Miktar
Al	11.05
Cu	1.02
Mg	0.030
Sn	0.001
Pb	0.003
Ni	0.0006
Sb	0.008
Zn	Kalan

3.2.2. Fiber Malzemesi: Bu çalışmada, Bölüm 2.1.3'de açıklanan ve I.C.I firmasından elde edilen δ -alumina kristal yapısına ve düzlemsel olarak gelişigüzel dağılmış fiber oryantasyonuna sahip, RF tipi saffil fiberler kullanılmıştır. Tablo 2.5'de saffil fiberlerin özellikleri verilmektedir.

Şekil 3.1'de deneylerde kullanılan, 10cm çap ve 1cm kalınlığa sahip disk şeklindeki saffil preformlar görülmektedir. Preformların sahip olduğu fiber hacim oranları (V_f) aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır. İlk önce preformların ağırlığı (m_p) ve hacmi (V_p) bulunmaktadır. Bir tek fiberin yoğunluğu 3.3 gr/cm^3 'tür. 1 cm^3 'te 3.3 gr saffil olduğundan " m_p " saffil $m_p / 3.3 \text{ cm}^3$ 'te bulunmaktadır. Bu miktar hacimde bulunan saffil fiberlerin hacim oranı % 100'dür. V_p hacimde bulunan saffil fiberlerin hacim oranı (V_f) ise ;

$$\% V_f = \frac{V_p \times 3.3}{m_p} \quad \text{ile bulunmaktadır.}$$

değerler Tablo 3.1'de verilmektedir.

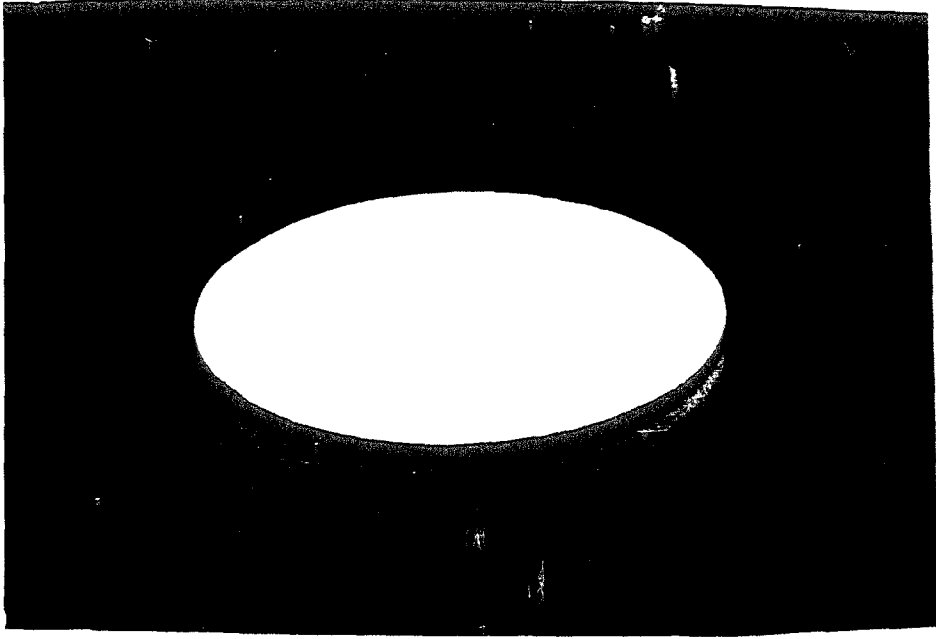
TABLO.3.1. ZA12 Alaşımının Spektral Analiz Sonucu
Elde Edilen Kimyasal Bileşimi

Metal	% Miktar
Al	11.05
Cu	1.02
Mg	0.030
Sn	0.001
Pb	0.003
Ni	0.0006
Sb	0.008
Zn	Kalan

3.2.2. Fiber Malzemesi: Bu çalışmada, Bölüm 2.1.3'de açıklanan ve I.C.I firmasından elde edilen δ -aluminakristal yapısına ve düzlemsel olarak gelişigüzel dağılmış fiber oryantasyonuna sahip, RF tipi saffil fiberler kullanılmıştır. Tablo 2.5'de saffil fiberlerin özellikleri verilmektedir.

Şekil 3.1'de deneylerde kullanılan, 10cm çap ve 1cm kalınlığa sahip disk şeklindeki saffil preformlar görülmektedir. Preformların sahip olduğu fiber hacim oranları (V_f) aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır. İlk önce preformların ağırlığı (m_p) ve hacmi (V_p) bulunmaktadır. Bir tek fiberin yoğunluğu 3.3 gr/cm^3 'tür. 1 cm^3 'te 3.3 gr saffil olduğundan " m_p " saffil $m_p / 3.3 \text{ cm}^3$ 'te bulunmaktadır. Bu miktar hacimde bulunan saffil fiberlerin hacim oranı % 100'dür. V_p hacimde bulunan saffil fiberlerin hacim oranı (V_f) ise ;

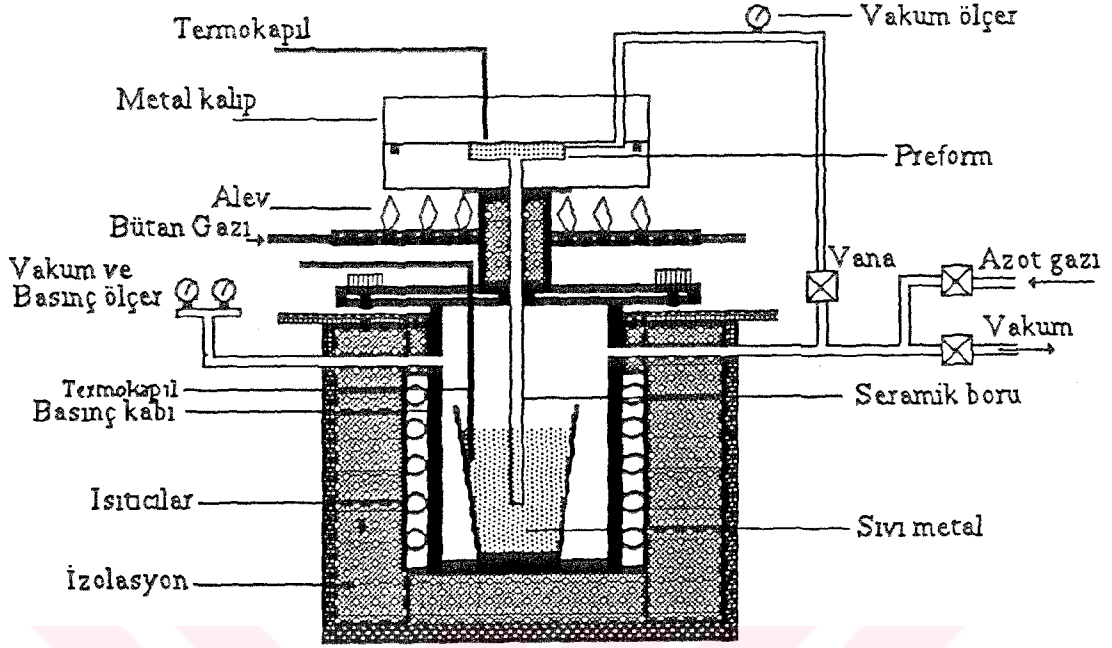
$$\% V_f = \frac{V_p \times 3.3}{m_p} \quad \text{ile bulunmaktadır.}$$



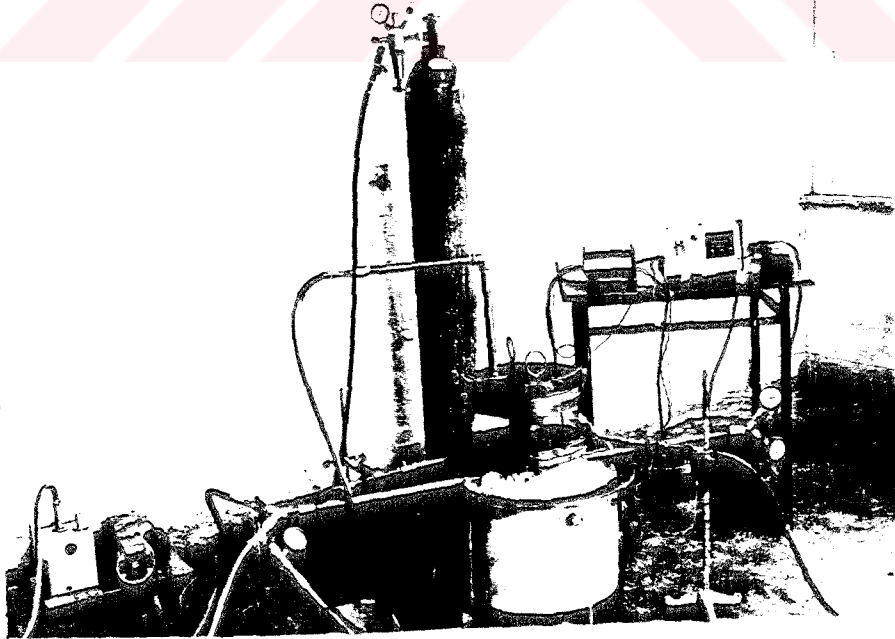
SEKIL.3.1. Deneylerde Kullanılan Saffil Preform

3.2.3. İnfiltrasyon Cihazı

Sekil 2.5'de genel olarak kullanılan infiltrasyon cihazı görülmektedir. Sistemde üretilen parçalar genellikle deneysel amaçlarda kullanılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan infiltrasyon cihazı (Şekil 3.2 ve 3.3)ise kullanıma hazır parça üretimini sağlayacak şekilde dizayn edilmiştir. Çünkü, sadece kullanılan metal kalıpları değiştirmekle istenilen şekilde parça üretmek mümkün olmaktadır. İnce çelik sac dan yapılmış hücre içine yerleştirilen, 1100°C 'ye kadar çıkabilen nüve'nin ortasına,kalın çelikten yapılmış basınç kabı oturtulmuştur. Metal kalıp ise, basınç kabına şekil 3.3'de görüldüğü gibi monte edilmiştir. Azot tüpü, vakum pompası, ve ısıtıcı tüpler ısıya ve basınca dayanıklı borular ile basınç kabına bağlanmışlardır. Kullanılan vakum pompası 0.37 kw motor gücüne, 1360 devir/dak devrine sahiptir ve T20 veya T30 türbin yağı ile çalışmaktadır.



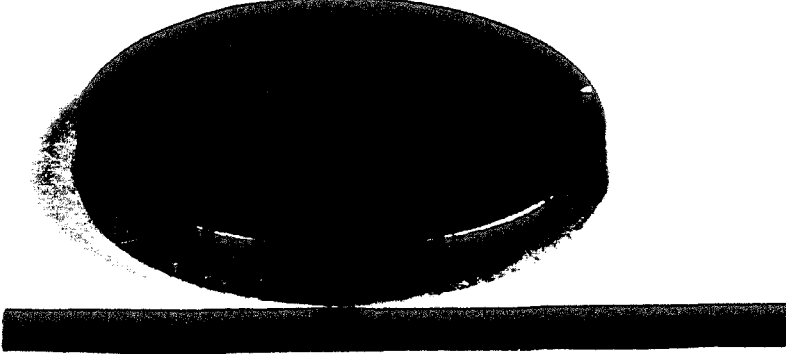
ŞEKİL.3.2. İnfiltrasyon Cihazının Şematik Görüntüsü



ŞEKİL.3.3. Deneylerde Kullanılan İnfiltrasyon Cihazı

3.2.3.1. İnfiltrasyon Cihazının Çalışması Ve Kompozit Malzemenin Üretilmesi

ZA12 alaşımı 1200°C 'ye kadar çalışabilen ayrı bir fırında, dökümün yapılacağı sıcaklık olan 650°C 'nin yaklaşık $50-60^{\circ}\text{C}$ üzerine ısıtılmaktadır. Bunun nedeni ise, sıvı metali ergitme fırınından alıp basıncın uygulanacağı zamana kadar geçen sürede sıcaklığının dökümün yapılacağı sıcaklığın altına düşmesini önlemektir. Metal erimeye terkedildikten sonra, saffil preform alt kalıpta bulunan döküm boşluğuna yerleştirilmekte ve üst kalıp kapatılmaktadır. Sıvı metalin preform içinde katılaşmadan ilerlemesi için kokil kalıplar 350°C 'ye, basınç kabı ise 400°C 'ye kadar ısıtılmaktadır. Metal eridikten sonra curufu alınmakta ve basınç kabına konulmaktadır. Döküm boşluğu ve sıvı metal seramik bir boru ile birleştirilmiştir. Sistem kapatılıp sıvı ve alumina contalar yardımıyla sızdırmazlık sağlandıktan sonra, sistemdeki istenmeyen gazları almak, aynı zamanda infiltrasyon verimini artırmak için fırın ve kalıba vakum uygulanmakta ve N_2 basıncı sisteme verilmektedir. N_2 basıncı yardımıyla sıvı metal döküm boşluğuna çıkmakta ve burada saffil preformun gözeneklerini doldurarak katılaşmaktadır. Birkaç dakika bekledikten sonra sistemde bulunan N_2 dışarı atılır ve üst kalıp açılarak ürün malzeme alınmaktadır (Şekil 3.4). Sistemde yeterince sıvı metal bulunduğundan dolayı diğer döküm işlemine geçilebilmektedir. Deneysel çalışmalarda kıyaslama yapmak amacıyla, ZA12 alaşımında aynı şartlarda boş kalıba dökülerek üretilmiştir. Sistemde kullanılan metal kalıpların yerine başka metal kalıplar monte etmek mümkün olduğundan, istenilen şekillerde parça üretmek sağlanmaktadır.



SEKIL.3.4. Deneylerde Uretilen Kompozit Malzeme

3.3. Yoğunluk Deneyleri

0.5, 1, 2 ve 3 MPa değerindek N_2 basınçlarında üretilen ve değişik saffil fiber hacim oranları içeren kompozit malzemelerin doluluk oranlarını belirlemek için yoğunluk testi yapılmıştır. Yoğunluk testi için, üretilen parçaların merkezinden itibaren dışa doğru 3'er cm uzunluğa sahip numuneler çıkartılmıştır. Deneyin prensibi, ağırlık/hacim oranının malzemelerin yoğunluğunu vermesine dayanmaktadır. Bundan dolayı ilkönce malzemelerin havadaki ağırlığı tartılmış, sonra ise hacimlerin bulunmasına geçilmiştir.

