

**SERAMİK TAKVİYELİ ÇİNKO METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEME
ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU**

Murat KORÇAK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EYLÜL 2005
ANKARA**

Murat KORÇAK tarafından hazırlanan SERAMİK TAKVİYELİ ÇİNKO METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç.Dr. Metin GÜRÜ
Tez Yöneticisi

Bu çalışma jürimiz tarafından Kimya Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : _____

Üye : _____

Üye : _____

Üye : _____

Üye : _____

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

**SERAMİK TAKVİYELİ ÇİNKO METAL MATRİSLİ KOMPOZİT MALZEME
ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU
(Yüksek Lisans Tezi)**

Murat KORÇAK

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Eylül 2005**

ÖZET

Seramik-metal kompozit malzemelerin (sermet) gerilim direnci, sertlik, korozyona ve yüksek sıcaklığa direnç gibi özellikleri seramik ve metallerden üstündür. Sermetler bu iyileştirilmiş özelliklerinden dolayı endüstride geniş kullanım alanına sahiptirler.

Bu çalışmada, $MgAl_2O_4$ spinelden oluşan takviye sistemi çinko matrisle birleştirilerek yeni bir seramik-metal kompozit malzeme elde edilmiştir. Kompozit malzemenin üretiminde basınçsız infiltrasyon tekniği kullanılmış olup, argon atmosferinde $550^{\circ}C$ 'de 2 saat süreyle pişirilen numuneler SEM kullanılarak karakterize edilmiştir. Ayrıca, $MgAl_2O_4$ spinelden oluşan takviye sistemine değişik miktarlarda ilave edilen uçucu külün üretilen kompozit malzemenin mekanik özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda çinkonun $MgAl_2O_4$ spinel ve uçucu külden oluşturulan takviye sistemini ıslatması ve bir kompozit malzeme oluşturması başarılmış olup, takviye sistemine eklenen uçucu külün kompozit malzemenin mekanik özelliklerini arttırıcı yönde etki

gösterdiği tespit edilmiştir. Üretilen kompozit malzemede kütlece %60 çinko, %35 spinel ve %5 uçucu kül kullanıldığında 91,5 Vickers sertliğine kadar ulaşılabilmiştir. Bu değer 22.3 Vickers sertliği olan çinko sertliğinin yaklaşık dört katından fazladır.

Bilim Kodu : 946

**Anahtar Kelimeler : Sermet, Kompozit, Çinko, Spinel, Uçucu Kül,
Basınçsız İnfiltrasyon**

Sayfa Adedi : 97

Tez yöneticisi : Doç Dr. Metin Gürü

**PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF CERAMIC REINFORCED
ZINC METAL MATRIX COMPOSITE MATERIAL**

(M.Sc. Thesis)

Murat Korçak

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
September 2005**

ABSTRACT

The properties of Ceramic-metal (cermet) composites as tensile strength, hardness and resistance to corrosion and high temperatures are superior than ceramics and metals. Because of the enhanced characteristics of cermets, they are widely used in various applications and industries.

In the present study, the reinforcement material formed from MgAl_2O_4 spinel is combined with a zinc alloy matrix and a new ceramic-metal composite material was produced. The pressureless melt infiltration technique is used in the production process. The samples fired at 550°C for 2 hours are characterized by using SEM. Furthermore, the effects of fly ash addition on the mechanical properties of zinc based composite was investigated.

As a result of experiments it is achieved to wet the reinforcement contains MgAl_2O_4 spinel and fly ash by the molten zinc and to form a composite material. It was also seen that the addition of fly ash to the reinforcement was enhanced the mechanical properties of the composite material. Vickers hardness value of 91,5 was obtained in the sample with Zn 60%, spinel %35 and fly ash 5 % addition. This value is approximately more than 4 times bigger than the zinc alloy (22,3)

Science Code : 946

Key Words : Cermet, Composite, Zinc, Spinel, Fly Ash,
Pressureless Infiltration.

Page Number : 97

Adviser : Doç Dr. Metin Gürü

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca kıymetli tecrübelerinden faydalandığım, değerli yardımları ve katkılarıyla beni yönlendiren sevgili hocam Doç. Dr. Metin Gürü'ye, katkılarından dolayı değerli hocam Doç. Dr. Süleyman Tekeli'ye, Dr. Ahmet Güral'a, Doç Dr. Nursel Dilsiz'e, Araştırma Görevlisi Yüksel Akyüz'e ve Çetin Çakanyıldırım'a, Daire Başkanım Saniye Onur'a ve Şube Müdürüm Günseli Kılıç'a manevi desteklerinden dolayı aileme ve beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan ve emeğini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili eşim Özlem Korçak'a teşekkür ederim.

Ayrıca, Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı'nın (2001K120590) sayılı projesi kapsamında kurulan Gazi Üniversitesi İleri Malzemeler ve Boya Araştırma Merkezi bünyesinde yapmış olduğum çalışmalarım süresince sağlanan olanaklar için Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesine ve Devlet Planlama Teşkilatı'na teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİ VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	4
2.1. Kompozit Malzemeler	4
2.1.1. Kompozit malzemelerin tanımı	4
2.1.2. Kompozit malzemelerin tarihçesi.....	5
2.1.3. Kompozit malzeme bileşenlerinin görevleri	7
2.1.4. Kompozit malzemelerin olumlu ve olumsuz yönleri	8
2.1.5. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması	10
2.2. Metal Seramik Kompozit Malzemeler	15
2.2.1. Metal-seramik kompozit malzemelerin üretim yöntemleri	16
2.2.2. Metal-seramik kompozitlerde metal-seramik ara yüzeyinin incelenmesi	36
2.3. Spinel Oksitler	41
2.3.1. $MgAl_2O_4$ spinelin uygulama alanları	46
2.3.2. $MgAl_2O_4$ spinelin üretim prosesleri	47
2.4. Çinko Metali	48

	Sayfa
2.4.1. Çinkonun kullanım alanları	49
2.4.2. Çinko metalinin fiziksel ve kimyasal özellikleri	52
2.5. Uçucu Kül	55
2.6. Literatür Çalışmaları	55
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	66
3.1. Kullanılan Hammaddeler	66
3.1.1. Spinel oksit	66
3.1.2. Çinko metalı	66
3.1.3. Uçucu kül	67
3.2. Kullanılan Metot (Basıncsız İnfiltrasyon Tekniği)	68
3.3. Deneylerin yapılışı	68
3.3.1. Birinci yöntem	68
3.3.2. İkinci yöntem	71
3.4. İncelenen Deneysel Parametreler	75
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	76
4.1. Hammaddelerin Analizleri.....	76
4.2. Çinkonun Islatabilirliğinin İncelenmesi.....	76
4.3. Metot Seçimi	77
4.4. Üretilen Kompozit Malzemenin Görünümü	78
4.5. Üretilen Kompozit Malzemenin Sertlik İncelemesi	79
4.6. Üretilen Kompozit Malzemenin Yoğunluk İncelemesi	83
4.7. Üretilen Kompozit Malzemenin SEM İncelemesi	86

	Sayfa
5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	90
KAYNAKLAR	92
EKLER	95
EK-1 SİNERLENME SONRASI ÇAP ARTIŞI TABLOSU	96
ÖZGEÇMİŞ	97

ÇİZELGELERİN LİSTESİ**Sayfa**

Çizelge 2.1. Literatürde yapılan çalışmanın sonuçları	21
Çizelge 2.2. Spinelin fiziksel özellikleri	46
Çizelge 2.3. Çinkonun fiziksel özellikleri	53
Çizelge 2.4. Literatürdeki deneyin sonuçları	61
Çizelge 3.1. Çinko tozunun kimyasal analizi (%)	67
Çizelge 4.1 Uçucu külün kimyasal analizi (%)	76
Çizelge 4.2. Spinelin kimyasal analizi (%)	76

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Süreksiz takviye elemanlı kompozit	16
Şekil 2.2. İnfiltrasyon mekanizması	20
Şekil 2.3. Basınçlı infiltrasyon aparatı.....	22
Şekil 2.4. Basınçsız infiltrasyon aparatı.....	22
Şekil 2.5. Erimiş metal karıştırılması yöntemi	28
Şekil 2.6. Döküm karıştırma yöntemi	29
Şekil 2.7. Osprey metodu	29
Şekil 2.8. Takviye elemanı	31
Şekil 2.9. Sıcak presleme mekanizması	34
Şekil 2.10. Metal püskürtülmesi mekanizması	35
Şekil 2.11. Temas açısı	37
Şekil 2.12. Spineloksit 1	41
Şekil 2.13. Spineloksit 2	42
Şekil 2.14. Kromit	42
Şekil 2.15. Franklinit	43
Şekil 2.16. Gahnit	43
Şekil 2.17. Magnezyokromit	44
Şekil 2.18. Magnetit	44
Şekil 2.19. Miniyum	45
Şekil 2.20. Çinko metali	48
Şekil 3.1. Toz haldeki spineloksit	66
Şekil 3.2. Deneylerde kullanılan toz haldeki çinko metali	67

Sayfa

Şekil 3.3. Deneylerde kullanılan uçucu kül	67
Şekil 3.4. Bağlayıcı uçurulmadan önce ve sonra pelletin durumu	69
Şekil 3.5. Pelletler	69
Şekil 3.6. Presleme ünitesi	70
Şekil 3.7. Tüp fırın	70
Şekil 3.8. Kompozit malzemenin üretim aşamaları	72
Şekil 3.9. Elektron mikroskobu	72
Şekil 3.10. Vickers sertlik mekanizması	73
Şekil 3.11. Tensiyometre	74
Şekil 4.1. Çinko tarafından ıslatılamayan pelletler	78
Şekil 4.2. Üretilen kompozitin görünümü	79
Şekil 4.3. %25 çinko içeren numunelerde uçucu kül miktarının sertliğe etkisi	80
Şekil 4.4. %60 çinko içeren numunelerde uçucu kül miktarının sertliğe etkisi.....	81
Şekil 4.5. Kül içermeyen numunelerde çinko miktarının sertliğe etkisi	82
Şekil 4.6. %10 uçucu kül içeren numunelerde çinko miktarının sertliğe etkisi	82
Şekil 4.7. %60 çinko içeren numunelerde uçucu kül miktarının yoğunluğa etkisi.....	84
Şekil 4.8. %5 uçucu kül içeren numunelerde çinko miktarının yoğunluğa etkisi	85
Şekil 4.9. SEM görüntüsü (%30 Zn %70 Spinel, uçucu kül yok).....	86
Şekil 4.10. SEM görüntüsü (%30 Zn, %65 Spinel, %5 uçucu kül).....	87
Şekil 4.11. SEM görüntüsü (%50 Zn,%45 Spinel,%5 uçucu kül)	87

Sayfa

Şekil 4.12. SEM görüntüsü (%50 Zn, %30 Spinel, %20 uçucu kül) 88

1. GİRİŞ

İnsanlığın tarihsel gelişim sürecinde malzeme bilimindeki büyük atılımlar her zaman büyük gelişmelere ve hatta çağların atlanmasına yol açmıştır. Taş devrinin ardından metallerin işlenmesiyle metal devrine geçiş, daha sonra özellikle alaşımların kullanımı ile endüstri devrimine geçiş, radyoaktif malzemelerin kullanılmasıyla birlikte yaşanan nükleer çağ, iletkenler ve polimerlerin etkin kullanımı ile başlatılan elektronik devrimi ve kompozit malzemelerin yoğun olarak kullanıldığı günümüz uzay çağı bunlara birer örnektir.

Günümüzde malzeme bilimi enerji, iletişim, ulaşım, savunma ve uzay sanayileri gibi birçok ana sanayi kollarında insanların ihtiyaçlarının karşılanması amacıyla büyük atılımlar gerçekleştirmiştir. Çağdaş yaşamın gerektirdiği ortam ve şartlar için sürekli olarak yeni ve nitelikli malzemelere ihtiyaç duyulması mevcut malzeme teknolojisinde her gün yeni gelişmelere ve üstün özellikli malzemelerin üretilmesine neden olmaktadır.

Son yıllarda metaller, seramikler ve polimerler gibi geleneksel malzemelerin modern teknolojinin gereklilikleri olan yüksek sıcaklık, sürtünme, ve yüksek gerilme ortamlarında çalışmak üzere malzemenin özelliklerinin ihtiyaçları karşılamaya yetmemesi, daha üstün özelliklere sahip kompozit malzemelerin üretilmesinin temel nedeni olmuştur.

Bilindiği üzere, plastiklerin düşük yoğunluklu olmaları, kimyasallara dayanımlarının iyi olması, kolay üretilmesi ve birleştirilmesi gibi iyi özelliklerinin yanında termal kararlılıklarının iyi olmaması çevresel etkilere orta derecede dayanımlı olmaları ve mekanik özelliklerinin genelde zayıf olması tek başlarına kullanılabilmelerini kısıtlamaktadır. Aynı şekilde, seramiklerin ise genelde düşük yoğunlukta olmaları, yüksek termal kararlılıklarının olması, sağlam ve dayanıklı olmalarına rağmen şekillendirilebilmeleri ve yapılandırılmaları oldukça zordur. Metaller de kolay

şekillendirilebilmeleri termal kararlılıklarının iyi olması, kullanışlı mekanik özelliklere sahip olmalarına rağmen birkaç örnek dışında orta ve yüksek yoğunluğa sahiptirler.

Geleneksel malzemelerin içerdikleri olumlu ve olumsuz yönler incelendiğinde; kullanılabilecek en iyi özellikleri bir arada toplamak amacıyla malzemelerin üstün özelliklerini bir arada kullanarak daha iyi ve ileri teknoloji malzemelerin elde edilmesini sağlayan kompozit malzeme bilimi hızla gelişmiştir.

Kompozit malzemelerin kullanımı özellikle son dönemde büyük önem kazanmış durumdadır. Kendisini oluşturan maddelerin özelliklerinin de ötesine geçerek daha geniş uygulama alanlarında kullanılabilen kompozit malzemeler, endüstride kritik bir ekonomik öneme sahiptirler.

Aynı zamanda malzemelerin fiziksel, kimyasal ve yapısal özelliklerini incelemede kullanılan analiz cihazlarının son dönemde çok fazla gelişmesi sayesinde malzemelerin yapı-özellik ilişkileri incelenebilmekte olup, istenen tasarımla istenen özellikteki malzemeler üretilmektedir. Elektron mikroskopları, lazer ve x-ışınları kullanan cihazlar ile malzemenin tüm özellikleri modellenebilmekte ve malzemeler daha üstün özelliklere kavuşturulabilmektedir.

Çağdaş uygulamalarda önemli bir ileri malzeme grubu olarak ortaya çıkan kompozitler "çok kristalli, birden fazla ve farklı, metal ve metal olmayan bileşenlerin kombinasyonu" olarak ifade edilmektedir. Burada hedef farklı malzemelerin farklı ve değişken özelliklerinin en optimal şekilde kullanılması, hatta oluşan daha üstün özelliklere kavuşturulmasıdır.

Metal ve seramik malzemeler kullanılarak üretilen metal-seramik kompozitler son zamanlarda özellikle zırh teknolojisinde kullanılmaları nedeniyle gündemdeki yerlerini korumaktadır. Metal matris içine ilave edilen seramik gibi güçlü takviye elemanları ile üstün yapıdaki kompozit malzemeler elde

edilebilmektedir. Metal matrisli kompozitler (MMK) veya sermetler olarak adlandırılan bu malzemeler özellikle yüksek mukavemetleri ve kullanılan metale göre daha yüksek sıcaklıklara dayanımı sebebiyle geniş kullanım alanına sahiptirler.

Metal matrisli kompozitlerin üstün yönleri ve kullanım alanlarının genişliği göz önünde bulundurularak, bu çalışma ile ucuz, kolay üretilabilen, güçlü ve korozyona dayanıklı bir metal-seramik kompozit malzeme üretilmesi amaçlanmıştır.

Bu amaçla, $MgAl_2O_4$ spinel ve uçucu külden oluşan bir takviye sistemi, çinko matrisle birleştirilerek bir seramik-metal kompozit malzeme elde edilmiştir.

2. GENEL BİLGİ VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

İki ya da daha fazla farklı malzemenin bir araya getirilerek özel bir amaç için üstün özellikli bir malzeme haline dönüştürülmesiyle kompozit malzemeler elde edilir. Burada elde edilen yeni malzeme çok fazlıdır. Kompozit malzemelerde matris olarak adlandırılan bir ana faz ile onun içine dağılmış bir takviye fazı bulunur. Kompozit malzemeler hakkında detaylı bilgi verilmeden önce detaylı bir tanımlama yapılması uygun olacaktır.