Malzemelerin yoğunlukları aşağıda açıklanan şekilde bulunmuştur $\pm 10^{-4}$ gr ağırlığa duyarlı bir hassas terazi kullanarak herbir numunenin havadaki ağırlığı bulunmuştur. Ağırlıklar ölçüldükten sonra malzemelerin hacimlerinin bulunmasına geçilmiştir. Bunun için beher, saf su

ve numuneleri su içinde askıda tutacak bir parça ip gerekmektedir. Beher içerisine bir miktar saf su konularak bu durumdaki ağırlık değeri tartılmaktadır (m_1). Numunelerin yüzeyinde çok küçük poroziteler olduğundan gerçek hacmin hesaplanması için numunelerin yüzeyleri suda çözünmeyen bir madde ile (vax) sıvanmaktadır. Bu sıvama işlemi numune yüzeyindeki çok küçük poroziteleri dolduracak seviyede olmaktadır. Yüzeyi sıvayan kompozit malzemeler askıda duracak şekilde saf su içerisine daldırılmakta ve tartım yapılmaktadır (m_2). Numuneler saf su içerisinde askıda durduklarından, numunelerin işgal ettikleri hacimde saf su bulunduğunu düşünmek yanlış olmamaktadır. Yani, numuneler su içerisine daldırıldığında numunenin sahip olduğu hacimde saf suyun beher içerisine ilave edildiği düşünülmektedir. Bundan dolayı ($m_2 - m_1$) farkı numunenin sahip olduğu hacmi vermektedir. Çünkü, ölçümlerde kullanılan iki kere destile edilmiş suyun yoğunluğu 1 olduğundan suyun hacmi ağırlığına eşittir. Malzemelerin havadaki ağırlıklarını bulunan bu hacimlere bölmek şartıyla yoğunlukların hesaplanmasına gidilmiştir.

3.4. Metalografik Çalışmalar

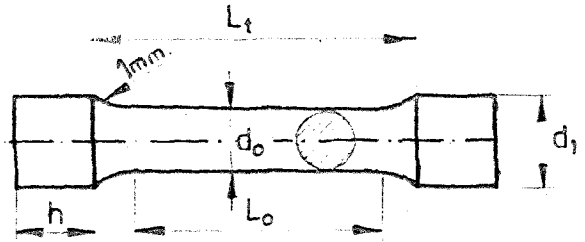
Infiltrasyon tekniği kullanarak, değişik saffil fiber hacim oranlarına sahip Zn-Al esaslı kompozit malzemeler üretilmiştir. Üretilen malzemelerin mikroyapılarını belirlemek amacıyla metalografik çalışmalar yapılmıştır. Bu amaçla, üretilen malzemelerden yüzeye dik ve paralel yönde fiber içeren numuneler çıkartılmıştır. Numunelerin, parlatma işlemi sonrası dağlama yapılmamış ve %2'lik nital (%2 HNO₃, %98 Alkol) ile dağlanmış durumdaki fotoğrafları çekilmiştir. Film çekimleri OLYMPUS B 071 marka fotoğraf makinasında değişik büyütmelerde yapılmıştır.

3.5. Sertlik Deneyleri

Deney malzemelerinin sertlikleri ERNEST marka Brinel sertlik cihazı kullanarak ölçülmüştür. Çekme numuneleri malzemelerin merkezinden çıkartılmıştır. Üretilen malzemeler üzerinde fiberlere paralel ve dik yönde en az beş ölçüm yapılarak ve bu değerlerin ortalaması alınarak sertlik değerleri tespit edilmiştir. Ölçümlerde 62.5 kg yük ve 2.5 mm çapında çelik bilya uç kullanılmıştır.

3.6. Çekme Deneyleri

3 MPa. basınçta üretilen kompozit malzemelerin ortasından 5.06mm çapında yuvarlak çekme numuneleri hazırlanmış ve oda sıcaklığında çekme deneyleri yapılmıştır. Numunelerin çekme boyları BARBA eşitliğine göre [40] bulunmuştur. Şekil 3.5'de deneylerde kullanılan çekme numunelerinin boyutları gösterilmiştir. Kompozit malzemelerden fiberlerin çekme yönüne paralel olduğu bölgelerinden ikişer adet numune çıkarılarak INSTRON universal çekme cihazında deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneyler sırasında çene hızı 2 mm/dk olarak seçilmiştir.



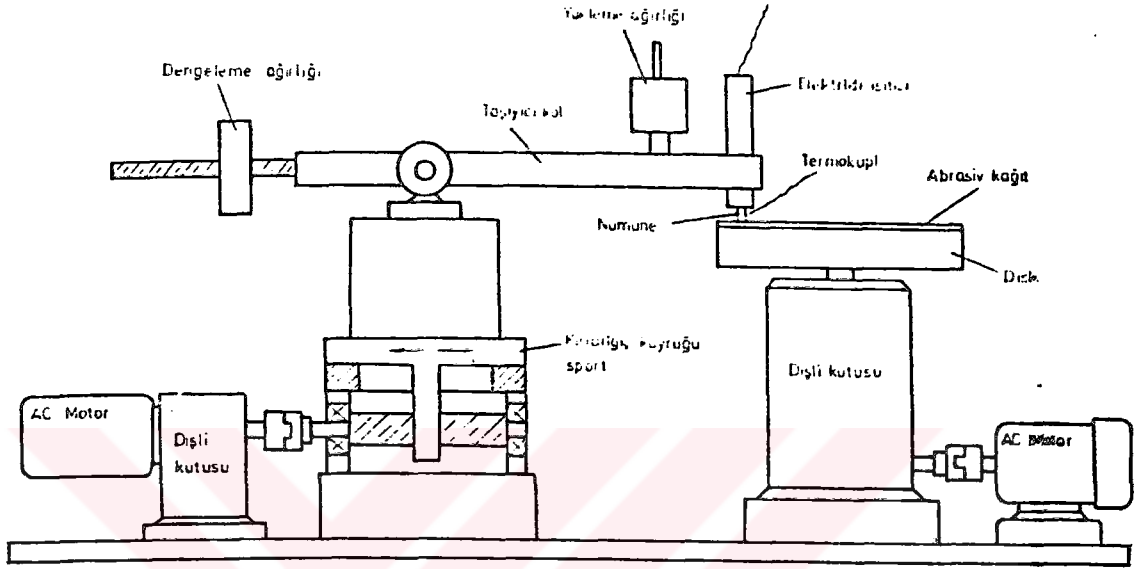
Numune Çapı (d_o)	: 5.06 mm
Baş Kısımın Çapı (d_1)	: 11 mm
Ölçü Uzunluğu (L_o)	: 25.3 mm
Toplam Uzunluk (L_t)	: 26.3 mm
Baş Kısımın Uzunluğu (h)	: 8.5 mm

ŞEKİL.3.5. Çekme Deneylerinde Kullanılan Numune

3.7. Aşınma Deneyleri

İnfiltrasyon tekniği kullanarak değişik hacim oranlarında saffil fiber içeren ZA-12 alaşımının aşınma davranışlarını incelemek amacıyla adhesiv aşınma esasına uygun bir deney cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.6). Aşınma deneyleri oda sıcaklığında yapılmıştır. Yapılan deneylerde üzerine sert Cr-Mo lehimli yapılarak 62 R_c sertliğine sahip 55 mm çapında çelik bir disk kullanılmıştır.

Aşınma deney numuneleri 5 mm çap ve 3 cm boyunda silindirik bir şekle sahip olacak şekilde malzemelerin merkezinden çıkarılmıştır. Aşınmaya tabi olacak yüzeyler fiberlere dik yöndedir. Aşınma deneyinde numuneler üzerine 10N ve 30N olmak üzere iki farklı yük uygulanmıştır. Numuneler cihaza bağlanmadan önce $\pm 10^{-4}$ gr hassasiyetine sahip bir terazide tartılmıştır. Daha sonra bir vida yardımıyla numune cihaza bağlanmış ve dengeleme ağırlığı vasıtasıyla taşıyıcı kol dengelenmiştir. Kol başlama pozisyonuna getirildiğinde yükleme ağırlığı yerine takılarak numunenin çelik disk ile teması sağlanmış ve deney cihazı çalıştırılmıştır. Deney esnasında numune sabit, çelik disk hareketli konumdadır. Diskin devir sayısı 60 dev/dk olacak şekilde ayarlanmıştır. Aşınma numunelerinin çelik disk üzerinde katettiği mesafe 240m dir. Deney sonrası cihaz durdurulup numune çıkarılmış ve tartma işlemi yapılmıştır. Böylece numunenin başlangıç ve son durumu arasındaki ağırlık farkı tespit edilerek aşınmadaki ağırlık kaybı bulunmuştur.



ŞEKİL.3.6. Aşınma Cihazının Şematik Görünüşü

BÖLÜM 4. DENEY SONUÇLARI VE İRDELENMESİ

Bu çalışmada üretim şekli olarak kullanılan infiltrasyon yönteminde, infiltrasyonu etkileyen parametrelerin optimum özelliklere sahip kompozit üretimi için iyi bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. İnfiltrasyon kine-tiğine etki eden parametrelerin etkisi Bölüm 2'de açık-lanmıştır. Bu parametreler; fiber veya kalıp sıcaklığı, metal sıcaklığı, fiber hacmi, ve uygulanan basınç mik-tarıdır [17].

Yukarıda adı geçen parametrelerden fiber (kalıp) sıcaklığı ve metal sıcaklığının etkileri genel olarak şu şekilde özetlenebilir.

Fiber sıcaklığının düşük olması, sıvı metalin preform içerisindeki ilerleyişini kötü yönde etkilemektedir. Preform içerisine giren sıvı metal, çok düşük bir sıcak-lık ile karşılaşınca aniden katılaşacak ve preformdaki diğer bölgelere ulaşamayacaktır. Fiber sıcaklığının çok yüksek olması ise, sıvı metalin geç katılaşmasını sağla-yacaktır. Yavaş katılaşma sonucu, matriks malzemesi ince taneli yapı yerine kaba taneli yapıya sahip olacaktır. Bundan dolayı kompozit malzemenin mekanik özellikleri olumsuz yönde etkilenecektir.

Düşük metal sıcaklığı ise, aynı düşük fiber sıcaklı-ğında olduğu gibi, sıvının preform içerisinde ilerleme-sini kötü yönde etkilemektedir. Düşük sıcaklığa sahip sıvı metal preform ile temas ettiğinde aniden katılaşa-cak, geride kalan sıvının preforma girmesini engelleyecek ve preform tamamen doldurulmayacaktır. Metal sıcaklığı-nın yüksek olması ise, sistemde istenmeyen gazların

oluşumuna sebebiyet verecek, aynı zamanda preform içinde sıvının yavaş katılaşmasını sağlayacaktır.

Bu belirtilen sebeplerden dolayı her metal için optimum üretim koşullarını sağlayacak bir kalıp (preform) sıcaklığı ve bir sıvı metal sıcaklığı belirlemek mümkündür. Dolayısıyla, bu çalışmada yapılan sayısız ön denemeler sonunda, deneylerde kullanılan matriks malzemesi (ZA12) için optimum özelliklerin sağlanmasında infiltrasyon parametrelerinden; preform veya kalıp sıcaklığının 350°C , metal sıcaklığının ise 650°C gerektiğı bulunmuştur.

Infiltrasyonu etkileyen diğeri iki parametre olan, kompozit malzeme üretimine ve özelliklerine endirekt olarak etkileyen, uygulanan infiltrasyon basıncı ve fiber hacim oranı değışimlerinin etkileri, kalıp veya preform sıcaklığı ve sıvı sıcaklığı sabit tutularak hedef olarak belirlenmiş ve incelenmiştir.

4.1. Yoğunluk Ve Porozite Ölçüm Sonuçları

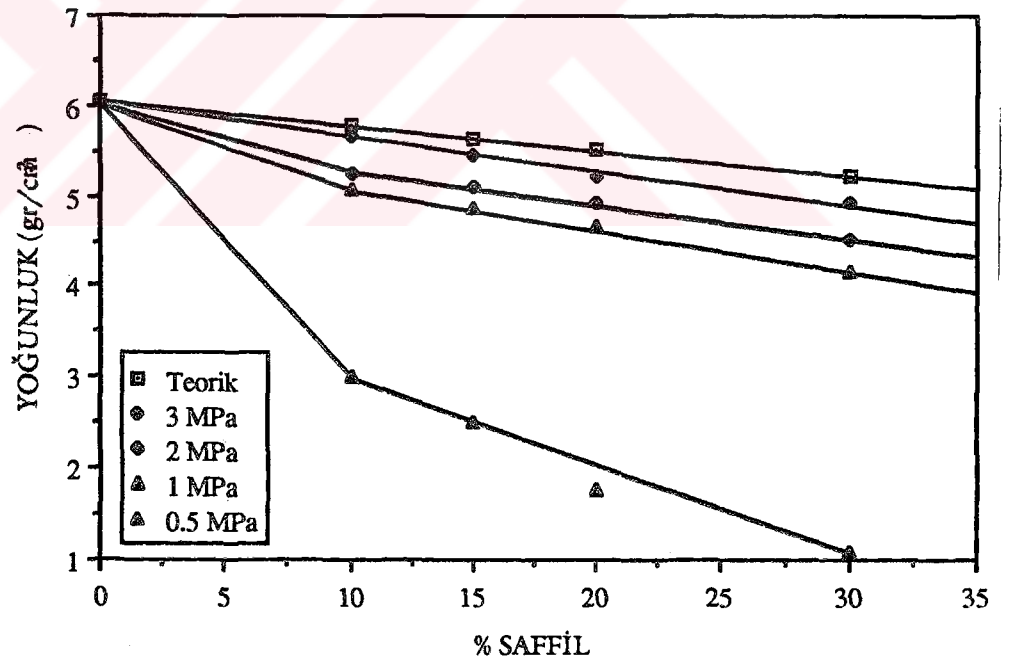
Değişik basınçlar kullanarak, değişik fiber hacim oranlarına sahip saffil preformların, ZA12 alaşımı ile infiltre edilme derecesini belirlemek amacıyla yapılan yoğunluk ölçüm sonuçları Tablo 4.1'de verilmektedir. Şekil 4.1'de ise, uygulanan değişik basınçlarda artan saffil yüzdesi ile malzemelerin yoğunlukları arasındaki ilişki görülmektedir. Şekil 4.1'de preformların tam dolması halinde oluşan kompozit malzemenin gerçek (teorik) yoğunluğunun fiber hacmi arttıkça azaldığını göstermektedir. Bu azalma, fiber yoğunluğunun matriks malzemenin sahip olduğundan daha düşük olmasından kaynaklanmaktadır.

Yoğunluk deneyi sonuçlarından yararlanarak preforma infiltre edilebilen metal yüzdeleri bulunmuştur. Bulunan değerler Tablo 4.2'de verilmektedir. Tablo 4.2'den görüldüğü gibi 0.1 ve 0.2 MPa'da yapılan deneylerde preformların infiltrasyonu mümkün olmamıştır. Dolayısıyla bu basınçlarda yoğunluk ve doluluk oranı tayini yapılamamıştır. Şekil 4.2'de ise, preformlara infiltre edilen metal yüzdesi ile uygulanan basınçlar arasındaki ilişki, preformların içerdiği fiber hacim oranlarına göre verilmektedir. Elde edilen bu grafiklerden değişik fiber hacim oranlarındaki preformların dolmaya başladığı kritik basınç değerleri elde edilmiş ve bölüm içinde verilmiştir.

Yoğunluk ve porozite tayini ölçümlerinden elde edilen sonuçlar, kompozitlerin içerdikleri fiber hacim oranı ve poroziteler ile yakından ilgili olduğu için, sonuçların değerlendirilmesi metalografik çalışmaların ışığı altında yapılmıştır.

TABLO.4.1. Yoğunluk Deneyi Sonuçları.

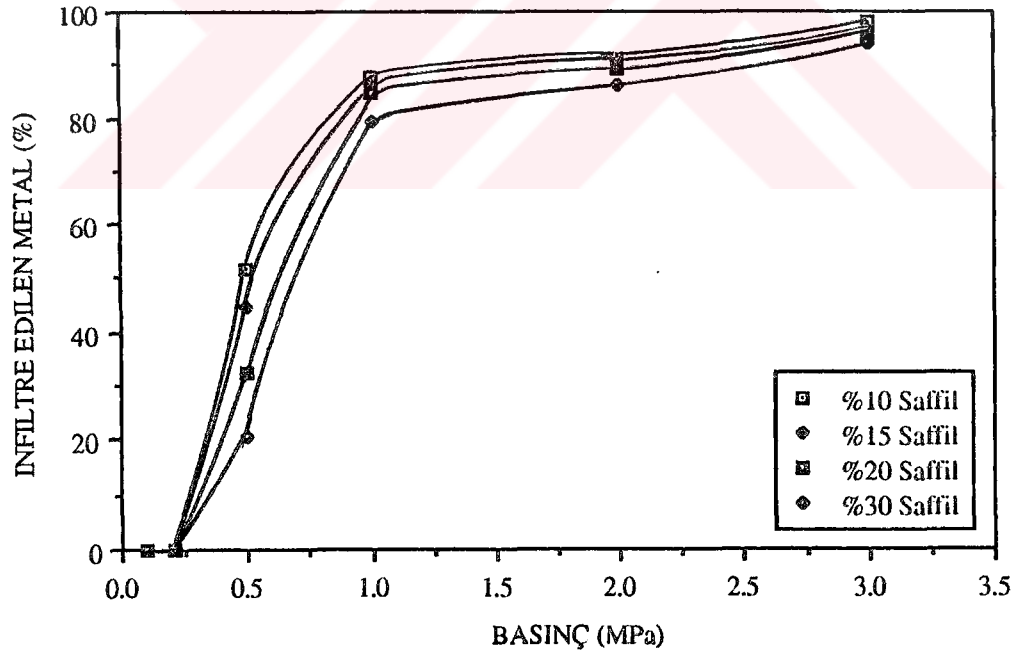
% SAFFİL	BASINÇ (MPa.)				
	0.5	1	2	3	Teorik
0	6.06	6.06	6.06	6.06	6.06
10	3.00	5.08	5.26	5.66	5.78
15	2.52	4.88	5.12	5.46	5.65
20	1.78	4.66	4.92	5.23	5.51
30	1.08	4.16	4.52	4.93	5.23



SEKIL 4.1. Uygulanan Basının Fonksiyonu Olarak, Üretilen Malzemeleri Yoğunlukları ile Fiber Hacmi Arasındaki İlişki

TABLO.4.2. Uygulanan Basınç İle Preform İçerisine
İnfiltrasyon Edilen Metal Yüzdesi

BASINÇ (MPa.)	İnfiltrasyon Edilen Metal (%)			
	%10	%15	%20	%30
0.1	0	0	0	0
0.2	0	0	0	0
0.5	51.9	44.6	32.4	20.6
1	87.89	86.37	84.57	79.54
2	91.00	90.62	89.29	86.42
3	97.92	96.64	94.92	94.26

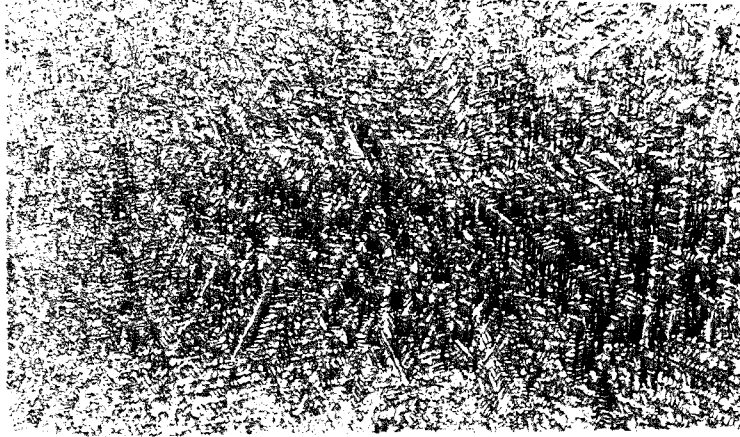


ŞEKİL.4.2. Uygulanan Basınç İle Preform İçerisine
İnfiltrasyon Edilen Metal Yüzdesi

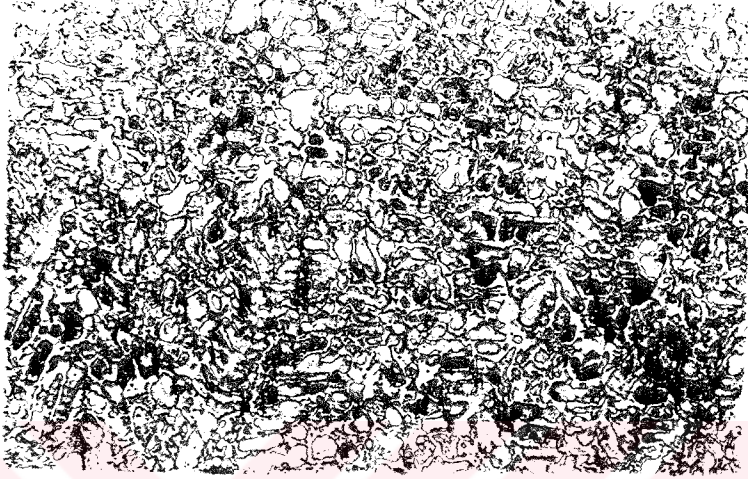
4.1.1. Saf ZA12'nin İnfiltrasyonu

Saffil içermeyen ZA12 alaşımın, 0.5, 1, 2 ve 3 MPa basınçlar altında üretilmesi sonucunda elde edilen malzemeler üzerinde yapılan yoğunluk ölçümleri sonucu, yoğunlukların değişmediği ve 6.06 gr/cm^3 olduğu bulunmuştur.

Saf ZA12 alaşımının değişik büyütmelerdeki mikroyapısı Şekil 3(a-c)'de verilmektedir. Şekil 3a'da düşük büyütmede görülen mikroyapı, ZA12 alaşımının iyi gelişmiş uzun dendiritlerden oluştuğunu göstermektedir. Şekil 3b'de ise bu ötektik üstü alaşımın mikroyapısının β dendiritlerinden oluştuğunu ve bu dendiritleri çevreleyen ötektik yapıyı göstermektedir. Burada β dendiritleri irili ufaklı olup, ortalama olarak $10-25 \mu\text{m}$ çapları arasında değişmektedir. Şekil 3c ise yüksek büyütmede primer- β dendiritlerinin ve ötektik dönüşümün ayrıntılı yapısını göstermektedir. Primer- β fazı 277°C 'nin altındaki sıcaklıklarda kararlı olmayıp [23], ötektoid dönüşümle kararlı $\alpha+\eta$ fazlarına dönüşmektedir. Bu alaşımın yüksek büyütmedeki yapısından, primer- β dendiritlerinin ötektoid dönüşümünün genellikle yüzeylerde $\alpha+\eta$ fazlarının ince taneseli karışımından, iç kısımlarında ise çok daha ince lamelli yapıdan oluştuğu anlaşılmaktadır. Ayrıca, bu yapıda ötektik- β lamellerinin de $\alpha+\eta$ fazlarına dönüştüğü ve η fazının matriks η 'ya bağlandığı görülmektedir.



(a)



(b)



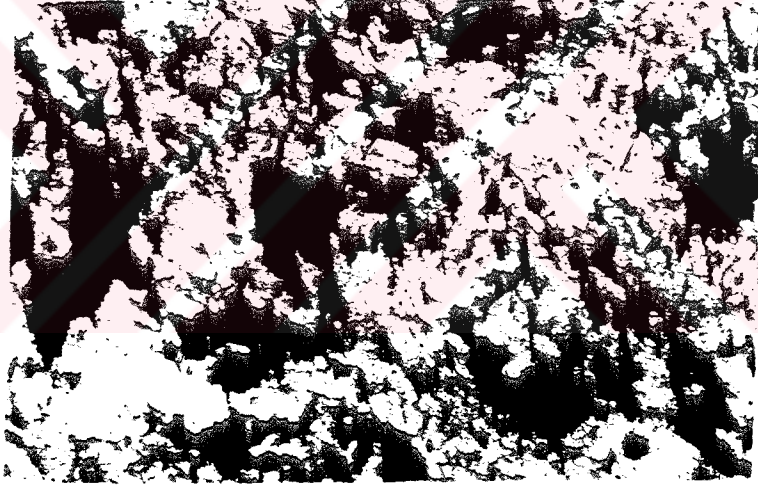
(c)

SEKİL. 4.3. Saf ZA12 Alaşımının (a)x50, (b)x200, (c)x500 büyütmelerdeki mikroyapısı.

4.1.2. 0.5 MPa'da İnfiltrasyon:

Sekil 4.1'de, 0.5 MPa basınç altında yapılan deneylerde üretilen malzemelerin yoğunluklarının fiber hacim oranının artması ile azaldığı görülmektedir. Bulunan yoğunluk değerleri teorik yoğunluk değerlerinden çok düşüktür.

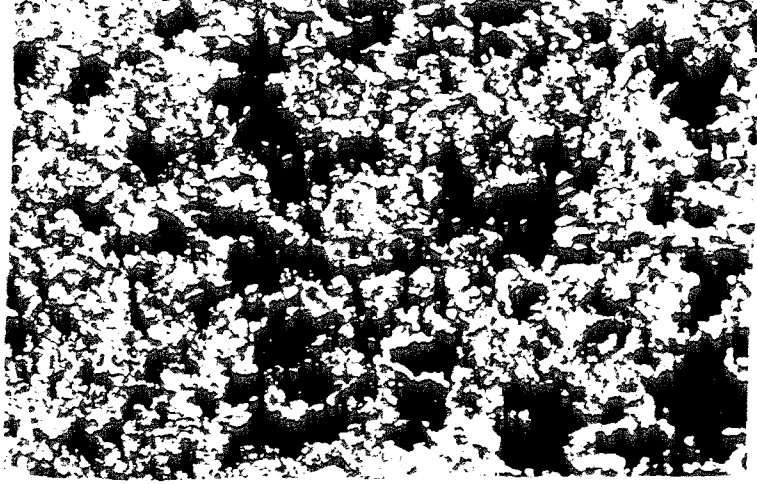
Sekil 4.2'de, 0.5 MPa basınçlarda yapılan çalışmalar sonucu % 10 saffil içeren preformun % 50 oranında infiltre edildiği anlaşılmaktadır. Bu basınçta % 10 saffil içeren preformun doldurulamadığı, Sekil 4.4'de verilen mikroyapı fotoğraflarından da anlaşılmaktadır. Mikroyapı çok büyük ve birbiri ile bağlantılı poroziteleri içermektedir.



SEKIL.4.4. 0.5 MPa'da Üretilen Malzemenin (ZA12+ %10 Saffil) Mikroyapısı (x50).

% 15 saffil içeren preformun 0.5 MPa altında infiltrasyona tabi tutulması sonucu, infiltre edilen metal miktarının % 40'lar seviyesine düştüğü Sekil 4.2'den anlaşılmaktadır. Saffil hacim oranının % 5 artmasıyla infiltre edilen miktarın % 10 kadar düştüğü gözlenmektedir. Yapılan metalografik çalışmalarda da bu durum anlaşılmaktadır. Sekil 4.5'de % 15 saffil içeren preformun

0.5 MPa basınçta üretilmesinden elde edilen malzemenin mikroyapısı görülmektedir. %10'luk fiber hacmine sahip malzemeye oranla daha fazla porozite içeren bir yapı bulunmaktadır.



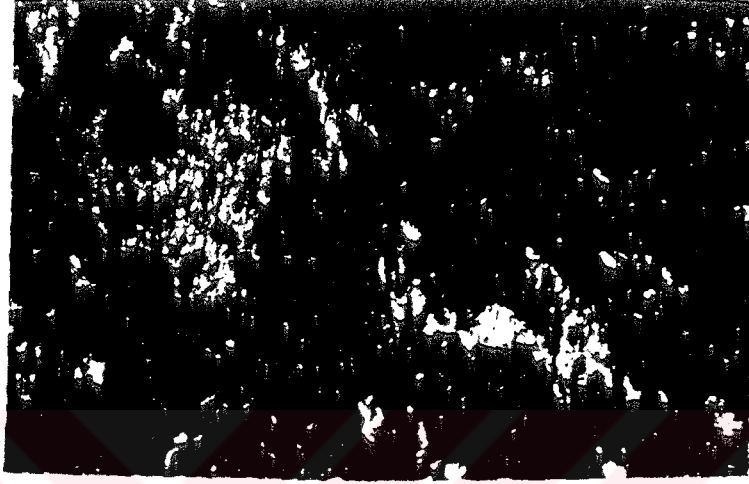
ŞEKİL.4.5. 0.5 MPa'da Üretilen Malzemenin (ZA12+ %15 Saffil) Mikroyapısı (x50).

Tablo 4.2'de, 0.5 MPa'da üretilen % 20 fiber hacim oranına sahip malzemenin % 30 civarında metal içerdiği belirtilmiştir. Saffil oranı arttıkça infiltrasyonun zorlaştığı ve malzemenin yapısında porozitelerin arttığı Şekil 4.6'da mikroyapı filmlerinden anlaşılmaktadır.



ŞEKİL.4.6. 0.5 MPa'da Üretilen Malzemenin (ZA12+ %20 Saffil) Mikroyapısı (x50).

% 30 fiber hacim oranı içeren preformların 0.5 MPa da infiltre edilmesi sonucu, preform içerisine % 20 oranında metalin girmesi sağlanmıştır (Tablo 4.2). % 30 fiber hacmine sahip preformun doldurulmasının gerçekleşmediği malzemelerden elde edilen mikroyapıdan anlaşılmaktadır (Şekil 4.7).