2.1. Kompozit Malzemeler

2.1.1. Kompozit malzemelerin tanımı

Kompozit malzemelerin değişik kaynaklarda çok çeşitli tanımlamaları yapılmış olup, genel kabul görmüş bir tanımı bulunmamaktadır. Büyük tartışmalara yol açan kompozit malzemenin tanımı için genel olarak “birden fazla ve farklı, metal ve metal olmayan bileşenlerin bir arada toplanması” denilebilir. Ancak, bu tanım bilimsel olmaktan biraz uzaktır. Bir kompozit malzeme;

- Farklı kimyasal yapıya sahip, birbirleri içinde çözünmemiş, bileşenlerden meydana gelmiş,
- İki veya daha fazla kristal, molekül veya faz yapılarının bir arada bulunduğu,
- İçerdiği malzemelerin üç boyutlu olarak birleşmesinden oluşmuş,
- Kendisini meydana getiren bileşenlerin tek başına sahip olamayacakları özelliklerden daha iyi özelliklere sahip bir yapıdır.

Yukarıda verilen bilgiler ışığında bir tanımlama yapmak gerekirse "Bir kompozit malzeme, temel olarak birbiri içerisinde çözünmeyen ve birbirinden farklı şekil ve/veya malzeme kompozisyonuna sahip iki veya daha fazla bileşenin karışımından veya birleşmesinden oluşan bir malzeme sistemidir" tanımı, bütün kompozit malzemeleri kapsayacak bir tanım oluşturacaktır.

2.1.2. Kompozit malzemelerin tarihçesi

Yaşamımızın büyük bir bölümünde farkında olmadan bir çok kompozit malzemeyi kullanmaktayız. Kullandığımız otoyollar, evlerimizin inşasında kullanılan çimento ve demirin beraber kullanımıyla yapılmış betonarme yapılar ve daha verilebilecek birçok örnek kompozit malzemelerden oluşturulmuştur.

Bilinen ilk kompozit malzeme çamur kil ve samanı karıştırılarak yapılan kerpiçtir. Bu malzemede saman, kil ve çamur karışımından oluşturulan tuğlaların dayanımını büyük ölçüde artırır bir etki göstermiştir. Kontrplak ta kompozit malzemelerin ilk örneklerindendir. Dilimlenmiş tahta parçalarının güçlü bir yapıştırıcı ile birleştirilmesinden oluşan bu malzeme yaygın olarak kullanılmaktadır.

Günümüzde kompozit malzeme denildiğinde yüksek mühendislik bilgileriyle birleştirilmiş reçineler, takviye polimerleri, metal ve seramiklerden oluşan kompozit malzemeler akla gelmektedir. Modern otomobillere baktığımızda kullanılan parçaların büyük bir bölümünün kompozit malzemelerden üretildiği görülmektedir. Özellikle yüksek teknolojiye sahip otomobillerinde yaygın olarak FRP (fiber takviyeli plastik) kullanılmaktadır.

İlk olarak 1930'da üretilen Fiberglas filamentlerin (ince tel) ticari olarak üretilmesi 1935 yılında başlamıştır. Bu fiber takviyeli plastiklerin (FRP) üretilmesine ön ayak olmuştur. Birleşmiş Milletler'de fiber takviyeli

plastiklerin uçak yapımında kullanılması 1942 yılında başlamış olup, daha sonra fiber takviyeli plastiklerin botlarda, arabalarda ve kamyon kasalarında yaygın olarak kullanılması 1950'lere kadar uzanmıştır.

1950'ler de reçinelerin geliştirilmesi ile birlikte kullanılan fiberlerde geliştirilmiş olup, fiber olarak E-cam (düşük emisyon camı), R-cam (güçlendirilmiş cam), S-cam (silisli cam) ve özel asit ve alkalilere dayanıklı camlar kullanılmaya başlanmıştır. Bu malzemeler tekstilde de yaygın olarak kullanılmıştır.

1960'ların başlarında kullanılmaya başlanan bor fiberler modern kompozitlerin üretilmesine öncülük yapmışlardır. Çok dayanıklı olan bu fiberler ve ayrıca karbon fiberler uzay gemileri ve uçaklarda yaygın olarak tercih edilmektedir. Bor fiberlerin kullanımının yaygınlaşması; pahalı olmaları, şekillendirmekte kullanılan elmas malzemelerin pahalı olması nedeniyle istenilen düzeyde gerçekleşememiştir. Karbon ve aramid fiberler 1960'ların sonlarına doğru bor fiberlerin yerini almıştır.

Karbon fiber yaklaşık yüz yıl önce ilk olarak elektrik ampullerinde tel olarak kullanılmıştır. Bu eski fiberler kompozit malzemede takviye elemanı olarak kullanmak için zayıf ve kullanışsızdılar. Günümüzdeki karbon fiberlere bakıldığında sertlik ve dayanım özellikleri bakımından çok gelişmişlerdir.

1960'ların sonunda güçlü aramidlerin, camın ve karbon fiberlerin kullanılmasına başlanmıştır. Bu gelişmeler reçinelerin kullanımı ile paralel olarak ilerlemiştir. 1969'da fenolikler ve 1937'de üretilen epoksiler bunlara örnektir. Günümüzde fiberle güçlendirilmiş kompozit malzeme üretiminde kullanılan birçok gelişmiş termoset reçine mevcuttur. Bunlara poliaramidler, vinil esterler, silikonlar, poliüretanlar ve üretan akrilatlar örnek verilebilir. Termoplastiklerin üretimi termosetlerden daha önce olmuştur.

Poliaramid fiberler ilk olarak 1965 yılında geliştirilmiştir. Karbon fiberlere göre daha zayıf olmasına rağmen cam fiberlerden daha üstün olması, karbon fiberlerden hafif ve daha ucuz olması nedenleriyle basınçlı kap yapımında, uzay uygulamalarında, spor ve deniz ekipmanlarında geniş kullanım alanları bulmuştur.

Metal ve alaşımlarda bulunan seramik partiküller, alaşımın mukavemet ve sünekliğini azaltan ve arzu edilmeyen kapanımlar olarak kabul edilmekteydi. Daha sonra nikel kaplanmış grafit tozları sıvı alaşım içerisine argon gazı ile birlikte takviye edilmiş ve elde edilen bu karışım, partikül takviyeli metal-seramik malzemelerin üretiminde bir başlangıç olmuştur. 1968 yılında Indian Ins. Technology 'de yapılan çalışmalarda sıvı alüminyum alaşımına, sıvı alaşımın mekanik olarak karıştırılmasıyla alümina partikülleri takviye edilmiş ve bu çalışmalar karıştırma döküm çalışmalarına öncülük etmiştir. Daha ileriki yıllarda yapılan çalışmalarda yeni teknikler ve değişik kompozit üretim metotları geliştirilmiştir (1).

2.1.3. Kompozit malzeme bileşenlerinin görevleri

Bir kompozit malzeme takviye malzemesi ve bu takviye malzemesinin etrafını sararak kuvvetli bir şekilde bağ oluşturan matris malzemesinden oluşur.

Matrisin görevi:

Matrisin asıl görevi içindeki takviye elemanlarını bir arada tutarak onların malzeme üzerine gelen gerilmelere en üst düzeyde karşı koyabilmesi için düzenlenen yerleşimlerini muhafaza etmektir. Kompozit malzemeye gelen tüm yükler matris yoluyla takviye elemanına aktarılır.

Matris aynı zamanda kullanılan takviye malzemelerini birbirinden izole ederek, kompozit malzemeye toplu yer aldığındakinden daha fazla destek verebilmelerini sağlar. Genelde katı malzemeler olan takviye malzemelerinin

her birinin matris içinde ayrı bir girdi gibi davranmaları toplamda oluşturdıkları destekten daha fazla bir destek üretmelerini sağlar. Böylece malzeme üzerindeki çatlaklar birbiri üzerinde temas eden takviye elemanları üzerinden ilerleyemez.

Matrisin, içinde bulunan takviye malzemesini aşınmalara karşı, çevresel etkilere karşı ve korosif etkilere karşı koruması gerekmektedir.

Kırılmış takviye elemanları, içinde oluşan çatlakların durmasını veya yavaşlamasını sağlayan bir etki göstermesi gerekir.

Takviye elemanı ile etkin bir bağ gücü oluşturarak kompozit malzemenin mukavemetini artıran yönde etki göstermelidir.

Takviye malzemesinin görevi:

Bir kompozit malzemedeki takviye malzemesinin en önemli görevi, matris içinde homojen olarak dağılıp, matrisin maruz kaldığı gerilmeleri destekleyerek kompozit malzemenin mukavemetini arttırmaktır.

Bir takviye elemanı matris ile reaksiyon verip istenmeyen ürünler oluşturmamalıdır. Takviye elemanları matrisle güçlü bir bağ sistemi oluşturmamalıdır.

Takviye malzemesi ve matrisin termal genleşmeleri birbirinden farklı olmamalıdır. Maruz kaldıkları ısı değişiminde birbirlerini zayıflatıcı etki göstermemelidirler (2).

2.1.4. Kompozit malzemelerin olumlu ve olumsuz yönleri

Kompozit malzemeler, bileşenlerinin içerdiği üstün özellikleri bir malzemedeki toplayarak önemli bir üstünlük meydana getirmektedirler. Günümüzde kompozit malzemeler, kullanıldıkları ortamdaki zor çalışma

şartlarına içerdikleri üstün özelliklerle uyum sağlayabilmesi amacıyla üretilmektedir. Bir malzemeden beklenen üstün özellikler genel olarak aşağıdaki gibidir.

- Yüksek dayanım,
- Yüksek rijitlik,
- Yüksek yorulma dayanımı,
- Mkemmek aşınma direnci,
- Yüksek sıcaklık kapasitesi,
- Yüksek korozyon direnci,
- Yüksek ısı iletkenliği,
- şekillendirilebilirlik,
- Düşük yoğunluk, çekicilik ve estetik görünüm

Uygun matris/takviye eleman çifti, üretim tekniği, bileşenlerin mukavemet özellikleri ve diğer faktörler göz önüne alınarak üretim yapılırsa bir kompozit malzemede yukarıda belirtilen özelliklerin tümünü bir arada elde etmek mümkündür.

Uygun matris/ takviye elemanı seçiminin, sistemin mekanik ve fiziksel özellikleri üzerindeki etkisi büyüktür. Bir kompozit malzeme içerisinde matrisler tarafından yükün takviye elemanına iletilmesi için matris ile takviye elemanı arasındaki ara yüzey bağının da kuvvetli olması gerekmektedir. Ara yüzey bağının kuvvetli olması ise çiftlerin uyumuna ve matrisin ıslatabilirlik özelliğine bağlıdır. Bunun yanında üretim tekniği seçimi dışında, takviye elemanlarının matris içerisinde homojen dağılımı da matris alaşımı ve takviye elemanın çiftlerinin uygun seçimine bağlıdır. Kompozitler karma malzeme olduklarından bu şartı sağlamak ve elde etmek için uygun matris/takviye elemanı çifti seçilmelidir.

Yukarıda belirtilen malzemelerden beklenen üstün özellikleri sağlayabilen kompozitlerin bu özelliklere ek olarak klasik malzemelere göre belirgin olumlu yönleri aşağıdaki gibidir (1).

- Yüksek dayanımın ağırlığa oranındaki azalma,
- Amaçlanan işe uygun malzeme tasarımının gerçekleştirilebilmesi,
- Korozyona dayanım ile uzun ömür,
- Üretiminin ucuzluğu,
- Termal veya elektrik iletkenliğinde artış.

Yukarıda belirtilen üstün özelliklerinin yanında bazı kompozit malzemelerin olumsuz yönleri de mevcuttur. Bunlar aşağıdaki şekildedir;

- Üretim güçlüğü,
- Pahalı olması,
- İşlenme problemi, işlenme maliyetinin yüksek oluşu ve gerekli yüzey pürüzlülüğünün elde edilmesinin güçlüğü,
- Diğer malzemeler gibi geri dönüşümünün olmayışı,
- Kırılma uzamasının az oluşu.

2.1.5. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması

Kompozit malzemeler barındırdıkları özelliklere, içerdikleri yapılara göre pek çok sınıflandırma yöntemine tabi olabilirler. Yapılabilecek en genel sınıflandırma aşağıdaki gibidir (1).

- Polimer matrisli kompozit malzemeler
- Seramik matrisli kompozit malzemeler
- Metal matrisli kompozit malzemeler
- Karbon-karbon kompozit malzemeler
- İntermetalik kompozitler
- Melez kompozit malzemeler

Polimer matrisli kompozit malzemeler: Çoğunlukla elyaf formunda sert, dayanımlı malzemelerle takviye edilerek oluşturulur. En yüksek mukavemet artışı sürekli elyaf kullanımı ile sağlanmakta ve üretilen kompozit üstün özelliklere sahip olmaktadır. Elyaf miktarı arttıkça kompozit malzemenin mukavemeti de artmaktadır.

Kompozitler içinde en fazla geliştirilmiş sınıftır. Çok büyük veya kompleks yapıdaki şekillerde üretilmektedirler. Günümüzde kullanılan en tipik örnek, “fiberglas” olarak bilinen polyster esaslı reçinelerin cam elyafı ile takviye edilerek üretilen malzemelerdir. Yüksek mukavemet ve korozyon direncine sahiptirler. Bu gruptaki kompozitleri oluşturan elemanlar aşağıdaki gibidir:

Matris: Termoset veya termoplastikler polimer malzeme olarak sürekli fazı oluşturur. Termoset grubunda poliesterler, vinil ester/bisfenol, epoksi reçine ve fenolik reçineler kullanılır. Termoplastik grubunda ise poliamid, polipropilen en yaygın kullanılanlardır. Bunun yanı sıra hibrid formda polietilen ve polibutilen tereftalat gibi yapılar kullanılır.

Takviye: Aramid (kevlar 29, kevlar 49) ve polietilen kullanılan organik fiberler, karbon, grafit, cam, bor, alümina, silisyum karbür ise kullanılan inorganik fiberler arasındadır. Bu malzemeler matrisi yaklaşık % 60 hacim oranında destekleyici olarak önemli işlevi olan malzemelerdir.

Katkılar: Dolgular, kimyasallar ve diğer katkılar özelliklerin geliştirilmesi amacıyla kullanılırlar.

Bu gruptaki kompozitler yüksek mukavemet, elektriksel iletkenlik, korozyon direnci, kolay işlenmesi gibi özelliklerinden dolayı uçak-uzay, savunma, yapı-inşaat, tüketim tüketim ürünleri imalatında, elektrik-elektronik, denizcilik ve otomotiv sektörlerinde kullanımı gittikçe yaygınlaşmaktadır.

Seramik matrisli kompozit malzemeler: Sermetler olarak anılan seramik bazlı kompozitler seramik matris malzemelerin (Al_2O_3 , Si_3N_4 , SiC) seramik veya metal parçacık, plakacık, kıl- kristal veya elyaf olarak takviyesiyle oluşturulan üstün ısı özelliklere ve mukavemete sahip malzemeler grubudur.

Seramik malzemeler, yüksek sıcaklık ve aşırı korozyif ortamlar için çok uygun olmasına karşın, yük altında gevrek davranış gösterirler ve bu davranışları kullanım alanlarını sınırlandırmaktadır. Seramik matrisli kompozitlerin üretimindeki amaç, takviye ve matris malzemesi olarak iki ayrı malzemeyi bir araya getirerek seramik matrisin tokluğunu artırmaktır. Bu gruptaki kompozitleri oluşturan elemanlar aşağıdaki gibidir:

Matris: Al_2O_3 , Si_3N_4 , SiC

Takviye: Seramik oksit fiber (Al_2O_3 , SiO_2 , ZrO_2), seramik oksit olmayan fiber (Si_3N_4 , SiC, ZrC), SiC kıl kristal

Seramik fiberlerin yüksek oksidasyon direncine sahip olmaları nedeniyle yüksek sıcaklık kullanımlarında metal ve karbon fiberlerden daha üstündür.

Seramik bazlı kompozit malzemeler nükleer uygulamalarda, gaz türbinlerinde, uzay- havacılık sektöründe kullanılır.

Metal matrisli kompozit malzemeler: Bu gruptaki kompozitler alüminyum, bakır, magnezyum, titanyum gibi hafif metal alaşımlarının işleviyle, karbon, bor ve diğer bazı metallerin elyaf, parçacık, plakacık, kıl-kristal yapısında takviye fazını oluşturmamasından meydana gelir. Bu gruptaki kompozitleri oluşturan elemanlar aşağıdaki gibidir:

Matris : Alüminyum, magnezyum, titanyum, bakır

Takviye: Bor, SiC, grafit, tungsten, Al₂O₃ fiber, kısa seramik fiber veya kıl-kristal parçacık: SiC, ZrO₂, Al₂O₃

Metal matrisli kompozit malzemeler takviye edildikleri malzemelere göre daha üstün mukavemet, aşınma, korozyon, sertlik gibi özellikler kazandıklarından dolayı nükleer güç ekipmanlarında, gaz türbinlerinde, uzay, havacılık ve otomotiv sektörlerinde kullanılır.