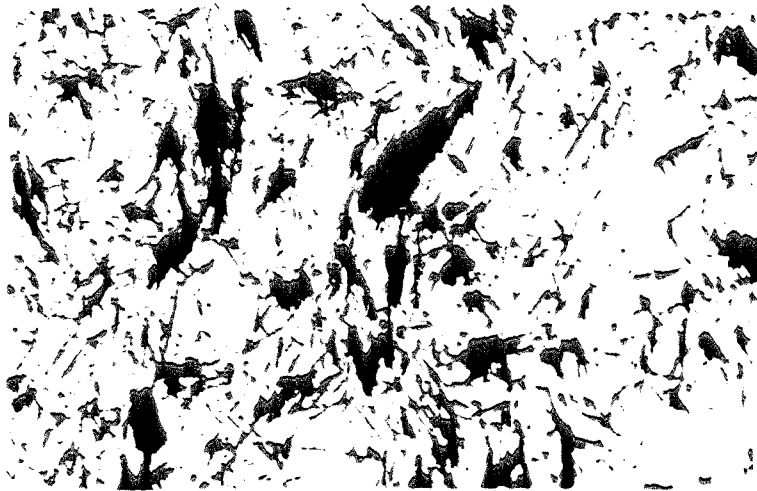
ŞEKİL.4.7. 0.5 MPa'da Üretilen Malzemenin (ZA12+ %30 Saffil) Mikroyapısı (x50).

Genel bir sonuç olarak, 0.5 MPa basınç uygulanması durumunda preformun doldurulamadığı ve fiber hacmi arttıkça da porozite miktarında yükselme olduğu ortaya çıkmaktadır.

4.1.3. 1 MPa Basınçta İnfiltrasyon

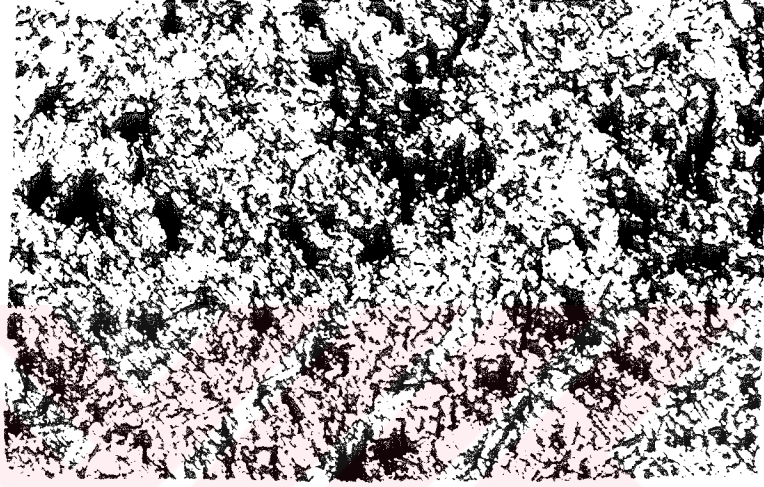
1 MPa basınç kullanarak, değişik fiber hacim oranlarına sahip preformlara ZA12 alaşımın infiltrasyonu sonucu, elde edilen yoğunluk ölçümleri Tablo 4.1've bu değerlerin fiber hacmi ile değişimi Şekil 4.1'de verilmektedir. 1 MPa'da elde edilen yoğunluk değerlerinin 0.5 MPa'da elde edilen değerlerden ne ölçüde fazla olduğu Şekil 4.1'de görülmektedir. Bu basınçta teorik yoğunluğa %80 kadar yaklaşılmıştır. Fakat, saffil yüzdesinin artmasıyla teorik yoğunluktaki azalmaya karşı, numunelerden elde edilen yoğunlukların azalması arasında bir paralellik bulunmamaktadır. Yani %10 saffil içeren malzemenin teorik yoğunluğu ile 1 MPa basınçta üretilmiş haldeki yoğunluğu arasındaki fark, %30 fiber hacmine sahip malzemenin teorik yoğunluğu ile 1 MPa basınçta üretilmiş haldeki yoğunluğu arasındaki değerden daha düşüktür.

Tablo 4.2'de 1 MPa basınçta %10 fiber hacmine sahip malzemenin %87 metal içerdiği, Şekil 4.2a'da da bu sonucun grafiğe yansıtılmış hali bulunmaktadır. Bu preformun doldurulma oranı 0.5 MPa basınçta oranla %30 daha geliştirilmiştir. Şekil 4.8'de bu malzemeler üzerinde yapılan metalografik inceleme sonucunda elde edilen yapı görülmektedir.

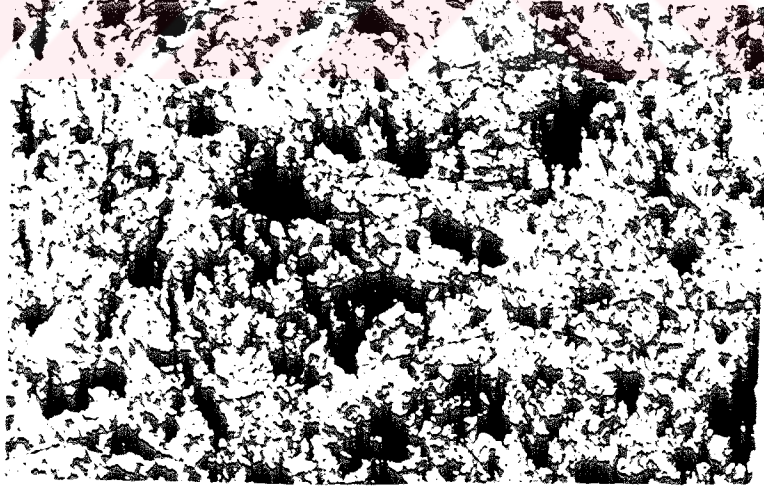


ŞEKİL.4.8. 1 MPa'da Üretilen Malzemenin (ZA12+ %10 Saffil) Mikroyapısı (x50).

% 15 ve 20 saffil içeren preformlar ile % 10 saffil içeren preformun 1 MPa'da infiltre edilme dereceleri, Tablo 4.2 ve Şekil 4.2'ye göre %85 ve %84 değerlerdedir. Şekil 4.9(a-b)'de, bu malzemelerden alınan fiberlerin yüzeye paralel olduğu durumdaki mikroyapı fotoğrafları bulunmaktadır. Mikroyapılar infiltrasyonun tamamlanmadığını göstermektedir.



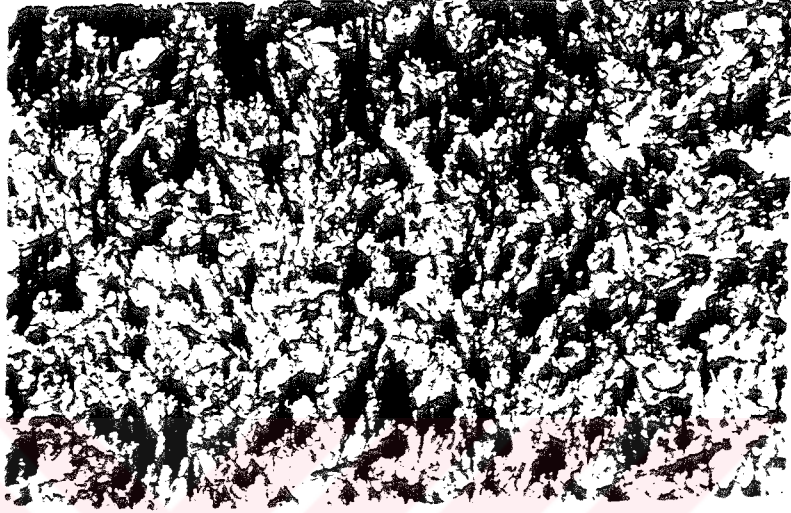
(a)



(b)

ŞEKİL.4.9. 1 MPa'da Üretilen Malzemenin (a- ZA12+ %15 Saffil) (b- ZA12+ %20 Saffil) Mikroyapısı (x50).

% 30 oranında fiber içeren preformların infiltrasyonu düşük basınçtan dolayı (1 MPa) tamamlanamamıştır. Mikroyapı, aynı hacim oranında 0.5 MPa basınçta üretilen malzemeye göre daha az porozite içermektedir (Şekil 4.10).

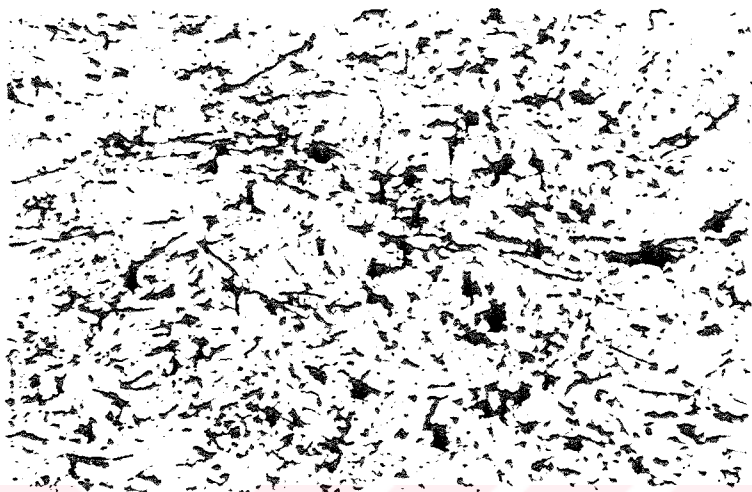


SEKİL. 4.10. 1 MPa'da Üretilen Malzemenin (ZA12+ %30 Saffil) Mikroyapısı (x50).

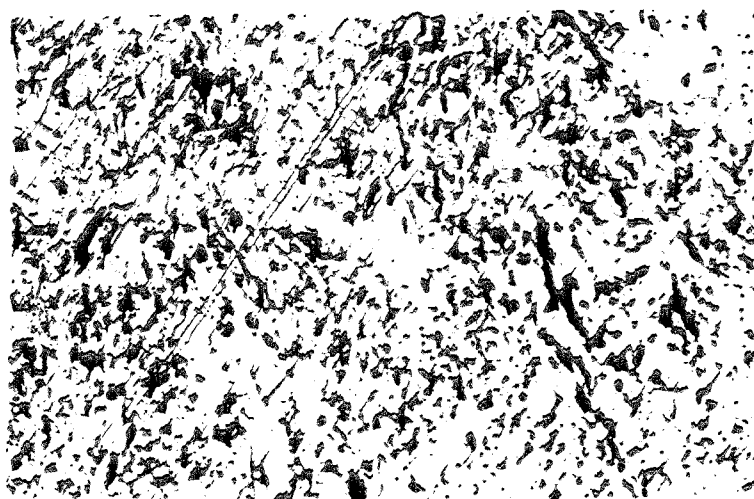
4.1.4. 2 MPa'da İnfiltrasyon

2 MPa basınç altında çalışıldığında elde edilen malzemelerden bulunan yoğunluk sonuçları Tablo 4.1'de görüldüğü gibi 1 MPa'a nazaran daha fazladır. Fakat yine de teorik yoğunluğa erişilememiştir.

% 10, 15, 20 ve 30 oranlarında fiber içeren preformların bu basınç altında dolmaya başladığı ve % 90'lar seviyesine ulaştığı anlaşılmaktadır (Tablo 4.2, Şekil 4.2). Kompozitlerden elde edilen mikroyapı filmlerinden porozitelerin azaldığı, fiber hacmi arttıkça da porozite miktarının arttığı sonucu görülmektedir (Şekil 4.11a-d).



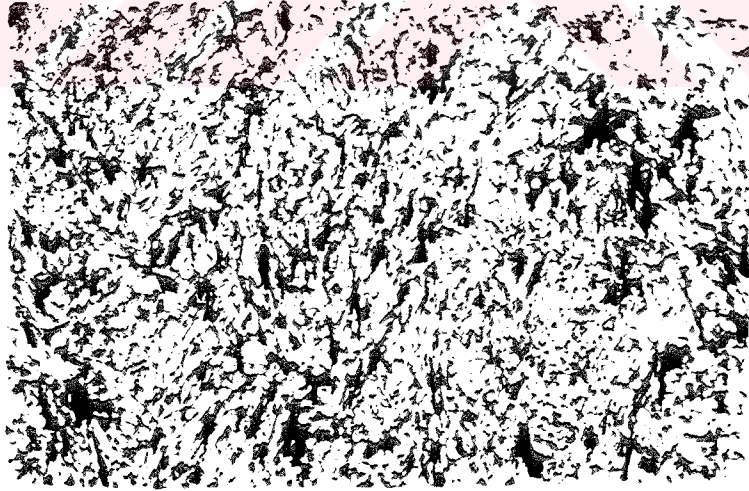
(a)



(b)



(c)



(d)

SEKIL. 4.11. 2 MPa'da Uretilen Malzemenin (a-ZA12+ %10, b-ZA12+ %15, c-ZA12+ 20, d-ZA12+ 30) Mikroyapısı ($\times 50$).

4.1.5. 3 MPa'Da İnfiltrasyon

Deneylerde kullanılan en yüksek basınç miktarı olan 3MPa'da, minimum poroziteye sahip malzemeler elde edilmiştir. Bu basınçta teorik yoğunluğa % 98 oranında yaklaşıldığı Tablo 4.1'den anlaşılmaktadır.

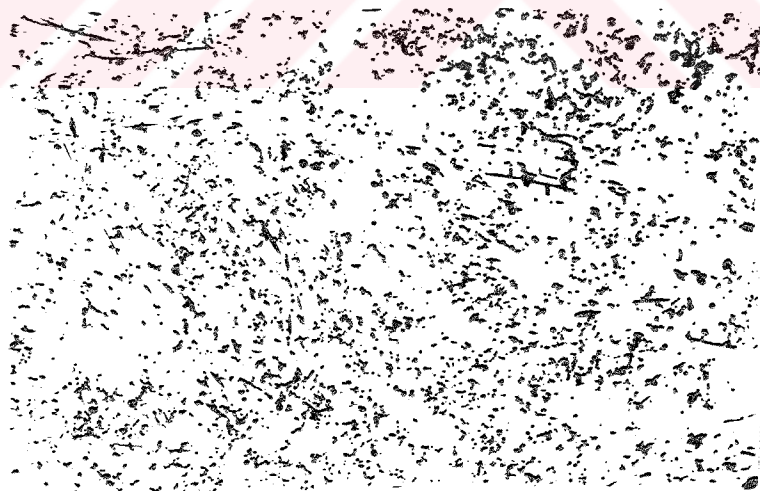
% 10 fiber hacmine sahip malzemenin başarılı bir şekilde doldurulduğu ve % 98 oranında metal infiltre edildiği Şekil 4.2 den anlaşılmaktadır. Bu kompozit malzemeler üzerinde yapılan metalografi çalışmalarından, mikroyapıda çok az porozitenin mevcut olduğu görülmektedir (Şekil 4.12a-d).

Şekil 4.12a ve b'de düzlemsel olarak rastgele dağılmış saffil fiberlerin, yüzeye dik olarak bulunduğu kesitte son derece homojen dağılmış fiberler ve çok az porozite bulunmaktadır. Şekil 4.12c ve d'de aynı kompozit malzemenin daha yüksek büyütmede çekilmiş mikroyapısında matrikse sıkıca bağlanmış , homojen olarak dağılmış ve ortalama 3 μ m çap'a sahip fiberler görülmektedir.