Karbon-karbon kompozit malzemeler: Karbon fiber takviye elemanı ve karbon matrsten oluşan bir kompozit türüdür. Üretimi polimer matrisli kompozitlere benzer. Fakat, organik yapıdaki matris karbona dönüşene kadar ısıtılarak elde edilir. Karbon-karbon yapısı çok yüksek sıcaklıklara ve termal şoklara son derece dayanıklıdır. 1371⁰C gibi yüksek sıcaklıktaki mukavemet/yoğunluk oranı çok yüksektir.

İntermetalik kompozit malzemeler: Yüksek performanslı gaz türbinlerinde kullanılmaktadır. Düşük yoğunluklu intermetalik bileşiklerin kullanımıyla üretilmektedirler. Ti₃Al+Nb kompozit malzemesi örnek olarak verilebilir.

Melez kompozit malzemeler: Gelişmekte olan en yeni kompozit türü olan melez kompozitler bir kompozitin başka bir madde ile melezleştirilmesi veya birden fazla takviye elemanı kullanılması yoluyla üretilmektedir.

Melez kompozitler 5 alt kategoride incelenebilir. Bunlar, melez kompozitler, seçilmiş takviyeliler, termal yönetilenler, akıllı kaplama ve yapılar, ultra hafif malzemelerdir.

Melez kompozitlere örnek olarak takviyeli bir polimer kompozit maddenin metal ile birleştirilmesi verilebilir. Aramid takviyeli alüminyum laminat (ARALL) bu şekilde yapılandırılmış bir malzemedir. Ses hızından hızlı uçan uçakların kanatlarında kullanılmaktadır.

Seçilmiş takviyeliler özel bir alana özel amaçla bir takviye malzemesinin eklenmesi ile üretilir. Örnek olarak titanyum takviyeli bir metal matrisli kompozit malzemenin titanyumdan oluşan bir yüzeye tatbik edilmesi verilebilir. Genellikle uzay teknolojilerinde kullanılan bu metot da, ihtiyaç duyulan yapının sadece gerekli yerlerde kullanılarak fazladan yatırım yapılmasını engellemek amaçlanmıştır.

Termal yönetilenler ise yüksek sıcaklık ortamlarında sıcaklığın soğuk bölümlere transferini sağlayarak bozulmayı önleyen bir yapıya sahiptirler. Örnek olarak grafit fiberli oksijen içermeyen yüksek iletim kabiliyetine sahip bakırın fenolik bir reçine içinde birleştirilmesiyle oluşturulan kompozit verilebilir. Uçaklarda yolcuları oluşabilecek kazalarda korumak amacıyla kullanılır.

Akıllı kaplama ve yapılar, amaca uygun sensörlerin, araçların ve fiber optik tellerin bir kompozit malzeme içine yerleştirilmesi ile elde edilen melezlerdir. Malzemenin yapısını kontrol etmek, insanların sağlıklarını kontrol etmek, akıllı füzelerde hedefi takip etmek gibi farklı amaçlarla kullanılmaktadırlar.

Ultrahafif malzemeler ise sıvı kristal düzenli polimerlerin kullanılmasıyla elde edilmekte ve yüksek mukavemet özelliği bulunmaktadır. Uzay ve savunma teknolojilerinde kullanılmak amacıyla üretilmişlerdir.

2.2. Metal Seramik Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler incelendiğinde, özellikle yüksek sıcaklık işlemlerindeki üstün özellikleriyle metal-seramik kompozitler bir başka adıyla sermetler dikkat çekmektedirler. Bilindiği üzere, oldukça gevrek olan seramik malzemelerin kullanım alanlarının genişletilmesi için bu gevrek yapısının azaltılması gerekmektedir. Seramik malzemelere metallerin ilave edilmesi seramiklerin gevrekliğini azaltmak için çok etkin bir yoldur. Bu malzemeler seramik ve metallerin olumlu üstünlüklerini bir araya getirir.

Sermetlerin bir çok üstün yönü vardır. Bazı seramiklerin üretim prosesleri oldukça zordur. Ancak üretimi zor olan bu seramiklerle aynı alanlarda kullanılabilecek sermetlerin üretimi çok daha kolaydır.

Seramikler mekanik hatalara karşı duyarlıdır. Yani dayanımı düşüktür. Seramik bünyeye metal ilavesiyle bu özellikleri geliştirilir. Seramik-Metal kompozitler yüksek mukavemete ve yüksek elastisite modülüne sahiptirler. Yüksek sıcaklık özellikleri kompozitte kullanılan metale göre daha üstündür. Otomotiv ve uçak sanayisinde uygulamaları oldukça dikkati çekicidir.

Sermetleri üretmek için genel olarak dolgu maddesi olarak alümina, magnezyum oksit, doloma veya kaolin gibi malzemeler kullanılırlar. Bağlayıcı ve ıslatıcı malzemeler olarak ise seramik malzemeyi ıslatma özelliğine sahip seramikten çok daha düşük ergime sıcaklığı olan metaller kullanılır. Üretim esnasında ergiyen metal seramik tozlarını birbirine bağlar. Bu metallere örnek olarak alüminyum, bakır, nikel verilebilir. Ayrıca ek olarak takviye edici malzemelerden bor bileşikler, cam elyaf, karbon elyafı, örgülü malzemeler de özel amaçlara göre kullanılabilir.

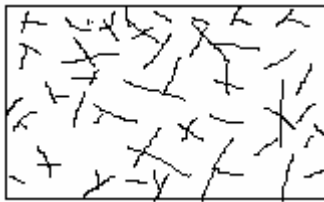
2.2.1. Metal-seramik kompozit malzemelerin üretim yöntemleri

Metal matrisli kompozitler de Al, Mg, Zn, Cu, ve Ni gibi malzemeler matris olarak kullanılırken; silisyum karbid, bor, grafit, alüminyum oksit, tungsten, ve molibden gibi değişik sürekli, kılcal kristalli veya parçacıklı elyaflar takviye elemanı olarak seçilmektedir. Ancak, yapılacak bir kompozit üretimi için uygulamada istenilen teknik özelliklere göre takviye elemanı ve matris seçiminin yanında üretimi tekniği de çok önemlidir.

Üretim yöntemlerini sınıflandırmak gerekirse kullanılan takviye elemanının sürekli veya süreksiz olması durumuna göre iki gruba ayırarak inceleyebiliriz (3).

Süreksiz takviye elemanı kullanılan prosesler:

Partiküller, tabakalar, kıl kristaller gibi küçük yapıdaki takviye malzemelerinin yığın olarak bir matris içine katılarak kompozit malzeme üretilen proseslerdir. Şekil 2.1.'de süreksiz takviye elemanının kompozit malzeme içinde dağılımı görülmektedir.



Şekil 2.1. Süreksiz takviye elemanlı kompozit.

Partiküller ve kıl kristaller en fazla kullanılan türlerdir. Alümina, bor karbür, silisyum karbür, titanyum karbür ve tungsten karbür en sık görülen örnekleridir. En çok kullanılan kıl kristal silisyum karbüdür. Kıl kristallerin üretilmesi partiküllerin üretilmesinden 10-100 kat arasında daha pahalıdır. Silisyum karbür takviyeli kompozit malzemeler, ucuz olmaları ve ticari olarak kolay bulunmaları nedeniyle tercih edilmektedir. Hacim olarak %5-40

arasında kullanıldıklarında malzemenin mukavemet ve sertlik özelliklerinde gelişme sağlamaktadır. Teorik olarak kıl kristallerin kullanımı çok yönlü uzanmaları nedeniyle partiküllere göre daha iyi mekanik özelliklerin oluşmasını sağlamaktadır. Tabi bu durum kıl kristallerin üretim esnasında uzun yapıda oluşması ile alakalıdır. Kısa yapıda olan kıl kristaller bu üstünlüklerini kaybetmektedir.

Süreksiz takviye elemanı ile üretilen malzemeler birincil ve ikincil işlemler ile üretilir. Birincil işlemler, toz metalurjisi, sıvı metal infiltrasyonu (sızma), sıkıştırılmış veya basınçlı döküm ve geleneksel döküm olarak sıralandırılabilir. Fakat birincil üretim yöntemleri bir parçanın tamamlanmış haline kadar üretilmesini sağlamaz. Zımparalama veya kaynaklama gibi ikincil bir işleme daha ihtiyaç duyulur. Süreksiz takviye elemanı kullanılarak kompozit malzeme üretme tekniklerinden birkaç örnek aşağıda verilmektedir.

Toz metalurjisi yöntemi: Takviye malzemelerinin sıvı alaşım tarafından ıslatılabilirliğinin düşük olması durumunda tercih edilen üretim yöntemi toz metalurjisidir. İlk geliştirilmiş metodlardan biridir. Toz metalurjisi yönteminde, toz halindeki metal ve seramik malzemeler birleştirilebilir. Karıştırma sonrası elde edilen karışım kalıba doldurulur ve soğuk veya sıcak presleme ile kalıplanır. Daha sonra kalıp sinterlenir. Sıcak izostatik presleme (HIP) kullanımıyla, soğuk preslemeye nazaran daha yüksek yoğunluğa sahip malzemeler üretilir. Bu proseste karıştırma homojen bir malzeme üretilmesi bakımından çok önemlidir. Karıştırmanın daha etkin olması amacıyla bazı yağlayıcılar kullanılabilir. Kullanılan bu yağlayıcılar sinterlenme yapılmadan önce karışımdan uzaklaştırılmalıdır.

Genellikle, takviye elemanı partikülleri olarak silisyum karbür, grafit, nikel, titanyum ve molibden ile matris malzemesi olarak da metalik bakır, nikel, alüminyum, kobalt ve titanyum esaslı alaşımlar ve çelikler kullanılmaktadır. Malzemelerin yığılmadan homojen bir dağılım sağlaması için metal toz ve seramik partikül boyutu çok önemlidir (3).

Toz metalurjisinin temel aşamaları hızlı katılaştırılmış metal veya alaşım tozlarının elenmesi ile partikül boyutunun homojenleştirilmesi, daha sonra takviye fazı ile metal tozların etkin bir şekilde karıştırılması, karıştırılan malzemenin yüksek basınç altında sıkıştırılması, gaz giderme ve ekstrüzyon, dövme, haddeleme ve diğer sıcak işlemler ile son birleştirme işleminin uygulanması şeklindedir. Metal tozları, genellikle, 20-40 µm büyüklük aralığında atomize tozlardır.

Sıvı faz sinterlemenin yoğunlaştırma kinetiği daha yüksektir. Ancak seramik parçacık ara yüzeyinde arzu edilmeyen bileşiklerin oluşması açısından daha kolaylıkla meydana gelen reaksiyon olumsuz bir durumdur. Sıvı faz sinterleme, hızlı katılaştırılmış olan metal toz parçacıklarının mikro yapısının zarar görmesine neden olacak ve ergimiş bölgelerde ötektik fazların oluşumuna yol açacaktır. Tamamıyla katı hal sinterleme ise hızlı katılaştırma atomizasyonu ve şerit döküm prosesleri ile elde edilebilen aşırı doymuş alaşım bileşimleri temin etmede daha üstündür. Son dövme ürünü de yaklaşık 20:1 veya daha yüksek oranda ekstrüzyon ile elde edilebilmektedir. Yüksek ekstrüzyon oranı ise;

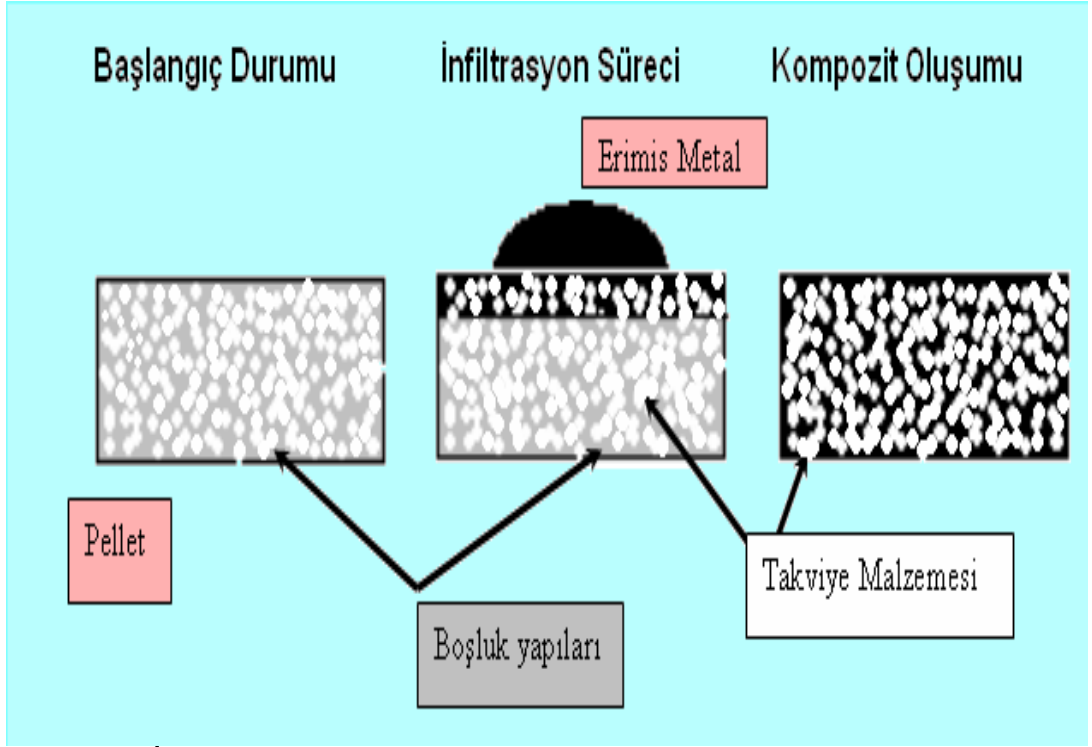
- a) Metalin metale temasına müsaade etmesi,
- b) Metal partiküller arasında iyi bağ gelişimini sağlaması,
- c) Metal toz partikülleri arasındaki oksit filminin dağıtılması vb. için gereklidir.

Yüksek ekstrüzyon oranı aynı zamanda ekstrüzyon ile birlikte meydana gelen plastik akışı, takviye parçacık topaklarının dağıtılmasına yardımcı olduğundan dağılımı geliştirmektedir. Bunun yanında hızlı katılaştırılmış tozlar kullanılmış ise matris ve takviye parçacıkların zarar görmesinden kaçınmak için ekstrüzyon oranı ve sıcaklık dikkatli şekilde kontrol edilmelidir

Sıvı metal infiltrasyonu (sızma): Sürekli veya süreksiz takviye elemanı kullanılarak gerçekleştirilebilir. Ancak, literatürde süreksiz toz halde takviye elemanları kullanılarak yapılan çalışmaların çok yaygın olması nedeniyle yöntemin bu bölümde işlenmesi uygun olacaktır. Bu yöntemde ilk önce toz halindeki takviye elemanları gözenekli yapıda bir pellet haline getirilerek erimiş alaşımların bu gözenekleri doldurması amaçlanmıştır. Literatürde pellet oluşturulması için değişik metodlar geliştirilmiştir. Genelde toz haldeki takviye malzemesi bir bağlayıcı ile karıştırılarak bir çamur haline getirilir. Bu durum bağlayıcının yapısına göre değişiklik gösterir. Oluşturulan karışım bir kalıba dökülerek pellet oluşturmak üzere basınç altında kalıplanır. Daha sonra kurutma uygulanarak yapıdan bağlayıcı maddenin uçurulması ile gözenekli bir yapının oluşturulması sağlanır. Kullanılan takviye malzemesinin yapısına göre bir bağlayıcı kullanılmadan da yalnız basınç kullanılarak gözenekli yapıda bir pellet elde edilebilir (4-8).

Yapılan bir başka çalışmada ise toz haldeki pellet quartz tüpe doldurularak quartz tüpe birlikte erimiş metalin içine daldırılarak bir kompozit malzeme üretilmesi sağlanmıştır (9).

İnfiltrasyon mekanizması genelde elde edilen pelletlerin üzerine kesilerek yada kırılarak koyulan metal parçalarının atmosferi ayarlanmış fırınlarda oksitlenmeyi önlemek amacıyla azot veya argon gibi inert gazlar kullanılarak sinterlenmesi suretiyle gerçekleşmektedir. Böylece erimiş olan metalin gözenekler içine infiltre olması sağlanmaktadır. İnfiltrasyon basınçsız veya basınçlı ortamda yapılabilir. Basınçsız infiltrasyonun (sızma) kullanılması üretim maliyetini düşüren bir durumdur. Ancak, sızma basınçsız gerçekleştirilemiyorsa pozitif veya negatif basınç uygulanarak sızma miktarı arttırılabilir. Şekil 2.2.'te infiltrasyon (sızma) mekanizması gösterilmektedir.



Şekil 2.2. İnfiltrasyon mekanizması

Basıncsız infiltrasyon (sızma) tekniğın bir çok üstün yönü bulunmaktadır. Herhangi bir dış basınç kullanılmadığından oldukça ucuzdur. Takviye elemanın hacim oranı kontrol edilebilmektedir. Takviye elemanın kompozit madde içindeki dağılımı düzenlidir. Elde edilen kompozit malzemenin yapısını bozacak artık gözenekli yapıların oluşması önlenmektedir. Ek alaşımlar eklenerek son ürünün özellikleri kontrollü olarak değiştirilebilir (10).

Basıncsız infiltrasyon (sızma) tekniğının kullanıldığı bir çok çalışma yapılmıştır. Bunlara örnek vermek gerekirse WC/FeAl/Co yapısı (4), $Al_2O_3/Cu-O$ yapısı (6) ve Al_2O_3/Si yapısı (7) örnek olarak verilebilir. Ayrıca Zn-Al bazlı metal matrisli kompozit yapısı da sızma tekniğiyle üretilmiştir (11).

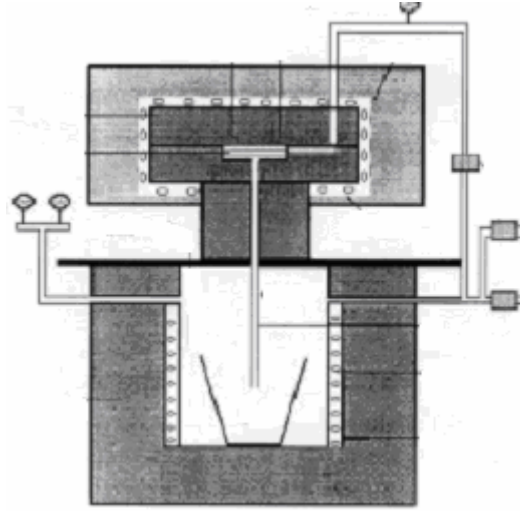
Travitzky tarafından yapılan bir çalışmada Al_2O_3/Cu kompozit malzemesi hem basınçlı infiltrasyon (sızma) ile hem de basıncsız infiltrasyon ile üretilerek özellikleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar basınçlı infiltrasyon metodu ile üretilen malzemelerin basıncsız yolla üretilenlere göre

daha sert, tok ve bağ kuvvetinin daha fazla olduğunu ortaya koymuştur. Ancak bu fark çok büyük bir fark değildir. Çizelge 2.1.'de elde edilen sonuçlar verilmektedir (6).

Çizelge 2.1. Literatürde yapılan çalışmanın sonuçları

Malzeme	Bağ kuvveti (Mpa)	Tokluk (Mpa)	Vickers sertliği(Gpa)
Al₂O₃ preform	41	1.77	2.2
Basıncılı Yöntemle Üretilmiş	355	6.7	8.3
Basıncısız Yöntemle Üretilmiş	275	6.5	7.5

Literatürde basınçlı ve basınçsız infiltrasyon için kullanılmış mekanizmalara örnekler aşağıdaki şekillerde verilmektedir. Şekil 2.3, Can Kurnaz tarafından yapılmış olan ve basınçlı infiltrasyon metodu uygulanan çalışmada kullanılan mekanizmayı göstermektedir. Bu çalışmada Takviye malzemesi olarak δ-alümina safil fiberler, matris olarak Zn-Al bileşiğinden oluşan (ZA-12) alaşımı kullanılmıştır (11).



Şekil 2.3. Basıncılı infiltrasyon aparatı

Travitzky ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada, basınçsız infiltrasyon (sızma) tekniği ile üretilen $Al_2O_3/Cu-O$ kompozit malzemesinin üretilmesinde kullanılan mekanizma Şekil 2.4'te yer almaktadır (6).



Şekil 2.4. Basınçsız infiltrasyon aparatı

İnfiltrasyon sistemin üstünlükleri şunlardır:

- Pahalı bir cihaz gerektirmediğinden ekonomik bir yöntemdir,
- Takviye edici malzemenin miktarı rahatlıkla kontrol edilebilir ve bu nedenle % 50'nin üzerinde takviye edici malzeme içeren kompozit üretimi mümkündür,

- Takviye edici malzemenin kompozit bünyesinde dağılımı homojen olarak sağlanabilir,
- Alaşıma istenilen elementler katılarak özellikler kontrol edilebilir,
- Nihai şekle sahip parçalar üretilebilir.

İnfiltrasyon prosesinin modellenmesi için Darcy Kanunu kullanılır. Yukarıda da anlatıldığı üzere, bir metal erime sıcaklığının üzerinde bir sıcaklığa ısıtıldığı zaman, genellikle düşük viskoziteli güzel akış özelliklerine sahip bir sıvı elde edilmiş olur. İnfiltrasyon prosesi bu sıvının geçirilmesi, yani kapiler bir aktivite olarak düşünülebilir. Gözenekli bir takviyenin akışkan haldeki metali geçirebilmesi çok önemli bir durumdur.

Darcy Kanunu aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$Q = -\frac{KA}{\eta} \nabla P \quad [2.1]$$

Bu ifadedeki A, kesit alanıdır. η sıvının viskozitesidir. P, basınç düşüştür. K, geçirgenlik katsayısıdır. Q, hacim akış yoğunluğudur. (Hacim/alan x zaman) olarak ifade edilir.

Basınçlı döküm yöntemi: Üretilen malzemenin normal döküm tekniğinde gösterdiğinden daha iyi metalurjik özellikler göstermesi amacıyla kullanılmaktadır. Proseste hızlı bir katılaşma meydana geldiğinden katılaşma sırasında meydana gelen gözenekliliğin en aza indirgenmesi sağlanır. Bu yöntem özellikle motorların yanma bölgesindeki pistonların üretilmesinde tercih edilir. Takviye elemanı potanın içine konduktan sonra 70-100 MPa basınç altında erimiş metal takviye elemanının üzerine dökülür. Basınç katılaşma meydana gelene kadar korunur. Metal matrisli kompozitlerin ticari

olarak üretilmesinde bu yöntem ilk olarak kullanılmıştır. Bu yöntem ile kompleks parçalar rahatlıkla üretilebilmektedir (3).

Geleneksel döküm yöntemi: Hacim olarak % 5-20 silisyum karbür içeren ve metal olarak alüminyum kullanılan kompozit üretiminde yaygın olarak kullanılan bu metotta takviye elemanının çöküp homojenliğinin bozulmasının engellenmesi için bir karıştırma prosesi gerekmektedir. Gözle görülür bir hareketi sağlayacak fakat yüzeyde oluşmuş koruyucu oksit tabakasını kırmayacak hızda bir karıştırma işlemi gerekmektedir. Döküm sıcaklığı bu proses için 680-790⁰C aralığındadır. Kuru argon gazı atmosferik kirlenmeyi engellemek için kullanılır. Bu yolla bir çok makine parçası yaygın olarak üretilmektedir (3).

Vorteks yöntemi: Partikül takviyeli metal-seramik kompozit üretimi için çok değişik metotlar olmasına rağmen, bu metotlardan en kolay ve en ucuz olanı seramik partiküllerin ergimiş sıvı metal içerisinde karıştırılması şeklinde olan vorteks (sıvı metalürji) metodudur.

Metal-seramik kompozit malzemeler üzerinde ilk çalışmalar partikül şeklindeki takviye malzemesinin sıvı matris fazının karıştırılmasıyla elde edilen vortekse eklenmesi ve daha sonra şekillendirilmek amacıyla kalıba dökülmesi şeklindedir. Metal-seramik kompozit malzemelerin üretiminde çok değişik üretim yöntemleri kullanılmaktadır. Bu üretim yöntemlerinden vorteks yöntemi, düşük maliyetli olan ve dökümhane şartlarına kolayca uygulanabilen bir yöntemdir.

Vorteks yönteminde kullanılan düzenek, mekanik karıştırıcı aksamı ve bir bekletme fırınından ibarettir. Matris alaşım bir pota içerisinde eritilir. Matris karıştırma işlemi bir pervane yardımıyla yapılmaktadır. Düşeyle 30-35° açı yapan karıştırıcı pervane sıvı metale daldırılır. Karıştırma hızı 800-1000 devir/dakika'dır. Tatmin edici bir vorteks elde edildiğinde önceden hazırlanmış partikül şeklindeki takviye malzemesi vorteksin tam ortasına

belirli bir besleme hızıyla kontrollü olarak verilir. Sıvı metal partikül şeklindeki takviye malzemesinin ilave işlemi bittikten sonra karıştırmaya devam edilir ve partiküllerin homojen bir şekilde sıvı metal içerisine dağılması sağlanır (3).

XD yöntemi: Martin Marietta firması tarafından geliştirilmiş olan patentli bir yöntemdir. Bu üretim yönteminde kompozit malzemeye takviye edilen takviye partikülleri, sıvı matris alaşımı içerisinde gelişen reaksiyonlar sonucu elde edilir. Bu yöntemde sıvı haldeki matris malzemesinin içerisine kompozit malzemenin üretimi için gerekli olan takviye malzemesini oluşturacak kimyasal bileşikler eklenir.

Al-Ti ve Al-B alaşımları karıştırılarak ısıtılır. Alüminyum erir ve difüzyon sonucu TiB_2 yapısı oluşarak ayrılır. Kullanılan takviye malzemesi genelde karbür, nitrür, bor veya silikatlardan oluşur. Matris ise TiAl, Ti_3Al veya Ni Al alaşımıdır (12).

Sıvı Metal Karıştırması: Bu üretim yönteminin oldukça değişik versiyonu var olmakla beraber takviye malzemenin tamamıyla sıvı haldeki matris içerisine girmesini sağlamak için bazı yaklaşımlar aşağıda özetlenmiştir

- a) Bir enjeksiyon tabancası kullanılarak sıvı içerisine taşıyıcı soy gaz ile tozların enjeksiyonu,
- b) Kalıp dolarken sıvı içerisine seramik parçacıkların ilavesi,
- c) Mekanik hareket ile oluşturulan vorteks içerisinden parçacıkların sıvı metale ilavesi,
- d) Sıvı içerisine, matris alaşımı ve takviye toz karışımından meydana gelen, küçük birikmelerin ilavesi ve ardından karıştırılması,
- e) Karşılıklı hareket eden çubuklar kullanılarak parçacıkların sıvı içerisine itilmesi,

f) Merkezkaç etki ile ince parçacıkların sıvı içerisine dağıtılması, veya ultrasonik ile sıvı sürekli hareket halinde iken parçacıkların sıvı içerisine enjeksiyonu,

g) Sıfır yerçekimi prosesi ile uzun bir zaman dilimi için çok yüksek vakum ve sıcaklıkların birlikte etkisi kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

Yukarıdaki işlemlerin hepsinde metal matris ile takviye arasındaki güçlü bağ; yüksek işlem sıcaklığı kullanımı ve yeni faz oluşturulması gereklidir. Bu nedenle de takviye fazı ile matris arasındaki ıslatmayı iyileştirmek için takviye ile etkileşim gösteren bir element ile matrisin alaşımlanması halinde başarılı olunmaktadır. Doğal olarak ıslanmayan parçacıklar için ıslatmayı iyileştirici alaşım elementi ilavesi halinde veya parçacıkların ıslatılabilir bir örtü ile kaplanması gerekmektedir. Fakat bu reaksiyon, kompozit üretimi veya kullanımı sırasında takviye elemanın zarar görmesine neden olmaksızın bağ oluşumunu teşvik edecek ıslatmayı sağlayacak kadar olmalıdır. Bu tekniğin üstünlükleri aşağıda belirtilmektedir (3).

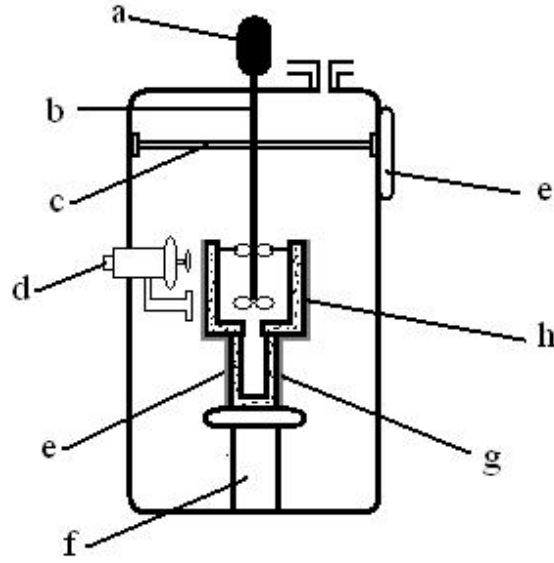
- Klasik döküm işlemleriyle daha düşük sıcaklıkta gerçekleştirilir. ıslanamayan malzemelerin karıştırma hareketi ile ıslanabilirliği artar.
- Yarı katı durumda daha düşük basınçla kusursuz parçalar üretilebilmekte ve katı alaşım partiküllerin varlığıyla çökelti, yüzme ve yığılma keza önlenmektedir.
- Büyük boyutlu çubuklar üretilebilir.

Elyaf matris çifti uygun seçilirse tekrar eritilerek döküm elde edilebilmektedir. Sıvı faz prosesinde oldukça ilerleme kaydedilmiş olmasına karşı bu metodun olumsuz yönleri ise şöyle sıralanabilir:

- Elyaf arasındaki kalan boşluklar tamamen yok edilemeyebilir.

- Yarı katı metalin karıştırılması sırasında, yani çamur halinde elyafların birbirine teması, üretilecek mamulün özelliğini olumsuz etkileyebilmektedir.
- Sıvı ve parçacık takviye arasındaki temas zamanı uzun olursa birbirini etkileyebilirler. Bundan dolayı seçilecek takviye elemanları kararlı olmalı veya takviye parçacıklar kaplanmalıdır.
- Mekanik karıştırma sırasında seramik parçacıkların topaklanması veya çökmesi gözlemlenmektedir.
- Metal fazda ikincil fazların ayrılması oluşmaktadır.
- Aşırı ara yüzey reaksiyonları oluşabilmektedir
- Mekanik hareketlilik sırasında seramik parçacıkların kırılması gibi çeşitli zorlukları mevcuttur.
- Parçacıkların dağılımı ve karıştırma işlemi dahil birçok faktöre bağlıdır.

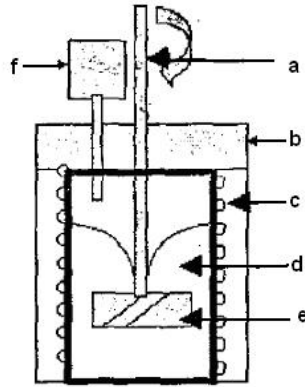
Şekil 2.5'te erimiş metal karıştırmasında kullanılan düzenek görülmektedir.



Şekil 2.5. Erimiş Metal Karıştırılması yöntemi

a) Dia Motor, b) Pervane mili, c) Yatak, d) Güç Kaynağı, e) Suyla soğutulan grafit kalıp, f) Destek, g) Yalıtıcı, h) Suyla soğutulan paslanmaz kalıp,

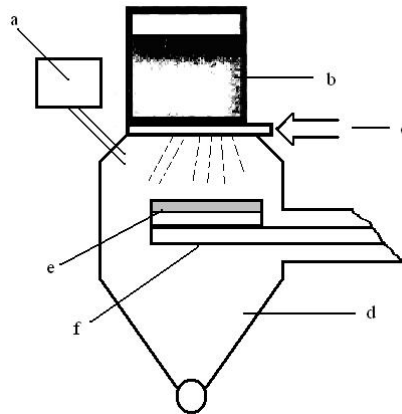
Yukarıda açıklanan tüm bu faktörler alaşım ve takviye elemanı sistemine göre değişiklik göstermektedir. Kompozit karışımın hazırlanması, alaşım ve takviye sisteminin ıslatma açısına bağlı olduğundan prosesin başarısında sistemin ıslatma açısı etkili olmaktadır. Karıştırma döküm prosesi daha detaylı ve şematik olarak Şekil 2.6'da gösterilmiştir. Sıvı karıştırma metodu ile yapılan bazı çalışmalarda alüminyum folyo içerisindeki takviye malzeme sıvı yüzeyinde belirli bir süre bekletildikten sonra karıştırma işlemi ile kompozit yapının oluşması sağlanmıştır. Bunun dışında elektromanyetik etki ile sıvı içerisinde oluşturulan dönme hareketi yardımıyla takviye ilave çalışmaları gerçekleştirilmektedir (3).



Şekil 2.6. Döküm karıştırma yöntemi

a) Mil, b) Kapak, c) Isıtıcı eleman, d) Sıvı, e) Karıştırıcı uç, f) Takviye

Osprey metodu: Bu metoddaki takviye parçacıkları, inert gaz jeti ile birlikte atomize edilecek olan akan sıvı alaşım içerisine verilmektedir. püskürtülen karışım, takviye edilmiş metal matris kütük şeklinde bir alt katman üzerinde toplanmaktadır. Birikim alt katmanı hareketli olduğundan hıza göre katman kalınlığı belirlenmektedir (3).