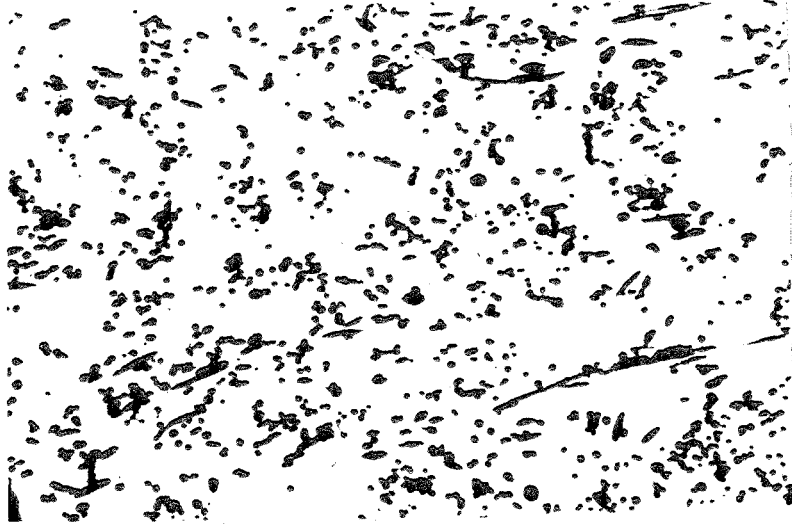
Şekil 4.13a-d'de fiberlerin yüzeye paralel olduğu değişik büyütmelerdeki mikroyapıları içermektedir. Fiberler geliş güzel düzlemsel olarak dağılmışlar ve matrikse sıkıca bağlanmışlardır. Fiberler ortalama 500 μ m uzunluğa sahiptirler.



(a)



(b)

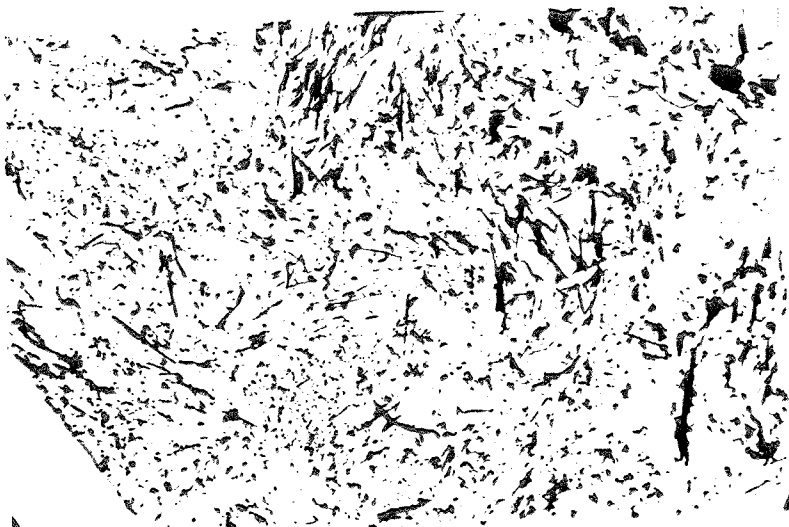


(c)

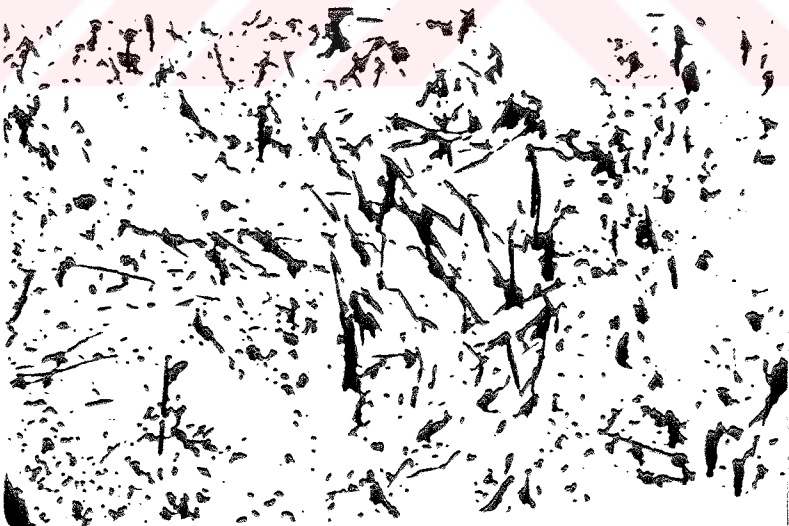


(d)

SEKIL.4.12a-d. (ZA12 + %10 Saffil) Kompozit Malzemenin
Fiberlerin Yüzeye Dik Olması Durumundaki
(a) x50, (b) x100, (c) x200, (d) x500
büyütmelerdeki mikroyapısı (P = 3MPa).



(a)



(b)



(c)

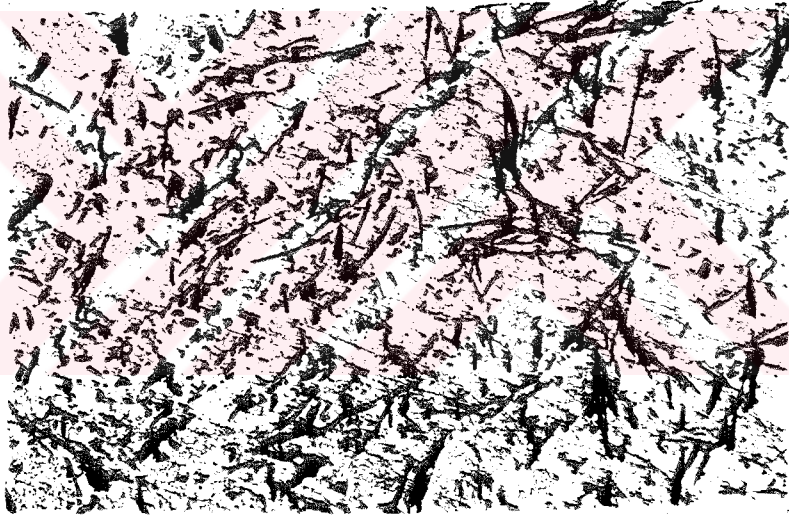


(d)

SEKIL.4.13a-d. (ZA12 + %10 Saffil) Kompozit
Malzemenin Fiberlerin Yüzeye Paralel
Olması Durumundaki (a) x50, (b) x100,
(c) x200, (d) x500 büyütmelelerdeki
mikroyapısı (P = 3MPa).

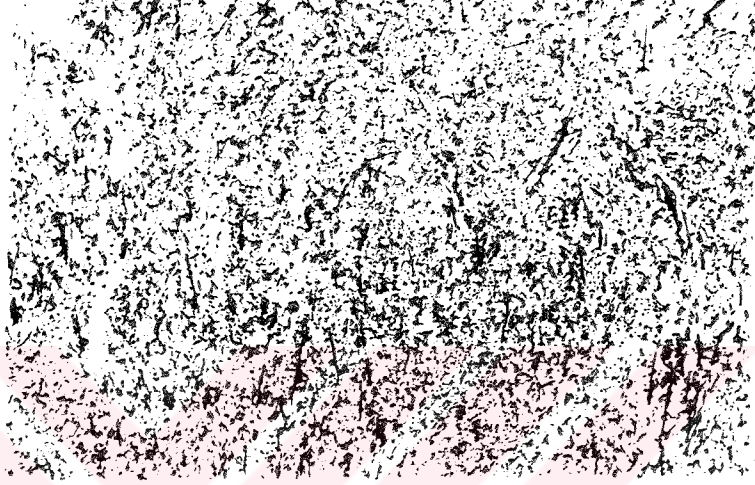
%15 fiber hacmi ile çalışıldığında infiltre edilen metal miktarı Şekil 4.2'de gösterilmektedir. Bu preform %96 oranında infiltre edilmiştir. Şekil 4.14 ve 4.15 a-d bu malzemedan alınan mikroyapıları göstermektedir.

Şekil 4.14'de fiberlerin düzlemsel olarak geliştiği güzel dağıldığı ve bir miktar porozitenin varlığını içeren mikroyapı görülmektedir.



SEKIL.4.14. (ZA12 + %15 Saffil) Kompozit
Malzemesinin Mikroyapısı (x100)

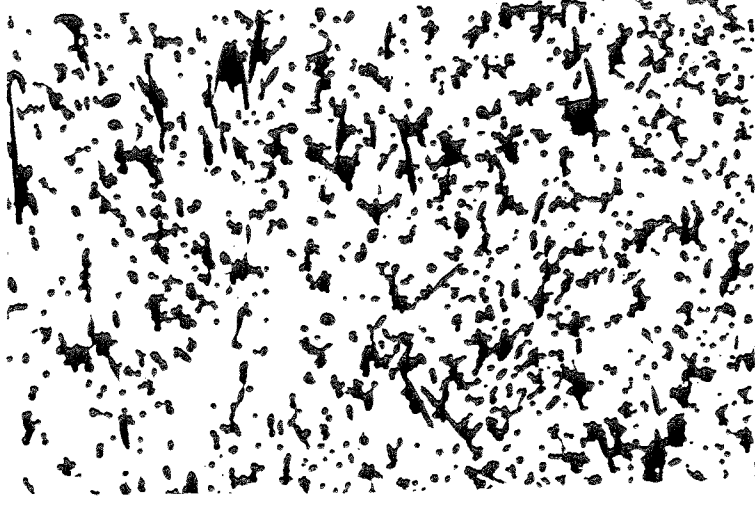
Sekil 4.15a, b, c'de fiberlerin dik yönde olduğu kesitteki fiberlerin homojen olarak dağılım gösterdiği düşük büyütmeye sahip yapı bulunmaktadır. Yapıda çok az miktarda uzun fiberler görülmektedir. Sekil 4.15d'de ise fiberlerin birbirlerine bağlandığını ve çok az miktarda porozitenin olduğunu göstermektedir.



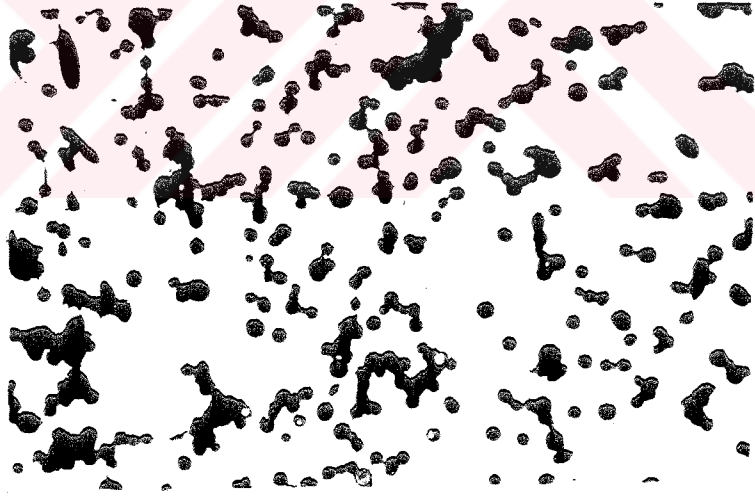
(a)



(b)



(c)



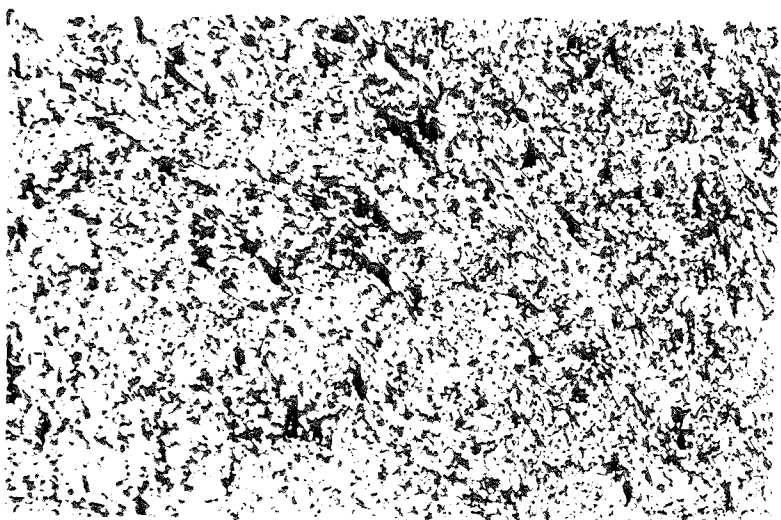
(d)

SEKİL. 4.15a-d. (ZA12 + %15 Saffil) Kompozit
Malzemenin Fiberlerin Yüzeye Dik
Olması Durumundaki (a) x50, (b) x100,
(c) x200, (d) x500 büyütmelelerdeki
mikroyapısı (P = 3MPa).

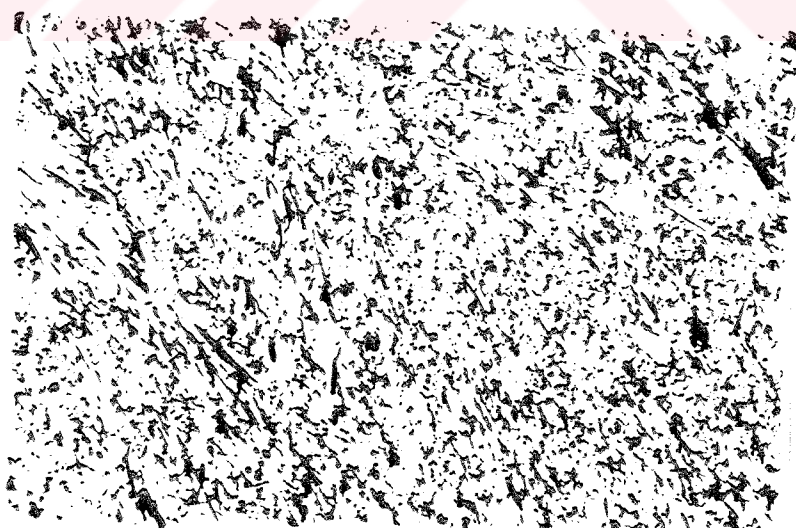
Fiber hacim oranı % 20 olan preform ile çalışıldığında üretilen malzemenin yoğunluğu 5.06 gr/cm^3 olmaktadır (Tablo 4.1). İnfiltrate edilen metal miktarı ise 2 MPa'da ulaşılan değerin % 5 fazlasına çıkarak % 94 olmuştur (Tablo 4.2).

% 20 fiber hacmine sahip malzemeden fiberlerin dik ve paralel olduğu yönde alınan mikroyapı fotoğrafları Şekil 4.15a-d'de ve Şekil 4.17a-d'de verilmektedir.