Şekil 2.7. Osprey Metodu

a) Seramik Enjeksiyon, b) Sıvı metal, c) Atomizasyon gazı, d) Sprey Haznesi, e) toplayıcı, f) Toplayıcı alt katman

Süreksiz takviye kullanılarak üretilen kompozitlere ikincil işlemlerin uygulanması oldukça yaygındır. Bunlara birkaç örnek aşağıda verilmiştir.

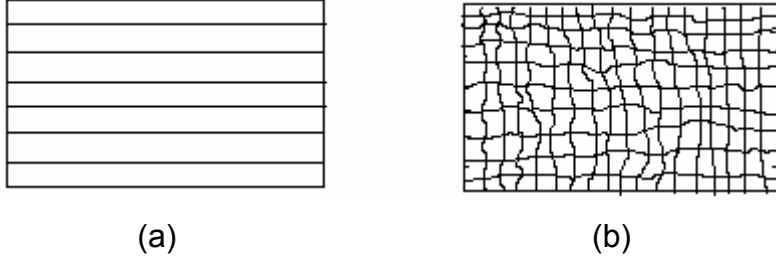
Şekillendirme: Kıl kristal veya partikül takviyeli üretilen metal matrisli kompozitler genel olarak ikincil bir şekillendirme işleminin yapılması için uygundur. Bu durum malzeme için önemli üstünlükler sağlar. Dövme, silindirme, ekstruzyon, kenarları eğmek ve bükme gibi işlemler bu malzemelerde uygulanabilmektedir.

Makinelerle işleme: Kıl kristal veya partikül takviyeli üretilen metal matrisli kompozitler üzerinde standart makinelerle istenilen çalışmalar genel olarak yapılabilmektedir. Delme, çekiçle vurarak şeklini değiştirme, kıvrım, keserek şekil vermek gibi işlemlere uygundur. Diğer taraftan standart makinelerle yüksek hızlarda çalışıldığında aşındırıcı etki gösterirler.

Birleştirme: Kıl kristal veya partikül takviyeli üretilen metal matrisli kompozitler genel olarak gaz-metal veya tungsten ark kaynaklama teknikleriyle kaynaklanabilmektedirler. Ancak, yapılan kaynak sırasında aşırı ısınmaya gidilmesi bozulma reaksiyonlarına yol açabilmektedir (3).

Sürekli takviye elemanı kullanılan prosesler:

Eğilme, çarpma dayanımları düşük ancak boyu yönünde çekme dayanımları çok yüksek olan zayıf yapılı, kırılma liflerin zayıf olan yönlerinin iyileştirilmesi ve kırılma liflerin giderilmesi amacıyla, bu özellikleri iyileştirecek nitelikte bir matris malzeme ile birleştirilmesi prosesleridir. Şekil 2.8’de görüldüğü üzere lifler düzenli bir dizilim ya da örülmüş bir dizilim halinde kullanılabilirler



Şekil 2.8.Takviye elemanı
a)Düzenli dizilim, b)Örgü dizilim

İnsanların ilk defa lifli kompozitleri nerede ve neden kullandığı kesin bir şekilde bilinmese de, doğal yapılarda bu tip kompozitlere örnekler vardır. Mesela ağaçların yapısına bakıldığında yapısının lignin matris ve lifli selüloz takviyeden oluştuğu görülür. Memeli kemikleri protein-kalsiyum fosfat matris içinde tabakalı şekilde lifli kolajen takviye yapısının birleşmesinden meydana gelir.

Fiber takviyeler çok etkindir. Çünkü çoğu malzeme fiber haldeyken yığın halde olduğundan daha güçlü ve serttir. Bu olgu ilk defa bilimsel olarak, cam çubukların ve cam fiberlerin gerilim gücü ölçümlerini yapan Griffith tarafından 1920 yılında ortaya atılmıştır (3).

Griffith, cam çubukların ve cam fiberlerin değişik çaptaki örneklerinin mukavemetlerini ölçmüştür. Yapılan ölçümler sonunda cam çubukların ve cam fiberlerin daraldıkça güçlerinin arttığını bulmuştur. Ayrıca çok küçük çaplardaki fiberlerin mukavemetinin, atomların çok yakın tabakaları arasındaki teorik kohezif mukavemete eriştiğini gözlerken, büyük çaplar için fiber mukavemetinin yığın cam yapıdaki mukavemete kadar düştüğünü gözlemlemiştir.

Buna benzer bir etki de grafit gibi kristalik yapılarda görülmektedir. Ayrıca, kıl yapıdaki bir kristal polikristalik katıya göre daha düşük bir dislokasyon yoğunluğuna sahiptir. Böylece kıl şeklindeki malzeme aynı malzemenin polikristalik yapısına göre daha güçlüdür (13).

Fiberlerin en üst düzeyde mukavemet ve sertlik sağladığı bilinmektedir. Ancak, malzemenin fiber formunda kullanımının olumsuz yönleri vardır. Mesela bu fiberler boyu yönünde gösterdikleri fiziksel özellikleri diğer yönlerde gösteremezler. Ancak, sürekli bir takviye elemanı olarak bir bağlayıcı matris içinde kullanıldıklarında kullanışlı olabilirler.

Sürekli takviye elemanı kullanılarak yapılan kompozit malzemelerin üretilmesinde ulaşılması gereken bir çok nokta vardır. Takviye elemanı olan fiber, istenen hacim oranında hiç kırık olmadan birleşmelidir. Fiberler yüksek sıcaklık reaksiyonlarından en az etkilenmelidir. Ara yüzeydeki bağlanma gücü matris üzerine gelen yükü fiberlere aktarabilecek kabiliyette olmalıdır.

Sürekli takviye elemanları kullanıldığında genel olarak elde edilen kompozit malzeme son ürün olur. Çünkü bu tür kompozit malzemelere ikincil bir işlem yapılması oldukça zordur. Örneğin bükme, ekstrüzyon gibi işlemler fiberlerin kırılmasına neden olabilir. Makinelerle işleme ise tamamen fiberin yapısına bağlıdır. Çoğu fiberler, kesilmek gibi işlemler için özel elmas uçlu ekipmanlara ihtiyaç duyulmakta ve kesme işlemleri küçük boyutlarla kısıtlanmaktadır. Fiberler üzerinde yapılacak uzun kesikler malzemenin özelliklerini koruması bakımından pek istenmemektedir. Bu tür malzemelerin birleştirilmesi kaynak gibi klasik yollarla kolayca yapılabilir.

Sürekli takviye elemanı kullanılarak yapılan kompozit malzemelerin üretilmesi iki ana bölümde yapılır. Birincisi takviye sisteminin hazırlanmasıdır. İkincisi ise takviye sisteminin matris ile birleştirilmesidir. Fiberlerin uzunluğundan dolayı çok farklı dizilim şekilleriyle üretim yapılmaktadır. Aşağıda üretim yöntemlerine birkaç örnek verilmektedir.

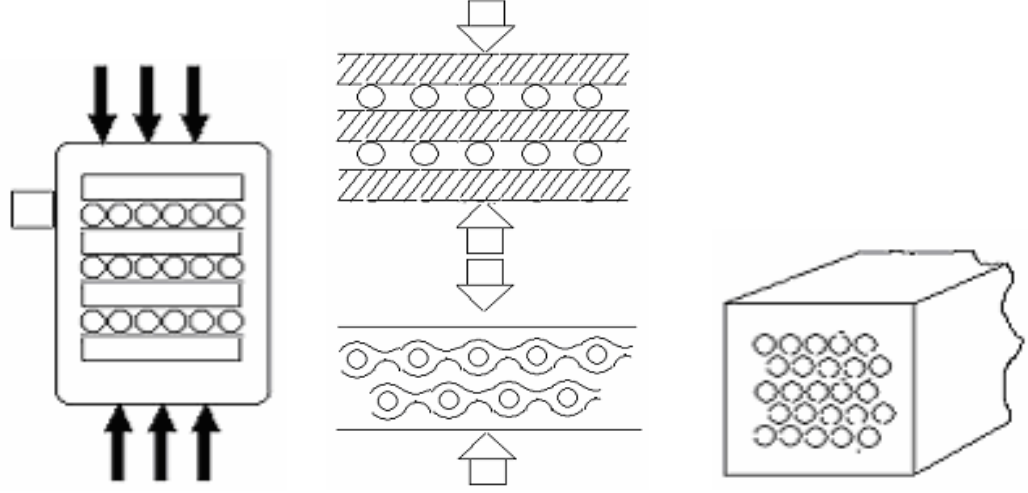
Sıcak presleme: Bu proseste matris ve takviye elemanı basınç ve sıcaklığın etkisiyle birleştirilmektedir. Genelde hidrolik presler kullanılmaktadır. Takviye malzemesinin çapı genelde 0.075 mm olarak kullanılır. Matris ise folyo

formundadır ve kalınlığı 0.05 ile 0.15 arasında değişir. Geçici bir bağlayıcı kullanılması da olanaklıdır. Folyoların arasına fiberler dizilir. Bu dizilme işlemi sırasında oluşturulacak parçanın yapısına göre bir dizilme gerçekleştirilir. Folyolar ve arasına dizilen fiberler üst üste konularak istenilen kalınlığa ulaşılır. Daha sonra yavaşça ısıtılacak olan bir vakum ortamına konur ve geçici bağlayıcının uzaklaştırılması sağlanır. Bağlayıcı uzaklaştırıldıktan sonra preform tamburdan çıkarılır, istenilen ölçüde kesilir ve sıcak pres yapılacak kalıp içine istiflenir. Yüksek basınç ve sıcaklık tatbik edilir. Sıcaklığın etkisiyle eriyen matris malzemesi basıncın etkisiyle fiberlerin arasına dolar. Onları hiçbir boşluk bırakmayacak şekilde çevreler. Böylece kompozit malzeme elde edilmiş olur. Elde edilen malzeme soğumaya bırakılır. Termal uzamalarda uyumsuzluklardan ileri gelen kalıcı gerilmeleri en aza indirmek için komple parça yavaş bir şekilde soğumaya bırakılır. Eğer kullanılan fiberler örülmüş ve şekillendirilmiş ise hiç bir geçici bağlayıcıya gerek kalmadan rahatlıkla matris malzemesiyle birleştirme yapılabilir. Bu örme işlemi özel amaçlar için özel şekillere ihtiyaç duyulduğunda tercih edilen bir metottur. Sıcak presleme yöntemi, Al, Mg ve Ti gibi metal matrisli kompozit panelleri üretmek için başarılı şekilde kullanılır.

Sıcak presleme ile ilgili üretilen kompozitler

- Yüksek dayanıma sahiptir.
- Dayanım/yoğunluk oranı geleneksel malzemelerden 2-4 kat daha yüksektir.
- Yüksek sıcaklıklarda dayanımı muhafaza etmesinin mükemmeldir.
- Yorulma dayanımının iyidir.
- Karışımlar kuralına tam uyum gösterir.

Şekil 2.9'da sıcak presleme mekanizması gösterilmektedir.

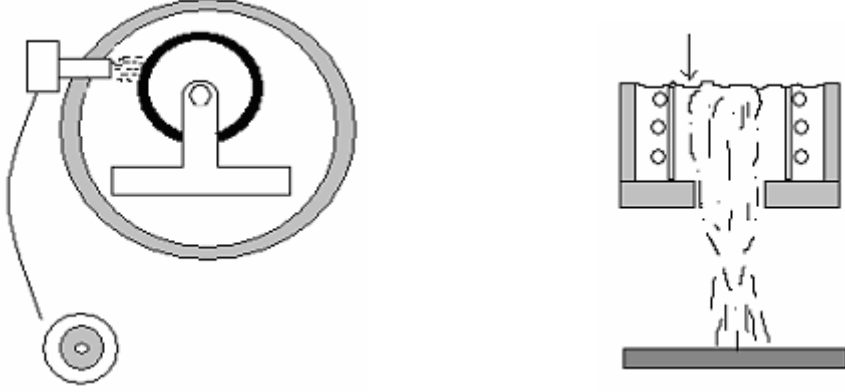


Şekil 2.9. Sıcak presleme mekanizması

Düşük basınç dökümü: Silisyum karbür ve alüminyum ile bir kompozit oluşturulması için kullanılan bir yöntemdir. Mumdan yapılmış bir kalıp üzerine seramikten bir kap hazırlanır. Mum yakılarak seramiğin gözenekliliği yok edilir. Fiberler kabın içine yapıştırılır ve dökümden önce ısıtılır. Erimiş metal kaba dökülür. Vakum yardımıyla birleşme kolaylaştırılır. Katılaşma sağlandıktan sonra seramik kap kırılarak kompozit çıkartılır.

Sıkıştırılmış döküm: sürekli olmayan takviye elemanına uygulanan aynı yöntem sürekli takviye elemanlarına da uygulanabilir.

Metal püskürtmesi: Metalin fiberler üzerine püskürtülmesi tamamen matris malzemesi olarak kullanılacak metalin özellikleri ile ilgilidir. Püskürtme prosesi plazma yöntemi veya kablo arkı yöntemi ile yapılabilir. Plazma püskürtme prosesinde metal toz şeklinde olmalıdır. Plazma doğru akım arkı veya indüksiyonla üretilmelidir. İndüksiyon plazma püskürtme prosesi daha büyük partikül boyutu olan metallerde kullanılmaktadır.



Şekil 2.10. Metal püskürtülmesi mekanizması

Kablo arkı yönteminde matris malzemesinden yapılmış iki kablo elektrot arasında ark oluşturulması ile yapılır. Eriyen metal inert gaz yardımıyla istenilen yüzeye püskürtülmektedir.

Her iki yöntemde de küçük erimiş metal damlacıkları oluşturulup, dönen makaraya sarılmış takviye elemanının üzerine uygulanmaktadır. Erişmiş metal takviye elemanının etrafını tamamen çevreledikten sonra katılaşıp. Oluşturulan kompozit amaca göre kesilerek şekillendirilir. Alüminyum ve titanyum metalleri bu proseste yaygın olarak kullanılmaktadır.

Elektrobozulma: Grafit takviyeli ve bakır matrisli kompozit malzeme genelde bu yolla üretilir. Bu yöntem metalin fiber üzerine direkt olarak elektrik yardımıyla kaplanması işlemidir. Kullanılan metalin kalınlığı 0.5 ile 3 μm civarındadır.

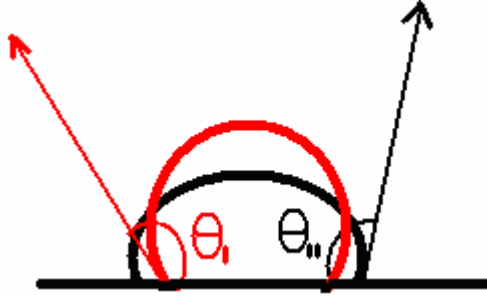
Difüzyon bağlama ve vakumda presleme: Bu metotla birleştirme, yüksek basınç ve sıcaklıkta yapılır. Bor, silisyum karbür, alüminyum oksit, karbon gibi tek filamentli elyaf ya da elyaf demetleri ile alüminyum ve titanyum gibi matris malzemeleri tabakalar halinde kullanılarak takviyeli kompozit malzemeler üretilir.

Bu teknikte ilk olarak, levha şeklinde metal veya metal alaşımları ile elyaf şeklinde takviye elemanları etkili yayılma sağlamak için kimyasal yüzey muamelesine tabi tutulmaktadır. Sonra elyaflar önceden belirlenen yönlerde, açılarda ve istenilen aralıklarda metal tabakalar üzerine düzenlenir. Levha halinde hazırlanan bu malzemeler metal bir kaba yerleştirilerek sızdırmazlık sağlanır ve vakuma alınır.

Daha sonra belirli sıcaklıkta genelde erime sıcaklığına yakın bir sıcaklıkta ısıtılarak difüzyon ile birleştirmenin gerçekleşmesi için preslenir veya haddelenir. Ancak bu işlemde metal levhalar ile elyaf yüzeylerinin çok temiz ve oksitsiz olması gerekir. Aksi halde ara yüzeyde arzulanan bir difüzyon bağı oluşturulamaz. Çünkü kompozitin dayanımı bu oluşacak difüzyon bağına bağlıdır. Aynı işlemde silindirik parçalar için termal iletkenliği ile iyi olan metal tambur seçilerek üzerine değişik elyaflar sarılabilir. Bu matris veya elyaf üzerine plazma püskürtme veya diğer kaplama yöntemi uygulanır. Daha sonra da ya sıcak izostatik veya soğuk izostatik presleme ile uygun sıcaklık veya basınçta birleştirme sağlanabilir. Bu birleştirmeden sonra ikinci bir işlem olarak kesme yapılır. Ancak, vakum altında birleştirmede daha düşük sıcaklık gerektirdiğinden diğer metodlardan daha etkili olmaktadır. Fakat bu teknikte uygulanan sıcaklık, basınç ve bekletme süresi kompozit sisteme göre değişmekle beraber etkili bir yayılma için optimize edilmesi gerekir. Bu tekniğin olumsuz yönü ise pahalı oluşudur.

2.2.2. Metal-seramik kompozitlerde metal-seramik ara yüzeyinin incelenmesi

Bir kompozit malzemenin özelliklerini etkileyen en önemli şey takviye malzemesi ile matris arasındaki etkileşim yüzeyinin durumudur. Ara yüzeyde meydana gelen bağların mukavemetli olması başarılı bir kompozit malzeme elde edilmesin sağlar.



Şekil 2.11. Temas açısı (θ)

Sıvı metalin gözenekli takviyeye infiltre olmasının yani ıslatmasının ölçüsü olarak temas açısı kullanılabilir. Daha küçük θ_{II} açısı daha iyi ıslatmayı, daha büyük θ_I açısı ise daha kötü ıslatmayı gösterir. İdeal bir ıslatma elde edilmesi için temas açısı θ 'nın sıfıra yakın olması gerekmektedir. Çoğunlukla büyük temas açıları nedeniyle seramiğin metal tarafından ıslatılması sağlanamayabilir. Böyle durumlarda matris malzeme içine bazı alaşımlar katılarak yüzey gerilim enerjisi azaltılabilir. Yüzey gerilim enerjisinin azalması θ açısının küçülmesine neden olur. Bu durum ıslatılabilirliğin artması anlamına gelir. Mesela alüminyum matrise katılan lityumun alümina-alüminyum sisteminde ıslatabilirliğin artışına yol açtığı gözlemlenmiştir (10). Islatabilirliğe kimyasal, mekanik, termal ve yapısal birçok faktör etki edebilir.

B. SRINIVASA ve arkadaşlarının yaptığı Al-Mg alaşımının Al_2O_3 takviyesi ile basınçsız infiltrasyon (sızma) yöntemiyle birleştirilmesi çalışmasında ayrıca, Mg un infiltrasyona etkisi incelenmiştir. Mg infiltrasyon başlangıcında ve infiltrasyon süresi içinde etkilerini gösterir. İnfiltrasyondan önce yüzeyde yüksek miktarda oluşan MgO yapısı infiltrasyonu tetikler niteliktedir. Saf alüminyum ile yapılan deneylerde infiltrasyon sağlanamamıştır. Etkin bir infiltrasyonda alaşımdaki Mg'un kütlece %2.7 olduğu belirlenmiştir. Bu durumun Mg'un doğal olarak Alüminyumun yüzeyindeki Al_2O_3 yapısını yok ederek erimiş metal ile takviyenin etkileşmesini sağladığından dolayı gerçekleştiği tespit edilmiştir. İnfiltrasyon süreci içinde ise ortamda bulunan

O₂'i tutarak infiltrasyonu engelleyecek bir oksit yapısının oluşmasını engellemektedir (8).

Metal-seramik kompozit malzemelerin ara yüzeyindeki etkileşimi kötü yönde etkileyecek ve kompozit malzemenin özelliklerini bozacak durumlar vardır. Bu durumlara örnek vermek gerekirse; mesela, seramik takviye iyonik bağ yaparken matris malzemesi kovalent bağ yapıyorsa, matris ve takviye malzemesinin kristal yapıları farklıysa, matris ve takviye malzemesinin elastik modülleri farklılık gösteriyorsa ve ara yüzeyde bir termodinamik denge yoksa ve reaksiyon olma ihtimali varsa kompozit malzemenin ara yüzeyinde bozulmalar meydana gelmesi olasıdır.

Metal matrisli kompozit malzemelerin ara yüzeyindeki bağlanma değişik şekilde gerçekleşebilir.

Kristalografik bağlanma: Kristalografik terimi, kompozit malzemedeki ara yüzeyin birbirini tutmayan şekilde olması ve yüksek enerjili bir etkileşimin olması durumu için kullanılır. Bu durumda boşluklara etkin bir batma gerçekleşir. Hızlı difüzyon alanları oluşur. Ayrımlar, heterojen çökmeler oluşur. Bunlara genelde ötektik kompozitler denir. NiAl matrisli krom kablolar bunlara bir örnektir.

Mekanik bağlanma: Matrise uygulanan yükün takviyeye aktarılması bir mekanik bağlanma ile sağlanabilir. Literatürde bu tür bağlar için alüminyum matrisli tungsten filament takviyeli kompozit, Al₂O₃ / Al sistemi, niobium-titanyum filament takviyeli bakır matrisli kompozit gibi örnekler verilebilir. Ara yüzeyde hiçbir kimyasal reaksiyon oluşmamakta olup, tamamen bir mekanik bağlanma ile matris ve takviye elemanı birbirine bağlanmıştır.

Kimyasal bağlanma: Seramik-metal kompozitler genelde yüksek sıcaklıklarda üretilmektedir. Bu durum kimyasal reaksiyonların oluşması için elverişli bir durum oluşturur. Çoğu seramik-metal ara yüzeyi termodinamik

açıdan dengesiz sistemlerdir. Dengesizlik, fiber ile matris arasında sürekli bir reaksiyon oluşma potansiyelinin var olduğu anlamına gelmektedir. Bu potansiyel yeterli enerjinin varlığında hemen bir reaksiyon oluşacağı anlamına gelmektedir.

Ara yüzeyde oluşacak bir reaksiyon sonucunda reaksiyon tabakası seramik takviyenin daha çok veya daha az düzenli olmasını sağlar yada takviye elemanı etrafında hızlı bir çökelmeyle iğne tipinde veya partikül şeklinde ürünler oluşturur. Yani oluşan kimyasal reaksiyonlar etkin bir bağlanmaya neden olabileceği gibi bağlanmayı tamamen sonlandırabilir. Bir örnek vermek gerekirse; karbon fiberler erimiş alüminyumla etkileştiğinde safsızlıklardan gelen Ti ve B birleşerek TiB_2 , $TiCl_2$, $TiCl_3$, ve $ZnCl_3$ ürünlerinin oluşmasını sağlar. Bu durum ıslanmayı azaltıcı bir etki gösterir. İyi bir ıslatmanın sağlanması için ilk önce $1000^{\circ}C$ 'nin üzerine çıkılıp, daha sonra $500^{\circ}C$ ye inildiğinde karbon fiberler ile alüminyum arasında bir reaksiyon oluşmakta olup, oluşan Al_4C_3 sayesinde iyi bir bağlanma meydana gelmektedir (14).

Matris ve seramik arasında oluşan ara yüzey, metal matrisli kompozitlerin deformasyonu süresince yük transferini ve çatlak direncini sağlayan bölge olduğu için önemlidir. Metal-seramik ara yüzeyi ile ilgili çalışmalar 1960'lı yıllara dayanmaktadır. Metal-seramik kompozitlerin malzemelerinde ara yüzey mukavemetinin artırılması için;

- Metal matris-seramik takviye malzemesi arasındaki ıslatılabilirliğin artırılması,
- Metal matris-seramik takviye malzemesi arasındaki kimyasal reaksiyonun kontrolü,
- Metal matris-seramik takviye malzemesi ara yüzeyindeki oksit oluşumunun en aza indirilmesi gerekmektedir.

Sıvı metal-seramik sistemlerinde, seramik takviye malzemesinin saf metaller tarafından ıslatılabilirliği düşüktür. Örneğin 950°C 'nin altında SiC, B₄C ve Al₂O₃ partiküllerinin saf alüminyum tarafından ıslatılabilirliği düşüktür. Seramik partiküllerin sıvı metal tarafından ıslatılabilirliğini artırmak için temas açısının düşürülmesi gerekmektedir. Pratikte ıslatılabilirliğin artırılması yani temas açısının düşürülmesi;

- Seramik partiküllere metalik kaplamaların uygulanması,
- Reaktif metallerle metal matrisin alaşımlandırılması,
- Seramik partiküllere ısı işlem uygulanması ile sağlanır.

Seramik takviye malzemesinin nikel ve bakır gibi elementlerle kaplanması, seramikle sıvı metal etkileşimini, metal-metal etkileşimine çevirir ve yüzeyi kaplanmış partiküller sıvı alaşım tarafından daha kolay ıslatılabilir.

Matris alaşımına, Li, Mg, Ca, Ti, Zr ve P gibi reaktif elementlerin eklenmesi metal-seramik sisteminin ıslatma karakteristiğini artırmaktadır. Alüminyum alaşımında seramik partiküllerin sıvı metal tarafından ıslatılması, matris alaşımının oksijene karşı ilgisi yüksek olan elementlerin (Li, Mg) eklenmesiyle sağlanmaktadır. Seramik partiküllere ısı işlem uygulanması, seramik partiküllerin yüzeyinde absorbe olmuş gazların uzaklaştırılmasını sağladığı için seramik takviye malzemesinin sıvı metal tarafından ıslatılabilirliğini artırmaktadır. Ortamda oksijenin varlığı metal yüzeyinde kararlı oksitlerin oluşmasına neden olur.

Sıvı metal-seramik partikül ara yüzeyinde oksitlerin varlığı, ara yüzeydeki etkileşimi azaltır. Bu durumda, sıvı metalin seramik partikülleri ıslatma özelliğini düşürmektedir.

Ayrıca, yapılan çalışmalarda elde edilen bir sonuç sermetlerin büyük bir üstünlüğünü ortaya koymuştur. Bilindiği üzere matris malzemesi olan

metaller esnek yapılı olmaları nedeniyle kompozit malzemeye uygulanan baskılar sonucu plastik deformasyon gösterir. Bu davranış nedeniyle kompozit malzeme üzerinde oluşan çatlakların büyümesi engellenir. Bu yetenek malzemenin dayanımını arttıran ve sermetlere has önemli bir özelliktir (6,15).

2.3. Spinel oksitler:

Spinel oksitler hakkında genel bilgi vermek gerekirse, spinel oksitler birbirine çok benzeyen yapılara sahip oksitler grubudur. Tipik rengi kırmızı olmakla birlikte pembe ve yakut rengine de sahip olan bu taşların rapor edilen 100'e yakın çeşidi vardır. Fakat bunlardan yalnızca birkaç tanesi sıklıkla kullanılmaktadır.

Çalışmada üretilen kompozit malzemedeki takviye elemanı olarak kullanılan ve ticari adı spinel oksit olan malzeme, genel yapısı ($RO.M_2O_3$) olarak belirtilen spinellerden Magnezyum Alumina Spinelidir. Kimyasal formülü $MgAl_2O_4$ olan bu spinelin seçilmesinin ana nedeni yüksek erime noktası, düşük yoğunluğu ve ucuzluğudur. Şekil 2.12'de $MgAl_2O_4$ spinelin görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 2.12. Spineloksit 1

$MgAl_2O_4$ aynı zamanda yapısından kaynaklanan güzel görüntüsü ile mücevher yapımında da kullanılan bir malzemedir. Tabi mücevher yapımında kullanılan genelde kırmızı renkte ve kristal yapıdaki parçacıklardır. Bu

parçacıklardan bir örnek aşağıda verilmektedir. Bu şekilde mermer üzerinde kırmızı renkli bir spinel görülmektedir.



Şekil 2.13. Spineloksit 2

Spinellerin doğada yüzlerce çeşidi bulunmakta olup, yaygın kullanım alanları vardır. Endüstride bunlardan en yaygın olarak kullanılanlardan birkaç örnek ve bu malzemelerin yoğunlukları ile sertlik bilgileri aşağıdaki verilmektedir.

1. Kromit (FeCr_2O_4)



Şekil 2.14. Kromit

Sertlik : 5,5 Moh's sertliği

Yoğunluk: 4,5-4,8 (ortalama metalik mineraller kadar.)

2.Franklinit $(\text{Zn, Fe, Mn})(\text{Fe, Mn})_2\text{O}_4$ 

Şekil 2.15. Franklinit

Sertlik : 6 Moh's sertliği

Yoğunluk: 5-5,2 (ortalama metalik mineraller kadar.)

3.Gahnit ZnAl_2O_4 

Şekil 2.16. Gahnit

Sertlik : 7,5-8 Moh's sertliği

Yoğunluk: 4,5-4,6 (ortalama metalik mineraller kadar.)

4. Magnezyokromit MgCr_2O_4



Şekil 2.17. Magnezyokromit

Sertlik : 4,2 Moh's sertliği

Yoğunluk: 5,5 (ortalama metalik minerallerden ağır.)

5. Magnetit Fe_3O_4



Şekil 2.18. Magnetit

Sertlik : 5,5-6,5 Moh's sertliği

Yoğunluk: 5,1 (ortalama metalik mineraller kadar.)

6. Miniyum Pb_3O_4



Şekil 2.19 Miniyum

Sertlik : 2,5-3 Moh's sertliği

Yoğunluk: 8,9-9,2 (ortalama metalik minerallerden fazla.)

Yukarıda özellikleri verilen 6 adet spinelin sertliği ve yoğunluğuna bakıldığında deneylerde kullanılan magnezyum alumina spinelin ($MgAl_2O_4$) sertliğinin 7,5-8,0 Moh's sertliği ve yoğunluğunun 3,6-4,0 olması ve aynı zamanda alümina spinelin diğerlerine göre çok ucuz olması nedeniyle üretilen kompozit malzeme için takviye malzemesi olarak kullanılmasına karar verilmiştir.

$MgAl_2O_4$ spinelin fiziksel özellikleri çizelge 2.2. ile verilmektedir.

Çizelge 2.2. Spinelin fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellikler	
Renk	Genelde kırmızıdır. Bunun dışında mavi, yeşil ve kahverengi olabilir.
Yoğunluk	3,61 g/cm ³
Sertlik	8 Moh's sertliği (topaz) 10 üzerinden
Kırılma özelliği	Düz olmayan kırıklar oluşmaktadır.
Transparanlık	Opağa yakın
Parlaklık	Cam gibi
Toz halindeki rengi (pülverize edildiğinde)	Gri beyaz
Erime sıcaklığı	1950 °C
Kristal yapısı	 Kübik yapılı

Ayrıca, $MgAl_2O_4$ spinelin gözenekli yapıda bir takviye elemanı oluşturduğu ve erimiş metalin infiltrasyonu için kullanışlı bir madde olduğu bilinmektedir (16).

Yapılan bir çalışmada $\alpha-Al_2O_3$ partiküllerinin Si veya Al metalleri ile çevrelendiği ve bir yapı oluşturduğu belirlenmiştir (8). Bu bilgiden yola çıkarak çinko metali ile benzer sonuçlar alınabileceği öngörüsü yapılmış ve bu öngörü yapılan deneyler sonucunda doğrulanmıştır.

2.3.1. $MgAl_2O_4$ spinelin uygulama alanları

- $MgAl_2O_4$ Spinel çelik üretiminde kullanılan refrakterlerin dayanım özelliklerini geliştirmek amacıyla kullanılır.

- $MgAl_2O_4$ Spinel yüksek sıcaklık çalışmalarında kullanılan tuğlalarda sıcaklık sonucu oluşan çatlakların kararlı olmasını sağlayan ve çatlakların büyümelerini engelleyen bir yapısı olduğundan bu tuğlalarda yüksek sıcaklıklarda gerilim direncini sağlamak için gerekli dayanıklılık özelliğini temin eder. Bu nedenle $MgAl_2O_4$ Spinel içeren çimento fırınlarında kullanılır.
- $MgAl_2O_4$ Spinel SO_3 ve alkali sülfata karşı diğer refrakterlere nazaran daha dirençli olması nedeniyle cam fırını rejeneratörlerinin orta sıcaklık bölgesinde kullanılmaktadır. Bu bölgede çoğunlukla fırına beslenen karışımın gazlarla uçan bileşenleri ve refrakter astarları aşındıran yakıtların yanma ürünleri bulunur. Kükürt trioksit korozyonu kadar, alkali sülfatlar ve oksitlerin etkileride önemlidir.

2.3.2. $MgAl_2O_4$ spinelin üretim prosesleri

MA-Spinelin üretimi için üç yöntem kullanılmaktadır. Sinter spinel, eritme spinel, pişirme ile spinel oluşumu şeklindedir.

İlk iki yöntem üretim maliyetleri bakımından ekonomik olmayan yöntemlerdir. Spinel sinterlenmiş hammaddelerin harmanlandıktan sonra yüksek sıcaklıkta sinterlenmesiyle spinel yapının sentezlenmesi esasına dayanır. Çift sinterleme işleminden dolayı ekonomik olmayan bir yöntemdir. Eritme spinelde hammaddeler eritilip istenilen bileşime uygun oranlarda karıştırılması esasına dayandırılmaktadır. Al_2O_3 ve MgO nün ergime sıcaklıkları çok yüksek olduğundan bu da ekonomik olmayan bir yöntemdir. Pişirme ile spinel oluşturma yönteminde tane boyut dağılımı sinter bileşimine göre ayarlanmış olan hammaddeler harmanlandıktan sonra uygulama yerinde sinterleşmesi ile spinel oluşturma esasına dayanır. Alüminası zengin spinel refrakterler $Al_2O_3 > \%72$, manyeziti zengin spinel refrakterler $MgO < \%28$ ve $\%72 Al_2O_3 - \%28 MgO$ ise stokiometrik spinel bileşimine sahip refrakterler vardır. Bu farklı bileşimler uygulamalarda önemli rol oynamaktadır.