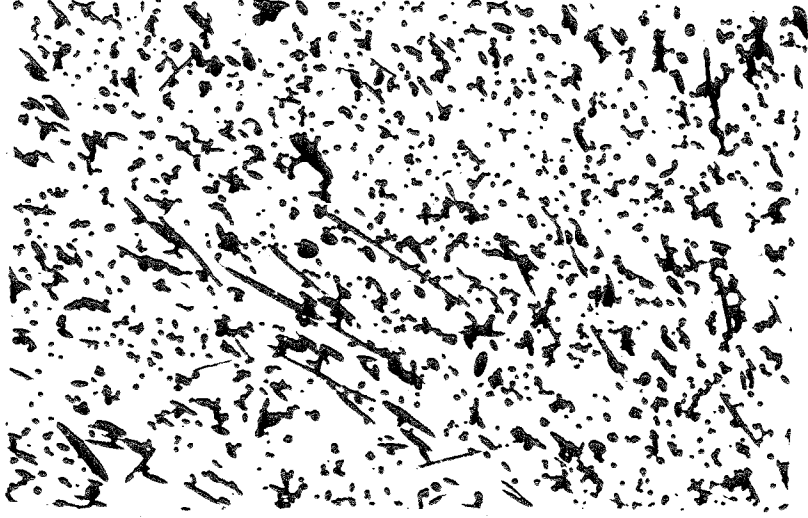
Şekil 4.16a ve b'de fiberlerin yüzeye dik olması durumundaki mikroyapı görülmektedir. Fiberler homojen olarak dağılmışlar ve çok az miktarda porozite vardır. Şekil 4.16c'deki mikroyapı, matriks içinde homojen dağılmış fiberler ve fiberlerin gelişi güzel dağılmasından dolayı paralel yönde bulunan fiberleri içermektedir. Şekil 4.16d, fiberlerin matriks içinde homojen olarak guruplaşması ve yüksek büyütmeden dolayı yapıdaki tane sınırları görülmektedir.



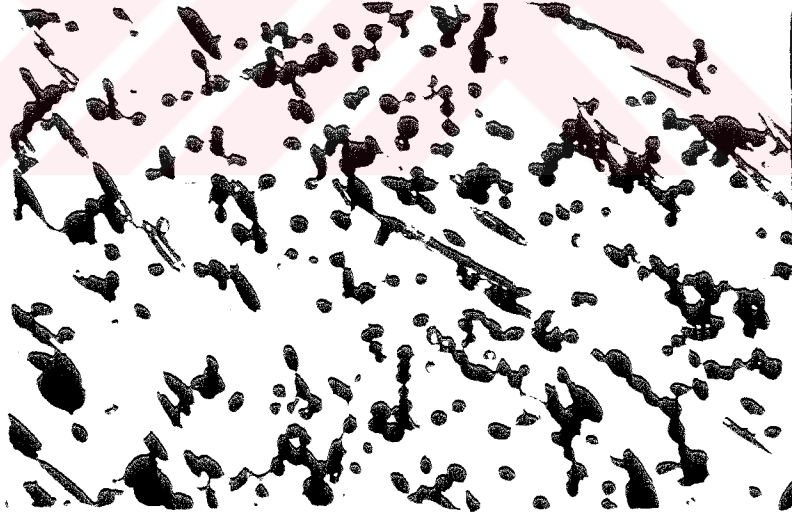
(a)



(b)



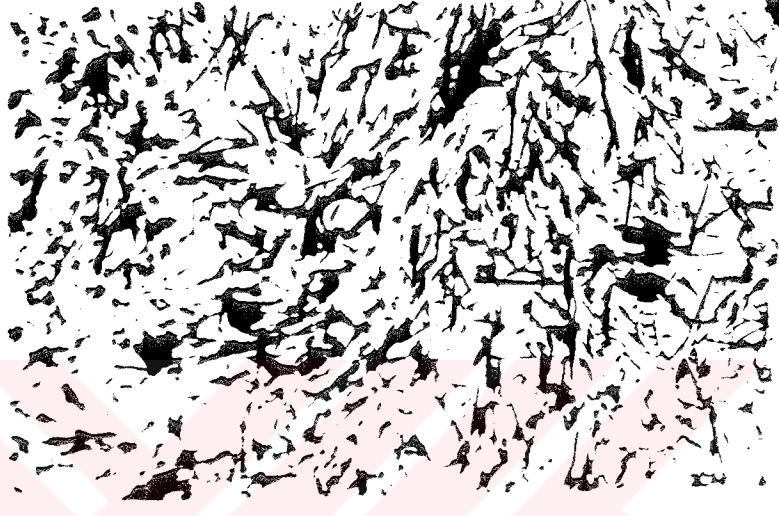
(c)



(d)

SEKIL.4.16a-d. (ZA12 + %20 Saffil) Kompozit
Malzemenin Fiberlerin Yüzeye Dik
Olması Durumundaki (a) x50, (b) x100,
(c) x200, (d) x500 büyütmelerdeki
mikroyapıları (P = 3MPa).

Fiberlerin yüzeye paralel olması durumundaki mikroyapı fotoğrafları Şekil 4.17a ve b'de verilmektedir. Şekil 4.17a'da düşük büyütmede, fiberlerin homojen olarak dağıldığını ve çok az miktarda porozite bulunduğunu gösteren yapı vardır. Şekil 4.17b'de ise yüzeye paralel ve homojen dağılmış ortalama 500 μm boyunda fiberler olduğunu göstermektedir.



(a)



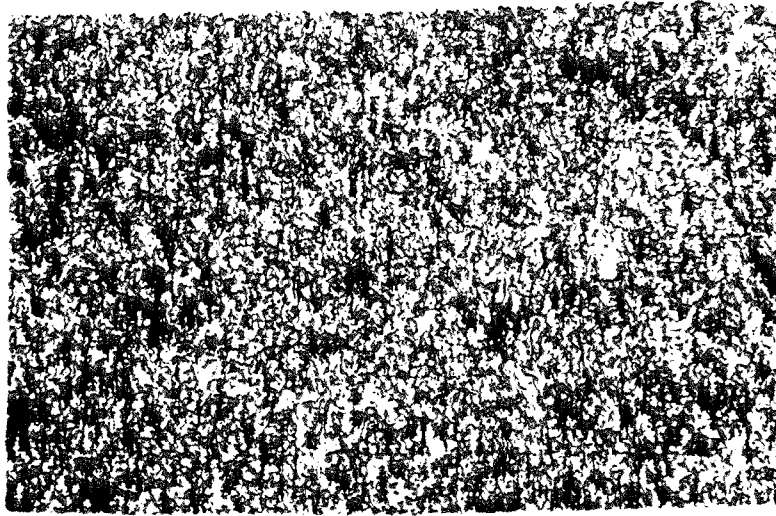
(b)

ŞEKİL. 4.17a-b. (ZA12 + %20 Saffil) Kompozit
Malzemenin Fiberlerin Yüzeye Paralel
Olması Durumundaki (a)x100, (b)x500
büyütmelerdeki mikroyapıları (P=3MPa).

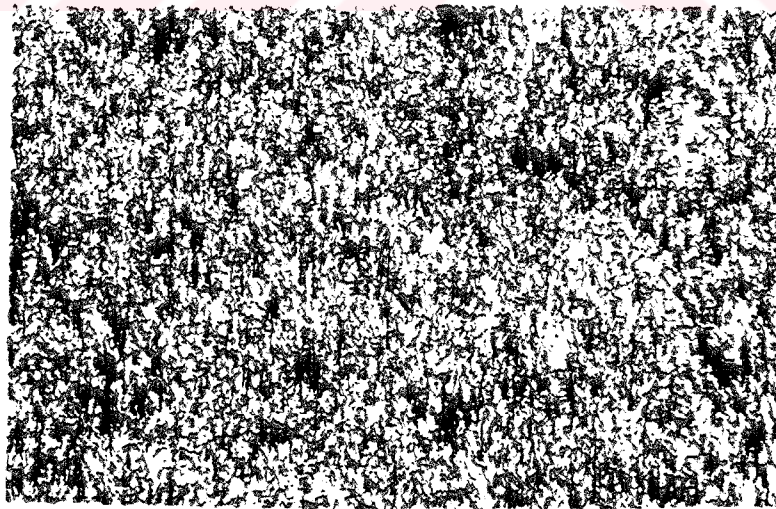
% 30 fiber hacmine sahip preformun 3 MPa basınçta infiltre edilmesi sonucunda, Tablo 4.1'de görüldüğü gibi, 4.86 gr/cm^3 yoğunluğuna sahip kompozit malzemeler üretilmiştir. Teorik yoğunluğa % 67 oranında yaklaşılmıştır. Infiltre edilen metal miktarı % 10 fiber hacminde % 97 iken, % 20 ve 30 fiber hacmine sahip preformlarda % 94 olarak bulunmuştur (Tablo 4.2). Fiberlerin yüzeye dik ve paralel yönlerde olduğu numunelerde yapılan mikroyapı çalışmaları, Şekil 4.18a-d ve Şekil 4.19a-d'de gösterilmektedir.

Şekil 4.18a ve b % 30 fiber hacmine sahip kompozit malzemenin düşük büyütmedeki yapısını göstermektedir. Fiberlerin homojen olarak dağıldığı ve çok az porozitenin mevcudiyeti görülmektedir. Şekil 4.18c ve d ise daha yüksek büyütmelerdeki yapıları içermektedir. Bu yapı-larda, fiberlerin gelişi güzel dağılmış olduğu ve çok az miktarda uzun fiberlerin olduğu bulunmaktadır.

Fiberlerin yüzeye paralel olarak bulunduğu numune-lerden düşük büyütmedeki çekilen Şekil 4.19a ve b de, fiberlerin homojen ve gelişi güzel dağıldığı ve çok az porozitenin olduğu görülmektedir. Daha yüksek büyüt-melerde çekilen fotoğraflarda (Şekil 4.19c-d), fiberlerin gelişi güzel dağıldığı ve matriks tarafından iyi bir şekilde bağlandığı bulunmaktadır. Preformlarda fiber-lerin gelişi güzel dağılmasından dolayı, numunelere bu yönden bakıldığında, bütün fiberlerin düzlemsel olarak bulunması gerekmektedir. Fakat bu mikroyapılarda dik kesitte görülmesi gereken noktasal fiberler bulunmaktadır. Bu, numunenin metalografik inceleme için hazırlanmasından ileri gelmektedir.



(a)



(b)

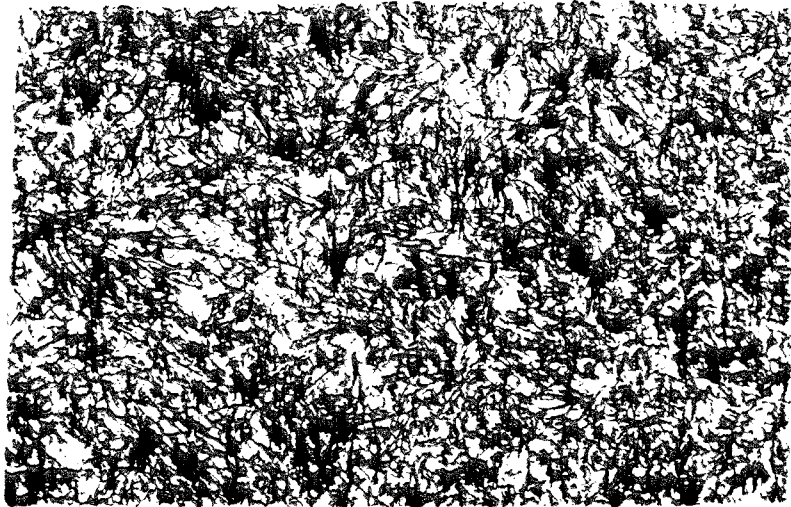


(c)

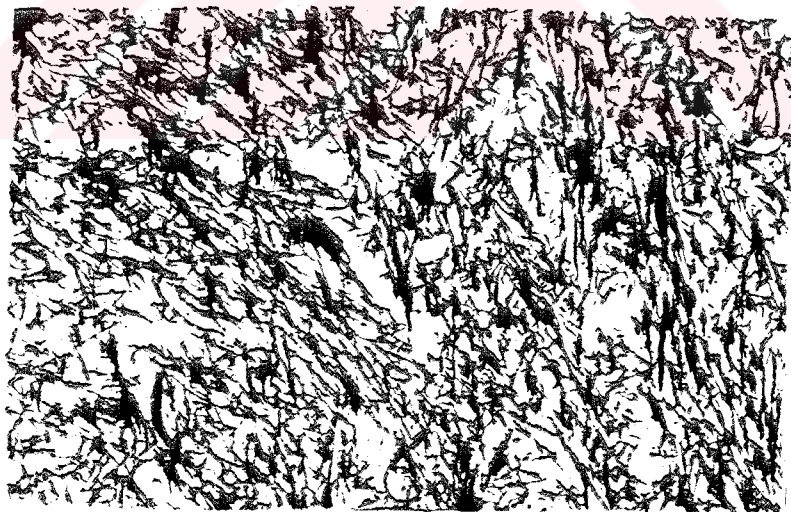


(d)

SEKIL. 4.18a-d. (ZA12 + %30 Saffil) Kompozit
Malzemenin Fiberlerin Yüzeye Dik
Olması Durumundaki (a) x50, (b) x100,
(c) x200, (d) x500 büyütmelerdeki
mikroyapıları (P = 3MPa).



(a)



(b)



(c)



(d)

SEKIL.4.19a-d. (ZA12 + %30 Saffil) Kompozit Malzemenin
Fiberlerin Yüzeye Paralel Durumdaki
(a) x50, (b) x100, (c) x200, (d) x500
büyütmelerdeki mikroyapıları (P=3MPa)

Genel bir sonuç olarak, Şekil 4.2'den değişik oranlarda fiber içeren preformların dolmaya başladığı basınçlar elde edilebilmektedir. Preformlara infiltrate edilen metal miktarı %80 olunca, infiltrasyonun tamamlanması için daha fazla basınç gerektiği Şekil 4.2'den görülmektedir. Aşağıdaki hesaplamalar da bu oran üzerinde yapılmıştır.

% 10 fiber hacmine sahip preformun kritik infiltrate basıncı, Şekil 4.2'ye göre 1 MPa'dır. Fiber hacim oranı % 5 artırılıp % 15 olduğunda bu miktar % 20 artarak 1.3 MPa olmaktadır. % 20 fiber hacmine sahip preformun kritik infiltrate basıncı 1.7 MPa'dır. % 10'luk preforma oranla %70, % 15'lik preforma oranla % 30 daha fazla bir değere denk düşmektedir. % 30 fiber hacmindeki preformda ise kritik infiltrate basıncı 2.5 MPa'dır. % 10 fiber hacmindeki preforma oranla % 150 değerinde bir artma olmaktadır. % 15 ve % 20'lik preformlardan ise sırasıyla, % 100 ve % 50 oranında fark bulunmaktadır.

Görüldüğü gibi, preformlardaki saffil fiber hacim oranı % 5-10 artırıldığında kritik infiltrate basınçları % 20-30 seviyelerinde artmaktadır.

4.2. Mekanik Deneyler

Değişik basınçlar kullanarak, değişik fiber hacim oranlarında kompozit malzemeler üretmek için yapılan çalışmalar sonucunda, sadece 3 MPa. basınç kullanıldığı zaman minimum seviyede porozite içeren malzemeler elde edilmiştir. Dolayısıyla mekanik deneyler, bu malzemelerden elde edilen numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir.

4.2.1. Sertlik Deneyi Sonuçları

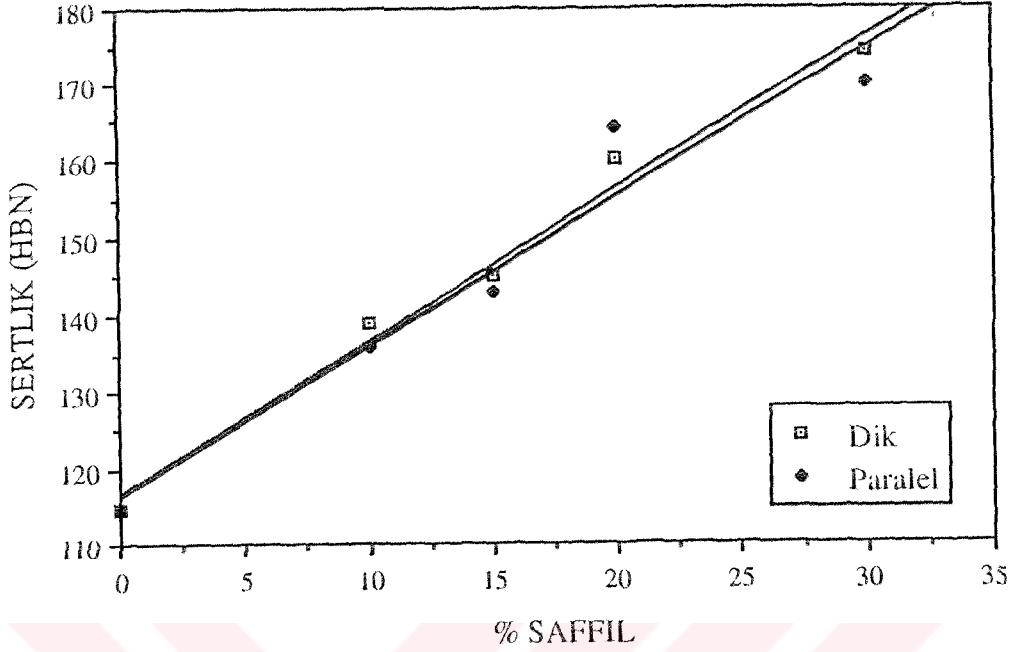
Numuneler üzerinde fiberlerin yüzeye paralel ve dik olması durumunda alınan Brinel sertlik değerleri Tablo 4.3 'de verilmektedir.

TABLO.4.3. 3MPa Basıncıta Üretilen Malzemelerden Alınan Sertlik Değerleri.

SERTLİK (HB)	SAFFİL (%)				
	0	10	15	20	30
Paralel	115	136	143	164	170
Dik	115	139	145	160	174

Şekil 4.20'de, 3 MPa. basınç altında üretilen %10, 15, 20, 30 fiber hacim oranına sahip ZA12 esaslı kompozit malzemelerin, saffil yüzdesi ile Brinel sertlik değerleri arasındaki ilişki verilmektedir. Numuneler üzerinde, fiberlerin yüzeye paralel ve dik olduğu durumlarda sertlik deneyleri yapılmıştır. Şekil 4.20'de görüldüğü gibi fiberlerin yüzeye dik ve paralel olması durumlarındaki sertlik değerleri birbirine yakındır. ZA12 alaşımına saffil ilavesi alaşımın sertliğini doğrusal olarak artırmakta ve

her % 10'luk saffil artışı sertliği ortalama 20 Brinel yükseltmektedir.



SEKIL. 4.20. Artan Saffil %'si ile Malzemelerin Brinel Sertliği Arasındaki Değişim (P = 3 MPa)

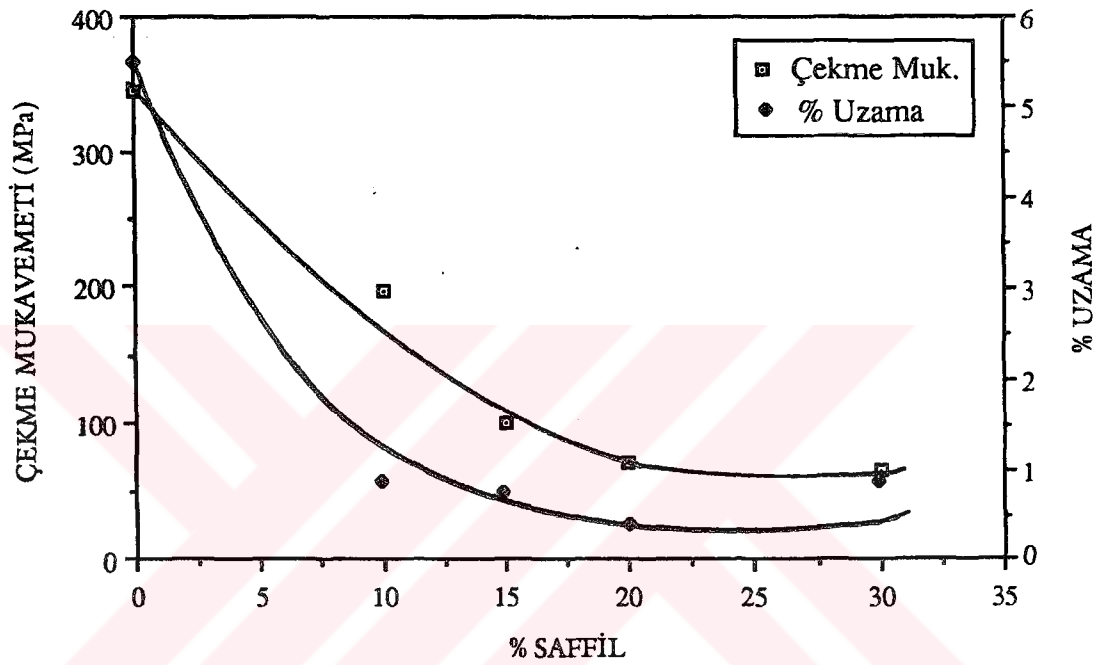
4.2.2. Çekme Deneyi Sonuçları

Tablo 4.4'de 3MPa basınçta üretilen malzemeler üzerinde fiberlerin yüzeye dik olması durumunda yapılan çekme deneyi sonuçları verilmektedir.

TABLO. 4.4. Artan Saffil %'si ile Malzemelerin Çekme Gerilmesi ve % Uzaması Değerleri

	SAFFİL (%)				
	0	10	15	20	30
Çekme Ger. (MPa)	345	197	100	71	66
% Uzama	5.5	0.88	0.76	0.4	0.88

Sekil 4.21'de ise, artan saffil miktarı ile gevrek gerilmesive %uzama arasındaki ilişki verilmektedir. Metal içindeli fiber oranı arttıkça kompozit malzemenin çekme gerilmesi değerinin artması beklenmektedir. Fakat Sekil 4.21'de görülen eğri fiberlerle takviye edilmiş metallerde görülen genel görünüşe uymamaktadır.



SEKIL.4.21. Artan Saffil %'si İle ZA12 Alaşımının Çekme Gerilmesi Ve % Uzaması Arasındaki Değişim. (P = 3 MPa)

Çekme deneyleri sırasında, numuneler boyun vermeden gevrek bir davranış göstererek, ölçü uzunluğu kısmından kopma yerine baş kısmından kopmuştur. Dolayısıyla elde edilen değerlerin gerçek değerleri yansıtmadığı düşünülmektedir. Ayrıca bu duruma elde edilen numunelerin az miktarda da olsa içerdikleri porozitelerinde etkili olmas olabileceği sanılmaktadır. Bunu kanıtlayan bir deneysel veri de, deneylerden elde edilen % uzama değerleridir. Çünkü matrise sert fiberlerin ilavesi matrisi gevrek hale

getirdiğinden, kompozit malzemenin % uzama değerleri azalmaktadır. Bu deneylerde bulunan % uzama sonuçları, porozitelerin varlığından dolayı olması gereken değerlerden daha düşük çıkmaktadır.

4.2.3. Aşınma Deneyi Sonuçları

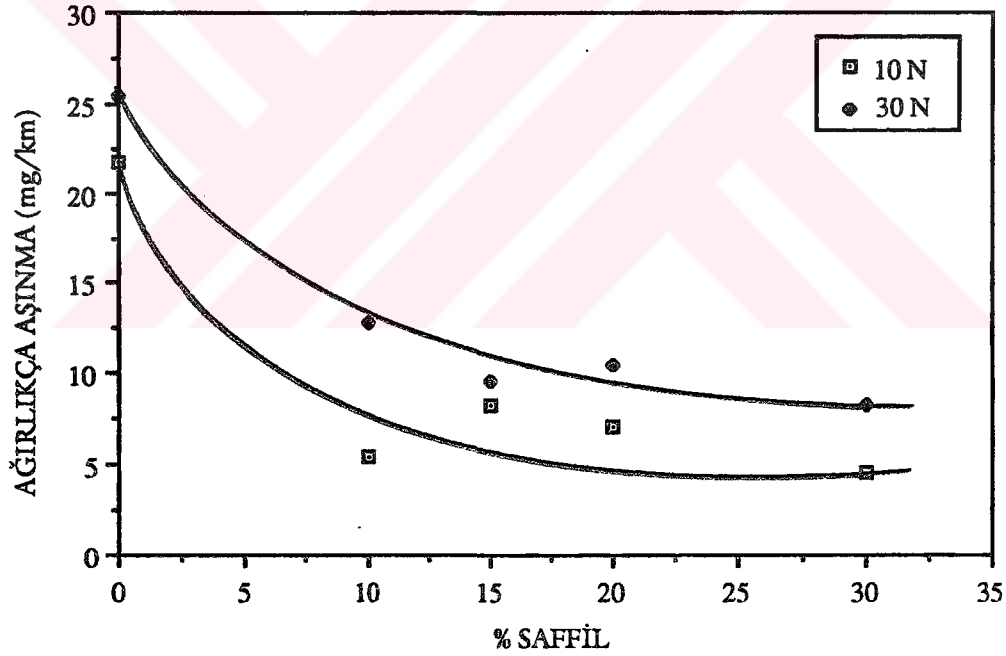
Malzemeler üzerinde, 10 ve 30N yükler kullanılarak yapılan aşınma deneyi sonuçları Tablo 4.5'de verilmiştir. Aşınma deneyi esnasında malzemelerin aşındırıcı üzerinde 240m yol alması sağlanmıştır. Bulunan aşınma değerleri 1000 m (1 km)lik birim uzunluğa düşen miktarlara dönüştürülmüş ve açıklamalar bu sonuçlar üzerinde yapılmıştır.

TABLO.4.5. Aşınma Deneyleri Sonucunda Elde Edilen Değerler:

% SAFFİL	AĞIRLIKÇA AŞINMA (mgr)			
	240 m		1000 m	
	10N	30N	10N	30N
0	5.2	6.1	21.67	25.42
10	1.3	3.1	5.42	12.92
15	2.00	2.33	8.33	9.58
20	1.70	2.50	7.08	10.42
30	1.10	2.00	4.58	8.33

Şekil 4.22'de , numunelerde artan saffil miktarı ile ağırlıkça aşınma değerleri arasındaki değişim verilmiştir. Şekil 4.22'ye göre saffil miktarının,

artmasıyla ağırlık kaybı azalmaktadır. Saf malzemeye safil fiber ilavesi elde edilen numuneler üzerinde 10 N yük uygulanarak yapılan aşınma deneylerinde, ağırlık kaybı değerlerinin saf malzemeye oranla % 60-70 oranında düşürüldüğü bulunmuştur. Uygulanan yük 30 N'a çıkarıldığında bu oran yine % 60'lar seviyesinde olmaktadır. 10 N'da yapılan deneylerde, fiber hacim oranı % 15'den % 20'ye yükselttiğinde bulunan ağırlık kaybı değeri, % 15 fiber hacmine sahip malzemeye oranla % 15 daha az, fiber hacim oranı % 30 olduğunda ise bu değer % 45 seviyelerine ulaşmaktadır. % 20 fiber hacim oranından % 30'lara çıkıldığında, %20 fiber, % 20 fiber hacmine sahip malzemeye oranla ağırlık kaybı değerlerinin azalması % 35 oranında geliştirilmektedir. Uygulanan yük 30 N'a çıkarıldığında ağırlık kaybı azalmasındaki değerler 10 N'da elde edilenlerle yaklaşık aynı değerlerdedir.

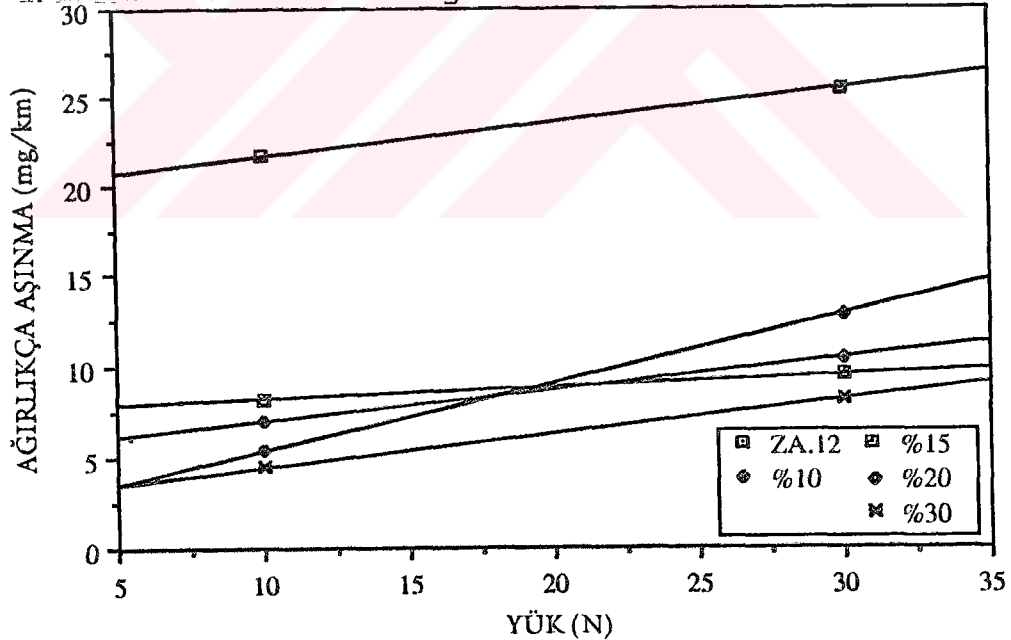


ŞEKİL.4.22. Artan Saffil Miktarı İle ZA12 Alaşımının Ağırlıkça Aşınma Değerleri (P = 3 MPa)

Şekil 4.23 her bir saffil hacim oranı için artan yüke bağlı olarak, aşınma miktarındaki değişimlerdeki eğilimi göstermektedir. Şekil 4.22'ye göre uygulanan yük 10N'dan

30N'a çıkarıldığında ağırlık kaybı değerlerinin arttığı görülmektedir. Fakat Şekil 4.23'de ise değişik bir sonuç ortaya çıkmaktadır. Uygulanan yükün 10 N'dan 30 N'a yükseltilmesi durumunda saf ZA12 ile %10 saffil takviyeli ZA12'nin ağırlıkça aşınma değerlerinin artışları paralellik arz etmektedir. Daha yüksek fiber hacim oranlarındaki kompozitlerde, yük ile aşınma miktarlarındaki artış, saf ZA12 ve %10 fiber hacim oranlarındaki kompozit malzemeye göre daha azalan bir eğimdedir. Bu duruma, kompozit malzemeye uygulanan yük 10N'dan 30N'a artırıldığında, kuvveti taşıyan mukavemetin %10'da yüksek hacim oranlarında bulunan saffiller tarafından karşılandığı düşünülmektedir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar ile kesin bir sonuca varmak mümkün değilse de, elde edilen değerlerin doğrultusunda, aşınmanın daha çok matriks veya fiberler tarafından etkilendiği bir kritik saffil hacim oranı bulunduğu, ve bu kritik hacim oranının %10-15 fiber hacim oranları arasında olduğu iddia edilebilir.