2.4. Çinko metali

Çalışmada kullanılacak metal olarak çinko metali seçilmiştir. Bu metalin seçilmesinin nedeni korozyona karşı olan doğal direncidir. Çinko metali çatı yalıtımında, deniz kenarındaki yapılarda otomobillerde ve gemilerde atmosferik, su ve toprak korozyonuna karşı yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, erime noktası çok düşük olan bu metal 420°C de eriyip 907°C de kaynamaktadır. Bu özelliğinden dolayı infiltrasyon işleminde kullanılması için çok az bir enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Aynı zamanda yumuşak kolay işlenebilir ve ucuz bir metaldir.



Şekil 2.20. Çinko metali

Çinko ilk olarak M.Ö. 2000 yıllarında Çinliler ve Romalılar tarafından alaşım materyali olarak, prinç yapımında kullanılmıştır. Bilinen en eski çinko arkeolojik kalıntı Romanya Transilvanya'da Doroseh şehrindeki prehistorik Dacian yerleşim merkezinde bulunmuştur. Bu heykel parçası üzerinde yapılan analizler sonucunda, % 87,5 Zn, % 11,5 Pb ve % 1 oranında Fe içerdiği tespit edilmiştir.

Günümüzde çinko çelik, alüminyum ve bakırdan sonra dünyada miktar olarak yıllık tüketimi en fazla olan metaldir. Kimyasal yönden aktif olması ve diğer metallerle kolayca alaşım yapabilmesi nedeniyle çinko, endüstride birçok alaşımın ve bileşiğin üretiminde kullanılmaktadır. Güçlü elektropozitif

özelliğinden dolayı diğer metallerin özellikle demir-çelik ürünlerinin aşınmaya karşı korunmasında kullanılmaktadır. Çinko metal ana ürün olarak, galvanizleme, pres döküm alaşımları, pirinç ve bronz alaşımları, çinko oksit ve haddelenmiş çinko alaşımlarında kullanılır.

Birçok yeni işletmenin açılması ve bazı işletmelerin kapasite artışlarına karşın işlemlerindeki darboğazlar nedeniyle, pazara sunulan metal çinko miktarında yeterince artış gerçekleşmemektedir. International Lead and Zinc Study Groups verilerine göre, 1995 yılında her biri 1×10^3 ton/yıl ve daha fazla rafine çinko üreten 70 ülke bulunmaktadır. Bunların içinde 100×10^3 ton'dan fazla çinko tüketen 17 ülke bulunmaktadır. Bunlardan en büyük 10 un toplam tüketimi, Dünya tüketiminin %65'ini oluşturmaktadır.

Toplam çinko tüketiminin yaklaşık %50'si galvanizli çelik, %20'si pirinç, %15'i döküm, %8'i çinko oksit üretiminde, %7 si yarı mamul ürünlerde kullanılmaktadır. Ekotoksik etkisi nedeniyle çinko, bazı alanlarda sınırlı tüketilmektedir. Günümüzde, özellikle otomotiv sektöründe, çinko yerine alüminyum, magnezyum ve plastikler, kullanılmaktadır (17).

2.4.1. Çinkonun kullanım alanları

Çinko, bileşiklerinde +2 değerlikli olarak bulunur. Oluşturduğu bileşiklerde kovalent bağ yapar. Amonyak, amin, siyanür ve halojenler ile kompleks bileşikler oluşturur. Mineral asitlerinde H_2 çıkışıyla çözünür. Ancak nitrik asitte reaksiyonunda NO_x gazı çıkışı olur. Dolayısıyla çinko özellikle toz halde çok etkili bir redükleyicidir. Normal sıcaklıkta havada bırakılan metalin yüzeyinde koruyucu bir tabaka oluştuğundan bu sıcaklıkta halojenlere bile dayanıklıdır. HCl gazı çinkoyu çok çabuk koroze eder. Toz çinkonun reaksiyona girme kabiliyeti oldukça fazladır. Fakat yanıcı değildir. Yüksek sıcaklıkta oksijen, klor ve kükürt gibi elementlerle çok hızlı reaksiyona girer. Civa ile sert bir amalgam meydana getirir.

Klorür ve sülfat tuzları suda yüksek miktarda çözünür. Buna karşılık çinko oksit, silikat, fosfat ve organik kompleksleri suda hiç çözünmez ya da çok yavaş çözünürler. Bileşikleri arasında çinko oksidin teknik ve ekonomik değeri vardır. Organik bileşikleri arasında çinko sabunu en önemli kullanıma sahiptir.

Çinko en çok baz metallerin üzerini, galvanizleme olarak isimlendirilen kaplamada, basınçlı dökümde kullanılan alaşımlarda, boya sanayiinde pigment olarak ve çeşitli çinko ürünlerinin yapımında kullanılmaktadır.

Baz metaller özellikle demir ve çelik, korozyona karşı korunmak için çinko ile kaplanmaktadır. Dünyada üretilen çinkonun büyük bir bölümü bu şekilde tüketilmektedir. Bunun en önemli nedenleri çinkonun normal ayrışma olaylarına karşı dirençli , demiri koruma özelliği ve ekonomik oluşudur.

Çinko kaplamaları dört şekilde yapılmaktadır:

- Sıcak banyo ile galvanizasyon,
- Elektroliz ile kaplama,
- Sherardiznig ile kaplama,
- Püskürtme veya boyama ile kaplama.

Günümüzde çinko metali birincil ve ikincil çinko olarak iki tipte üretilmektedir. Birincil çinkonun kaynağı cevherdir. İkincil çinkonun kaynağını ise galvaniz drosu, pres döküm artıkları, köpük veya çinko külü, çinko oksit tozu, kimyasal artıklar, alaşım tozları, klişe artıkları, çinko kırıntıları ve diğer hurda çinko malzeme artıkları oluşturmaktadır.

Galvanizleme, pres döküm alaşımları, pirinç ve bronz alaşımları, çinko oksit ve haddelenmiş çinko alaşımları galvaniz sanayii çinkonun miktar olarak en çok kullanıldığı alandır. İkinci olarak da pres döküm alaşımlarının üretiminde kullanılmaktadır.

Çinko alaşımları; çinko bazlı alaşımlar ve çinkonun katkı elementi olduğu alaşımlar olarak ikiye ayrılırlar. Çinko bazlı alaşımlar katkı elementi alüminyum, bakır, magnezyum, kurşun ve kadmiyum olan çeşitli çinko alaşımlarıdır. Bu alaşımlardan en çok kullanılanların ticari isimleri Zamak-3, Zamak-5 ve Pil alaşımlarıdır.

Zamak-3 : %3,9-4,3 Al, %0,03-0,06 Mg içerir.

Zamak-5 : %3,9-4,3 Al, %0,03-0,06 Mg, %0,75-1,25 Cu içerir.

Pil Alaşımı : %0,6-1,0 Pb, %0,04-0,07 Cd içerir.

Gelişen teknolojiye uygun olarak son zamanlarda, çinko metali bileşik malzemelerin üretiminde alaşım girdisi olarak da önemli bir yer almaktadır. Özellikle uzay sanayi ve robotların geliştirilmesinde, otomatik-kontrol sistemlerinde kullanım sahası genişlemektedir. Çinkonun katkı elementi olduğu alaşımlardan en önemlileri metal pirinçler ve bronzlardır. Pirinçler değişik standartlarda %40-50 Zn, bronzlar ise %4-5 Zn içermektedirler. Çinko yarı ürünleri, üretim yöntemleri ve kullanılış alanlarına göre aşağıdaki alt gruplara ayrılmaktadır:

1. Çinko metal.
2. Çinko yassı ürünler.
 - 2.1. Pil yassı pulu.
 - 2.2. İnşaat levhası.
 - 2.3. Diğer yassı ürünler.
3. Zamak alaşımları.
4. Pirinç alaşımları.

5. Yatak alaşımları.

6. Diğer uzun ürünler.

7. Çinko oksit.

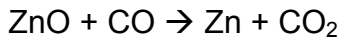
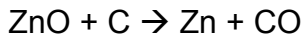
8. Diğer çinko bileşikleri.

Galvanize edilen maddeler başlıca tabaka, şerit boru, tüp, tel, halat, yapısal şekiller ve çok sayıda madeni eşyalardır. Galvanize edilen maddeler en fazla yapı işlerinde, tarımda, tarım eşyalarının yapımında ve otomobil endüstrisinde kullanılmaktadır. Galvanize demir ve çelik ürünlerinin özel olarak kullanıldığı çok geniş uygulama alanı bulunmaktadır. Bunlar arasında tavan ve duvar kaplamaları, tel ve tel ürünleri, su tankları, boru, kova ve tenekeler, çivi, vida sürgü, menteşe sayılabilir.

Deniz altındaki veya diğer kloritçe zengin eriyikler içindeki yapıların korozyondan korunmasında da çinko kaplamalar kullanılmaktadır. Boru hatları, depo tankları, çelik dalgakıranlar, köprüler, iskeleler bu çeşit yapılardır.

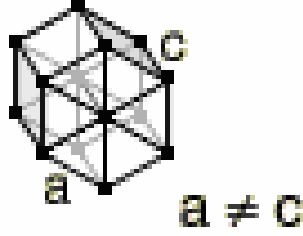
2.4.2. Çinko metalinin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Zn sembolü ile ifade edilen çinko metali saf olarak çinko oksidin karbon veya karbon monoksit ile indirgenmesi ile elde edilir.



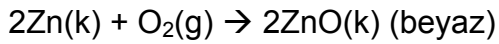
Erime noktasının üzerinde tutularak buharlaşan çinko soğutularak sıvı halde toplanır. Bu yöntemde kayıp çok olduğu için son zamanlarda ZnSO_4 bileşiğinin elektrolizi ile saf olarak eldesi tercih edilmektedir.

Çizelge 2.3. Çinkonun fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellikleri	
Yoğunluğu:	7,140 g/mL
Erime noktası:	419,53 °C (692,68K)
Kaynama noktası:	907°C (1180K)
Molar hacmi:	9,16 ml/mol
Mineral Sertliği:	2,5 Moh's Sertliği
Kristal kafes yapısı:	 hcp (hexagonal close-packed)
Atom numarası:	30
Atom ağırlığı:	65,409 gr/mol

Çinkonun Hava ile Reaksiyonu

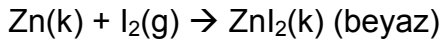
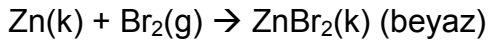
Çinko metalinin yüzeyi havada ince bir tabaka oksit veya karbonat tabakası ile kaplandığından alt tabakalar korozyona karşı korunur. Bu tabaka nedeni ile yüzey matlaşır. Metal ancak kaynama noktasına kadar ısıtılınca havadaki oksijen ile yanmasıyla çinko(II) oksit oluşturur.



Çinkonun Su ile Reaksiyonu

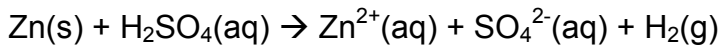
Çinko metalinin yüzeyi hidroksit tabakası ile kaplandığı için su içerisinde çözünmez.

Çinkonun Halojenler ile Reaksiyonu



Çinkonun Asit ile Reaksiyonu

Çinko metali seyreltik sülfürik asit içerisinde çözünerek çözeltide Zn(II) iyonu ve hidrojen gazı üretir. Çözeltide çinko iyonu $(\text{Zn(OH}_2)_6)^{2+}$ kompleksi halinde bulunur.



Çinkonun nitrik asit gibi yükseltgen asitlerle verdiği reaksiyon sonucunda kompleks oluşturması özel şartlar altında gerçekleşir.

Çinkonun Baz ile Reaksiyonu

Çinko metali sulu alkali çözeltiler (KOH) içerisinde çözünerek Zn(OH)_4^{2-} kompleksi oluşturur.

2.5. Uçucu kül

Uçucu kül termik santrallerde baca gazı filtrasyonu sonucunda elde edilen temel yapısını hafif metal oksitlerin oluşturduğu bir endüstriyel atıktır. Fiziksel özellikleri spinellere benzemektedir. Özellikle büyük termik santrallerde çok fazla miktarda elde edilmektedir. Örneğin Japonya'da yıllık 10 milyon ton uçucu kül üretilmektedir (18).

Uçucu kül, hafifliği ve ucuzluğu ile kompozit malzemelerde kullanmak için eşsiz bir kaynaktır. Partikülleri dairesel yapıdadır. Bu yapının yapay olarak üretilmesi çok pahalı bir proses gerektirmektedir (19). Ancak uçucu külün erimiş metal ile nasıl davranacağını ve bir kompozit oluşturup oluşturmayacağını bilmesi büyük önem taşımaktadır. Endüstriyel bir atık için bir kullanım alanının oluşturulması çok faydalı olacaktır. İçeriğinde fazla miktarda aktif halde silis ve alümina bulunmaktadır (20).

2.6. Literatür Araştırması

Literatürde yapılan araştırmada çinko ve $MgAl_2O_4$ spnel kullanılarak üretilen benzer bir seramik-metal kompozit malzemeye rastlanmamıştır. Ancak kullanılan metot bakımından benzer çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca, endüstriyel atıklarla ilgili yapılan çalışmalarda uçucu kül çeşitli hammaddelerle birlikte sıkça kullanılmıştır. Yapılan literatür araştırması sırasında dikkat çeken bazı çalışmalar hakkında özet bilgi aşağıda verilmektedir.

Basıncsız İnfiltrasyon yöntemi ucuzluğu, basitliği ve üstün özellikteki sermetlerin üretilmesi için başarılı bir metot oluşu özellikle Al matrisli sermetlerin üretilmesinde yaygın olarak kullanılmasını sağlamıştır. Yapılan çalışmada da yararlanılan araştırmalar hakkında birkaç örnek aşağıda verilmektedir.

R.Subramanian ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada FeAl-TiC ve FeAl-WC kompozit malzemeleri basınçsız infiltrasyon yöntemiyle üretilmiştir. İnfiltrasyon her iki sistem içinde 1450°C de 1 saat boyunca gerçekleşmiştir. FeAl toz halinde kullanılmıştır. Üretilen malzemelerde 88 Rockwell (A) sertliğine ulaşılmıştır (4).

R. Subramanian ve arkadaşlarının yaptığı bir başka çalışmada ise Ni_3Al -WC kompozit malzemesi yine basınçsız infiltrasyon (sızma) yöntemiyle üretilmiştir. İnfiltrasyon bir önceki çalışmada olduğu gibi 1450°C de 1 saat boyunca bekletilerek gerçekleştirilmiştir (5).

Literatürde Travitzky ve arkadaşlarının yaptığı birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalardan birinde, basınçsız infiltrasyon tekniği ile üretilen $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Cu}$ kompozitinin mekanik özellikleri incelenmiştir. Bu kompozit hazırlanırken bakır alaşımı farklı hacimsel oranlarda alümina preformlarına 1300°C de infiltre edilmiştir. Kullanılan matris malzemesi olan Cu_2O malzemesi aynı bizim çalışmamızda olduğu gibi toz olarak kullanılmıştır (6).

Sıvı Al metal infiltrasyonu ile ilgili literatürde bulunan bir başka çalışma ise N.Altinkok ve arkadaşları tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada alüminyum sülfat, amonyum sülfat ve silisyum karbür tozu su içinde uniform olarak karıştırılır ve fırında uygun sıcaklıkta gözenekli yapıda $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiC}$ seramik keki elde edilir. oluşturulan seramik keki %80 gözenekli bir yapıya sahiptir. Daha sonra oluşturulan seramik keki sıvı Al ile Argon atmosferinde 1200°C 'de ısıtılarak kompozit malzeme oluşumu gerçekleştirilmiştir (7).