ŞEKİL.4.23. Saf Ve Değişik Oranlarda Saffil Fiber İçeren ZA12 Alaşımının Uygulanan Yük İle Ağırlıkça Aşınmaları Arasındaki İlişki (P = 3 MPa)

BÖLÜM 5. GENEL SONUÇLAR

Çinko-alüminyum esalı ZA12 alaşıma, $\delta\text{-Al}_2\text{O}_3$ yapı-
sındaki saffil fiberlerin takviyesi ile üretilen kompozit
malzemeler üzerinde yapılan deneysel çalışmaların sonuç-
ları, iki grupta toplanabilir. Bunlardan birincisi,
kompozit malzemenin infiltrasyon tekniğı ile üretilme
şartları, ikincisi ise, üretilen malzemelerden elde edi-
len mekanik özelliklerdir.

Infiltrasyon tekniğini kullanarak kompozit malzeme
üretilmesi sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1- Yapılan sayısız ön denemeler sonucu, infiltrasyon
parametrelerinden kalıp (preform) sıcaklığının 350°C 'de
ve sıvı metal sıcaklığının 650°C olması, ZA12 alaışının
saffil preformlara infiltrasyonu için optimum üretim
şartlarını oluşturduğu bulunmuş ve bu şartlar altında
ZA12 alaışımı 0.1-3 MPa arasında değişen basınçlar ile %
10, 15, 20, 30 saffil fiber hacim oranlarındaki
preformlara infiltre edilmiştir.

2- Elde edilen kompozitler üzerinde yapılan yoğunluk
tayinleri sonucunda her bir saffil oranı için basınç-
infiltre edilen metal miktarı tespit edilmiş ve ;

i- Preformlardaki artan saffil hacim oranı ile bu
preformlara infiltre edilebilen metal yüzdesi azalmıştır.

ii- Buna karşın, sıvı metale uygulanan basıncın
artması ile preformlara infiltre edilebilen metal yüzdesi-
nin artığı görülmüştür.

3- Her bir preform için, sıvı metalin preformlara infiltrasyonun gerçekleştiği bir kritik basınç aralığının mevcut olduğu ve infiltrasyonun önemli ölçüde bu basınç aralığında yaklaşık % 80-85 olarak gerçekleştiği bulunmuştur.

4- Preformlara infiltre edilen maksimum metal (yani minimum porozite) deneylerde kullanılan en yüksek basınç olan 3 MPa'da elde edilmiştir. Bu şartlarda elde edilen kompozitlere infiltre edilen metal yüzdesi değerleri % 10, 15, 20 ve 30 fiber hacim oranlarındaki preformlar için sırasıyla, % 97.92, 96.64, 94.92, 94.26 bulunmuştur.

5- Yapılan metalografik çalışmalar sonucu, saffil fiberlerin üretilen kompozitler içinde düzlemsel olarak ve homojen bir şekilde geliştiği güzel (planar random) dağıldığı ve, genel olarak matriks malzeme ile iyi bir şekilde bağlandığı görülmüştür.

Üretilen kompozitler üzerinde yapılan mekanik deneyler sonucunda elde edilen genel bilgiler aşağıdadır.

6- Fiberlere dik ve paralel kesitlerde kompozit malzemelerin sertliklerin aynı olduğu ve bu kesitlerde artan saffil hacim oranı ile sertliklerin doğrusal olarak arttığı bulunmuştur. Buna göre, fiber hacim oranındaki her % 5'lik artış sonucu, kompozit malzemelerin sertliği ortalama 20 BHN artmaktadır.

7- Kompozit malzemelerin çekme mukavemeti ve % uzama değerleri, takviyesiz ZA12 alaşımının bu değerlerine oranla çok daha düşük bulunmuştur. Bu değerlerdeki azalışlar, artan saffil hacim oranı ile birlikte daha da belirginleşmiştir.

8- 10 N ve 30 N yükler altında yapılan sürtünme aşınma deneyleri sonucu, genel olarak fiber takviyesi ile ZA12 alaşımının aşınma direncinin önemli bir ölçüde arttığı bulunmuştur. ZA12 alaşımına % 10 hacim oranında saffil takviyesi ile, aşınma miktarında yaklaşık % 70 gibi yüksek bir azalışa karşın, daha yüksek fiber hacim oranlarının aşınmada daha fazla bir azalma oluşturmadığı görülmüştür. Genel olarak, yükün artırılması ile ZA12 ve kompozit malzemelerin aşınma miktarlarında artış olmaktadır. Fakat, aşınma miktarlarındaki bu artış, ZA12 alaşımı ve % 10 saffil içeren kompozit malzemede birbirine benzer bir şekilde, diğer yüksek fiber hacim oranlarına sahip kompozitlere oranla daha fazla olmuştur. Yani, % 10 saffil içeren kompozit, diğer kompozitlerden farklı bir şekilde yüke bağlı olarak ZA12 alaşımına benzer aşınma davranışı göstermiştir.



KAYNAKLAR

- [1] ROBERT, M. JONES, "Mechanichs of Composite Material", 22, March., (1976)
- [2] MINORUTAYA, RICHARD J. ARSENAULT, "Thermomechanical Behaviour of MMCs", (1989)
- [3] DURMAN M., "Kompozit Malzemeler Ders Notları", İ.T.U. Sakarya ,Müh. Fak. Metalurji Bölümü (1991)
- [4] ASHOK K.DHINGRA, "Metals Replacement By Composites", Jour. of Metals, 17, March, (1986)
- [5] L.R.DHARANI AND H.TANG, "Faulire Analysis of Unidirectional Ceramic Matrix Composites UnderFlexure", Jour. of Comp. Mater. Vol-23, April, (1989), 308-315
- [6] T.KISHI, M. ENOKI AND H.TSUDA, "Interface And Strength In Ceramic Matrix Composites" Mater. Sci. And \Eng., A143, (1991), 103-110
- [7] Dr.E.A.FEEST, "Composite Materials - A Bright Future In Aerospace Application" Metallurgia, (1986), 366-368
- [8] T.W.CIYNE AND J.F.MASON, "The Squeeze Infiltration Process For Fabrication of MMCs" , Metall. Trans. Vol-18A, August, (1987), 1519-1530
- [9] W.S.MILLER AND F.J.HUMPHRYES, "Strengthening Mechanism In Particulate MMCs", Scripta Metllurgica et Materialia, Vol.25, (1991) 33-38
- [10] R.J.ARSENAUULT, L.WANG AND C.R.FENG, "Strengthening of Composites Due to Microstrucrtural Changes In The Matrix", Acta Metall. Mater. Vol.39, No.1, (1991), 47-57
- [11] T.L.DRAGONE, J.J.SCHLAUTMANN AND W.D.NIX, "Processing And Creep Characterization of A Model MMc:Lead Reinforced With Nickel Fibers" Metal. Trans.Vol.22A, May, (1991),1029-1036

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

- [12] C. M. WARDCLOSE, P. G. DARTRIDGE, "A Fibre Coating Process For Advanced MMCs" Jour. of Mater. Sci. Vol. 25, No. 10, October, (1990), 4315-4323
- [13] O. P. MODI, A. H. YEGNESWARAN, R. ASTANA, D. K. ROHATGI, "Thermomechanical Processing of Aluminum-Based Particulate Composites" Jour. of Mater. Sci. Vol. 23, (1988), 83-92
- [14] S. G. FISHMAN AND A. K. DHINGA, "Cast Reinforced Metal Composites" Proceeding of The International Symposium On Advances In Cast Reinforced Metal Composites, September, (1988), 24-30
- [15] I. A. IBRAHIM, F. A. MOHAMMED, E. J. LAVERNIA, "Particulate Reinforced MMCs - A Review" Jour. of Mater. Sci. Vol. 26, (1991), 1137-1156
- [16] L. J. MASUR, A. MORTENSEN, J. A. CORNIE AND M. C. FLEMINGS "Infiltration of Fibrous Preforms By Pure Metal: Part II Experiment" Metall. Trans. Vol. 20A, November, (1989), 2549-2557
- [17] A. MORTENSEN, L. J. MASUR, J. A. CORNIE AND M. C. FLEMINGS, "Infiltration of Fibrous Preforms By Pure Metal: Part I Theory" Metall. Trans. Vol. 20A, November, (1989) 2535-2547
- [18] T. W. CLYNE, M. G. BADER, G. R. CAPPLEMAN, P. A. HUBERT, "The Use of A δ -Alumina Fibre For MMCs" Jour. of. Mater. Sci Vol. 20, (1985), 85-96
- [19] I. C. I. , "Saffil Alumina Fibre-Cost Effective Reinforcement For MMCs"
- [20] J. DINWOODIE, "Automotive Applications For MMCs Based On Short Staple Alumina Fibres" SAE Technical Paper Series, February, (1987), 23-27
- [21] J. DINWOODIE, E. MOORE, C. A. J. LANGMAN, W. R. SYMES, "The Properties And Applications of Short Staple Alumina Fibre Reinforced Aluminum Alloys" Paper Presented At The 5th International Conference On Composite Materials, San Diego, California, July 30th, 31st, August, 1st, (1985)
- [22] M. LAMBERIGTS, G. WALMAG AND D. COUTSOURADIS, "Solidification Behaviour of ZA27" Solidification Processing, (1987), 281-284

- [23] M. DURMAN, "The Creep Behaviour of Pressure Die Cast Zinc-Aluminum Based Alloys" Doctor of Philosophy, The University of Aston In Brmningham, June, (1989)
- [24] GENE. O. COWIE, "The Emergence of Zinc As An Engineering Material" CIM Bulletin, Vol.76, No.852, , April, (1980), 107-112
- [25] E. GERVAIS, R. J. BARNHUST AND C. A. LOONG, "An Analysis of Selected Properties of ZA Alloys" Journal of Metals, Vol.37, November (1985), 43-47
- [26] Doç. Dr. TEMEL SAVAŞKAN, Yrd. Doç. Dr. OKTAY TORUL, Arş. Gör. HAMDULLAH ÇUVALCI "Zn-Al Alaşımlarının İçyapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi", 5. Metalurji Kongre Ve Sergisi, 21-25 Kasım, (1988), 784-799
- [27] Rafet ARIKAN "MoS₂ İlaveli ZA27 Alaşımının Aşınma Özellikleri", 5. Metalurji Kongre Ve Sergisi, 21-25 Kasım, (1988), 800-817
- [28] Rafet ARIKAN, "ZA3 VE ZA12 Zn-Al Esaslı Alaşımların Metalografisi ve Özellikleri" Gazi Univ. Müh. Mim. Fak. Dergisi, 3. (1-2), (1988), 91-100
- [29] M. DURMAN AND S. MURPHY, "Precipitation of Metastable ϵ -Phase In A Hypereutectic Zinc-Aluminum Alloys Containing Copper" Acta Metal. Mater. Vol.39, No.10, (1991), 2235-2242
- [30] M. SAHOO, V. WHITTING, V. CHARTRAND, G. WEATHERALL, "Effect of Strontium On The Structure And Mechanical Properties of Zn-Al Foundary Alloys" AFS Trans. Vol.44, (1986), 225-233
- [31] E. GERVAIS, M. LEFEBVRE, C. H. LOONG, "Properties And Die Casting of ZA Alloys" SDCE 13th. International Die Casting Congress And Exposition, 1-8, June 3-6, (1985)
- [32] Dr. C. H. LOONG, "Effects of Temperature, Aging And Thickness On Die Cast Zinc Alloys" SDCE 14th. International Die Casting Congress And Exposition, 1-7, May 11-14, (1987)
- [33] EDWARD J. KUBEL JR., "Expanding Horizons For ZA Alloys" Advanced Materials & Processes Inc. Metal Progres, 7/87. 51-57

- [34] M. DURMAN, "Creep In Die-cast Zn-Al Alloys"
Zeitschrift Für Metallkunde, Bd 82
(1991) H.2, 129-134
- [35] M. DURMAN, "Creep of Pressure Die-cast Zn
Based Alloys" Zeitschrift Für
Metallkunde, Bd.79(1988)H.4, 243-247
- [36] T. J. RİSDON, R. J. BARNHUST, W. M. MIHAICHUK,
"Comparative Wear Rate Evolution of ZA
And Bronze Alloys Through Block On Ring
Testing And Field Applications" SAE
Technical Paper Series, 1-5, February,
(1986), 24-28
- [37] R. J. BARNHUST, E. GERVAIS, "Gravity Casting of ZA
Alloys: Dependence of Mechanical Properties
On Soundness, Microstructure And Inclusion
Content" AFS Trans. Vol.91, (1985), 591-602
- [38] O. AYIK, M. GHORESHY, M. SHAOO, "Solidification And
Foundry Studies of Zn-Al Alloys For Use In
Cast-to-Shape Applications
Solidification Processing", (1987), 285-287
- [39] I. G. RITCHIE, Z. L. PAN AND F. E. GOODWIN,
"Characterization of The Damping Properties
of Die-Cast Zinc-Aluminum Alloys"
Metall. Trans. A, Vol.22A, March (1991),
617-622
- [40] KAYALI, E. , S. , ENSARİ, C. , DİKEÇ, F.
"Metalik Malzemelerin Mekanik Deneyleri",
İstanbul, (1983)

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

ÖZGEÇMİŞ

S.Can Kurnaz 1967 yılında Tarsus'ta doğdu. Lise eğitimini 1984 yılında Tarsus Lisesinde tamamladı. Aynı yıl İ.T.Ü. Sakarya Mühendislik Fakültesi Metalurji Mühendisliği Bölümünü kazandı ve 1988 yılında bu bölümden Metalurji Mühendisi unvanıyla mezun oldu. Aynı yıl İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji Mühendisliği Anabilim dalı Malzeme programında yüksek lisans eğitimine başladı. 1990 yılında İ.T.Ü. Sakarya Müh. Fak. Metalurji Bölümüne Araştırma Görevlisi olarak girdi ve halen bu göreve devam etmektedir.