B. Srinivasa ve arkadaşlarının yaptığı Al-Mg alaşımının Al_2O_3 takviyesi ile basınçsız infiltrasyon yöntemiyle birleştirilmesi çalışmasında azot atmosferi kullanılmış, 800°C 'de infiltrasyon gerçekleşmiştir. Mg un azot atmosferindeki eser miktarda bulunan oksijen ile reaksiyon MgO yapısını oluşturduğu tespit edilmiştir. Takviye sistemi hazırlanırken alümina bağlayıcı olarak polivinil alkol ile birleştirilmiş ve basınç altında pellet haline getirilmiştir. Daha sonra

ısıtılarak bağlayıcı uzaklaştırılmış ve %40 gözenekliliğe sahip olan takviye elemanı üretilmiştir. Yapılan çalışmada ayrıca, Mg un infiltrasyona etkisi incelenmiştir. Mg infiltrasyon başlangıcında ve infiltrasyon süresi içinde etkilerini gösterir. İnfiltrasyondan önce yüzeyde yüksek miktarda oluşan MgO yapısı infiltrasyonu tetikler niteliktedir. Saf alüminyum ile yapılan deneylerde infiltrasyon sağlanamamıştır. Etkin bir infiltrasyonda alaşımdaki Mg'un kütleye %2,7 olduğu belirlenmiştir. Bu durumun Mg'un doğal olarak alüminyumun yüzeyindeki Al_2O_3 yapısını yok ederek erimiş metal ile takviyenin etkileşmesini arttırdığı tespit edilmiştir. İnfiltrasyon süreci içinde ise ortamda bulunan O_2 'i tutarak infiltrasyonu engelleyecek bir oksit yapısının oluşmasını engellemektedir (8).

Erimiş alüminyumun gözenekli yapıdaki seramik yapıya infiltrasyonu (sızma) üzerine çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bunlardan biri de M. Varuzan ve arkadaşları tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada farklı olan ise seramik takviyenin hazırlanış biçimidir. Bu çalışmada seramik takviye, seramik tozlarının 5 mm çapında 50 cm uzunluğunda quartz tüplerin içine 0,05 gramlık parçalar halinde tüpe konularak 3 er dakika vibrasyona maruz bırakılmışlardır. Katmanlaşmayı önleyen bu proses ile 10 cm'lik bir yükseklikte 35 g seramik biriktirilmiştir. Proses 30 cm'e ulaşana kadar devam ettirilmiştir. Seramik SiC , Si_3N_4 , AlN , Mg_3N_2 , TiO_2 gibi malzemeler kullanılmıştır. İnfiltrasyon quartz tüpün doğrudan argon veya azot atmosferinde erimiş metale daldırılması yoluyla yapılmıştır. Uygulama sıcaklığı 1100-1400 K dir ve bekleme süresi en fazla 1 saattir. İnfiltrasyon tamamlandıktan sonra soğutma çok dikkatli yapılmalıdır. Hızlı soğutma quartz tüpün kırılmasına yol açabilir (9).

Bilen ve arkadaşlarının yaptığı çalışma ise farklı atmosferler altında Al alaşımının $MgAl_2O_4$ spineline infiltrasyonudur. Bu çalışmada magnezyum alümina spinel seçilmesinin nedeni yüksek erime noktası, düşük yoğunluğu ve yüksek oksidasyon direncine sahip olmasıdır. Yapılan incelemelerde, 800-1250 $^{\circ}C$ arasında spinel ($MgAl_2O_4$) ve farklı kompozisyondaki Al alaşımları

arasında reaksiyonların olduğu gözlenmiştir. Bu deneyler hava ve azot ortamında yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda Al metalinin hava ortamında spinele infiltre olmadığı, 900 °C deki azot ortamında ise infiltrasyonun kolay bir şekilde gerçekleştiği ortaya çıkmıştır (10).

Çinko alaşımının matris malzemesi olarak kullanıldığı bir çalışma Can Kurnaz tarafından infiltrasyon tekniği ile yapılmıştır. Takviye malzemesi olarak δ -alümina safil fiberler kullanılmış olup matris olarak Zn-Al bileşiğinden oluşan (ZA-12) alaşımı kullanılmıştır. Takviye malzemesi 0,10, 0,15, 0,20 ve 0,30 hacim oranlarında kullanılmıştır. İnfiltrasyon 1 MPa ve 3 MPa basınç aralığında uygulanarak yüksek basınçlar ile erimiş metal infiltrasyonunun etkinliği artırılmıştır. 1 Mpa civarında eriyen metalin %90 oranında infiltre olduğu ortaya çıkmıştır. Eklenen fiber oranı arttıkça üretilen malzemedeki sertliğin arttığı gözlemlenmiştir. Ancak artan fiber oranı fiberlerin birbirine dokunumunu arttırdığı ve buna bağlı olarak malzemedeki gerilim kuvvetinin azaldığı gözlenmiştir. Yoğunluk ölçümleri ile 3 MPa basınçta kompozitin en az gözenekli olduğu saptanmıştır. Malzemenin üretimi sırasında basıncın artması malzemenin yoğunluğunun daha yüksek olmasını sağlayacak yönde bir etki göstermiştir. Ayrıca, bu çalışma çinko-alümiyum bazlı çalışmalarda basınçsız infiltrasyon yönteminin uygun olduğunu göstermiştir (11).

B.S.S Daniel ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada metal-seramik kompozitlerin üretiminde kullanılan üretim yöntemleri detaylı olarak incelenmiştir. Bu yöntemlerden bir kaçışöyledir (12).

Sıvı- gaz reaksiyonları:

Sermet üretmek için erimiş metal ile gaz bileşenleri direkt olarak etkileşime sokmak ekonomik bir yoldur. Termodinamik olarak dengedeki refrakter malzemeler bu şekilde elde edilebilmektedir. Bu yöntemde demir içermeyen bir metal matris malzemesi olarak seçilir. (Al, Cu, Mg, Ni, Ti) Takviye malzemesi ise karbürler, nitrürler veya bunların bir karışımı olabilir. Reaktif gaz baloncuklar halinde erimiş metale uygulanır ve bir reaksiyon gerçekleşir.

Oluşan ürünler takviye malzemesini oluşturur. Örneğin, Al-Ti veya Al-Si gaz içinde bulunan karbon ile reaksiyona girerek dengede olan SiC veya Al_4C_3 oluşumuna neden olur. Veya Al-Ti azot ile reaksiyon vererek TiN ve AlN oluşturur. Sistemin üstün yönü ürünün son şekline çok yakın bir halde üretilebilmesidir.

Sıvı alaşımların kontrollü oksidasyonu:

DIMOX (direkt erimiş metal oksidasyonu) olarak adlandırılan bu metotta saf alüminyum oksitlenerek yüzeyde bir Al_2O_3 tabakası oluşturmakta ve daha fazla oksitlenmeyi engellemektedir. Sıvı haldeki alaşımın içine eser miktarda Mg, Zn ve Li katılması ile alüminyumun oksitlenme davranışı değiştirilmektedir. Katılan bu metaller sayesinde oksitlenme yapısı kontrol altına alınarak istenilen yapıda bir Al/ Al_2O_3 kompoziti elde edilmektedir. Bu sistem Amerika'dan Lanxide Corporation tarafından geliştirilmiştir. Çok kolay ucuz ve esnek bir metottur. Her bir metalin katılması için karışım farklı sıcaklıklara getirilir. Mesela Mg 1000-1350 °C civarındayken ilave edilir.

Sıvı alaşımların nitrürlenmesi:

Saf alüminyum azot atmosferine erime sıcaklığının üstünde bir sıcaklığa maruz bırakıldığı zaman pasileştirici bir nitrür tabakası oluşur. Ancak Mg veya Si gibi alaşım metalleri bulunduğunda oluşan nitrür tabakası dengesiz olur ve sürekli nitrür oluşumu başlar. Oluşan reaksiyonlar sonucunda Al / Al_2O_3 kompoziti oluşur.

PRIMEX sistemi kullanılarak çok fazlı kompozitlerin üretimi:

Bu yöntem gözenekli yapıda seramik bir takviye malzemesine erimiş metalin infiltre edilmesi yöntemidir. Bu yöntemde matris ve takviye 3 boyutlu olarak birleşir. Al/ Al_2O_3 kompoziti bu yolla azot atmosferinde elde edilmiştir.

Sıvı-katı reaksiyonları:

Zr-ZrC/ZrB₂ kompoziti sıvı zirkonyumun B₄C ile reaksiyonu sonucunda oluşmaktadır. Bu metot da zirkonyum, B₄C yatağa konularak argon

atmosferinde 1900⁰C'ye ısıtılır. Ekzotermik bir reaksiyon ve infiltrasyon gerçekleşir.

XD yöntemi:

Martin Marietta tarafından geliştirilen bu metod için sınırlı bilgi mevcuttur. Solvent yardımlı difüzyon prosesi, matrisin içinde oluşan bir reaksiyonun difüzyonu hızlandırması ile takviye fazının oluşması sağlanmaktadır. Al-Ti ve Al-B alaşımları karıştırılarak ısıtılır. Alüminyum erir ve difüzyon sonucu TiB₂ yapısı oluşarak ayrılır. Kullanılan takviye malzemesi genelde karbür, nitrür, bor veya silikatlardan oluşur. Matris ise TiAl, Ti₃Al veya Ni Al alaşımı olur.

O. Beffort ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada ise takviye malzemesi olarak elmas kullanılan bir alüminyum matrisli kopozit malzeme üretilmiştir. Kompozitin üretiminde basınçlı infiltrasyon metodu kullanılmıştır. Elmasın yüksek termal iletkenliğe sahip olması onun mikroelektronik ve optik iletişim sektörlerinde kullanılmasına neden olmaktadır. Bu nedenle içeriğinde elmas olan bir kompozitin üretilmesi çok önemlidir. Mikron yapıda kullanılan elmas tozlarının oksijen varlığında yüksek sıcaklıklarda kaldığında parçalandığı bilinmektedir. Nano derecesine kadar parçalanan bu elmaslar uygun bir takviye elemanı değildir. Bu durum ancak ortamda hidrojen içeren bir atmosferin kullanılmasıyla önlenabilmektedir. Bu nedenle kullanılan deneylerde hidrojen ile karıştırılmış argon atmosferi kullanılmıştır (15).

N.F. Gao ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada ise yine uçucu kül kullanılarak zeolit-karbon kompoziti elde edilmiştir. Elde edilen kompozit malzemenin inşaat sektöründe etkin olarak kullanılması beklenmektedir (18).

I.Rozenstrauha ve arkadaşları tarafından çalışmada, bir endüstriyel atık olan külden ve kilden üretilen cam-seramik matris malzemesiyle üretilen kompozit malzemenin özellikleri incelenmiştir. Takviye malzemesi olarak ta atık camlar (chamotte) kullanılmıştır. Çalışmada kütlece %10,20,30 miktarlarında chamotte ilavesinden sonra elde edilen numunelerin sertlikleri ölçüldüğünde

%20 chamotte ekleyerek en sert malzemenin elde edilmesinin sağlandığı tespit edilmiştir (19).

Travitzky ayrıca 3 farklı metot kullanarak alümina/bakır kompoziti üretmeyi başarmıştır. Bu metotlar, 1300⁰C de 15 MPa basınç kullanılarak yapılan basınçlı infiltrasyon (sızma), alaşımın takviye içine plazma şeklinde spreyleneceği metodu, ve yine aynı sıcaklıkta uygulanan basınçsız infiltrasyon metotlarıdır. Bu üç metot hakkında daha önce detaylı bilgi verilmiştir. Üretilen tüm malzemeler üstün tokluk, matris takviye arasında yüksek bağ gücü ve üstün sertlik özellikleri göstermiştir. Ayrıca elde edilen bütün numunelerde metalin plastik deformasyon gösterebilmesi nedeniyle malzeme üzerinde oluşan çatlakların büyümesi engellenmiştir. Bu yetenek malzemenin dayanımını arttıran önemli bir özelliktir. Ancak basınçlı infiltrasyon (sızma) metodu ile üretilen malzemelerin basınçsız yolla üretilenlere göre daha sert, tok ve bağ kuvvetinin daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Ancak bu fark çok büyük bir fark değildir. Elde edilen sonuçlar çizelge 2.4'de verilmektedir (21).

Çizelge 2.4. Literatürdeki deneyin sonuçları

Malzeme	Bağ kuvveti (Mpa)	Tokluk (Mpa)	Vickers sertliği(Gpa)
Al ₂ O ₃ preform	41	1,77	2,2
Basınçlı Yöntemle Üretilmiş	355	6,7	8,3
Basınçsız Yöntemle Üretilmiş	275	6,5	7,5

Travitzky ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada basınçsız infiltrasyon (sızma) metodunu kullanarak hazırlanan Al₂O₃/Si kompozitin özellikleri incelenmiştir. yapılan incelemeler sonucunda, üretilen Al₂O₃/Si kompozitin aynı hacim kesrinde Al₂O₃ içeren fakat içeriğinde silisyum yerine alüminasilikat cam fazı bulunan teknik alüminayla karşılaştırıldığında daha

yüksek kırılma sertliği ve yüksek dayanıklılık gibi özellikler saptanmıştır. İnfiltrasyon 1575⁰C de 15 dakikada gerçekleşmiştir (22).

A. Contreras ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada Mg alaşımı ve TiC takviye malzemesi, basınçsız infiltrasyon (sızma) tekniği ile birleştirilerek sermet elde edilmiştir. İnfiltrasyon 850, 900 ve 950⁰C'de Argon atmosferinde gerçekleşmiştir. Mg 'un düşük yoğunluğundan yararlanılarak bir kompozit üretilmesi amaçlanan çalışmada, 205 vickers sertliğine ulaşılmıştır (23).

Mingxia Gao ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada basınçsız infiltrasyon (sızma) metoduyla üretilen Fe₄₀Al/(TiC-TiN-WC) sermetlerin içinde oluşan Ti₂W(CN) ve Ti(CN) yapısı incelenmiştir. Ti(CN) yapısı oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıkta termal iletkenlik ve oksidasyon direnci göstermektedir. Ticari olarak kesme cihazlarında kullanılmaktadır. Bu tür sermetler genel olarak yapı içinde çözülmemiş bir Ti(CN) ve bu yapıyı çevreleyen bir Ti₂W(CN) çözeltisinden meydana gelmektedirler. 1360-1560⁰C'de 40 dakikada argon atmosferinde gerçekleşen basınçsız infiltrasyon sayesinde kompozit malzeme üretilmiştir (24).

Paul F. Becher ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada matris ve takviye elemanı, yani Ni₃Al ve TiC bizim çalışmamızda olduğu gibi her ikisi de toz halde kullanılmıştır. Takviye elemanı (SiC) yapılan soğuk presleme ile oluşturulmuştur. İnfiltrasyon 1300⁰C'de 1 saatten az bir sürede etkin olarak gerçekleşmiştir (25).

S.KIM in yaptığı bir çalışmada ise Al₂O₃ kullanılarak üretilen sermetlerdeki termal şok dayanımı incelenmiştir. Endüstriyel anlamda ucuzlukları ve yüksek sıcaklık çalışmalarına uygunlukları nedeniyle büyük öneme sahip olan Al₂O₃ seramiklerin toklukları ve termal iletkenlikleri gibi zayıf özelliklerinin iyileştirilmesi için metallerle birleştirilerek sermet haline getirilmesinin çok yaygın olduğu bilinmektedir. Bilindiği üzere metallerle seramiklerin ısıl etkenler karşısında gösterdikleri genleşme ve küçülme davranışlarının

birbirinden farklıdır. Bu durumda seramik ve metallerin birleşmesinden oluşan kompozit malzeme içinde bir termal gerilme oluşacağı düşünülebilir. Ancak, yapılan çalışma göstermiştir ki sermetler termal şoklara sinterlenmiş alüminaya göre daha fazla dayanabilmektedir. Bu durumun metal yapının ısı karşısında plastik deformasyon göstermesinden kaynaklandığı sonucuna varılmıştır (26).

L.Levin ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada bor karbür (B_4C) takviyesi ile Al matris kullanılarak üretilen sermet incelenmiştir. Üretimde infiltrasyon metodu kullanılmıştır. Ayrıca infiltrasyona yardımcı olmak amacıyla bir yağlayıcı kullanılmıştır. Kullanılan yağlayıcı $0,05 \mu m$ "silico colloidal silica"dır (27).

Oliver Mantaux ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada sermetlerin üretimi sırasında gözenekli bir takviye içinde infiltre olmuş ve katılaşmaya başlamış saf metallerin üzerinde mikro gözenek oluşması durumu incelenmiştir. Yapılan çalışmada katılaştıran metalin hacim olarak küçülmesi, mikro gözeneklerin oluşumu ve sıvı metalin bir gaz yardımıyla sıkıştırılabilirliğinin etkisini inceleyen bir modelleme yapılarak bir algoritma oluşturulmuştur. mikro gözenekli yapıların oluşmasının nedeni olarak soğuma sırasında metalin küçülmesi ile metalin gözenekli takviye içine infiltre olmak için zorlanmasının bir ortak sonucu olarak görülmektedir. Takviye içindeki fiber yapılar erimiş metalin akışı sırasında bir basınç düşüşüne neden olarak, mikro gözenekli yapıların oluşmasına neden olmaktadır (28).

E.Saiz ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada ise reaktif metal penetrasyonu ile sermet üretme yöntemleri incelenmiştir. Alüminyum alaşımının Al_2O_3 takviye içine infiltre olurken reaksiyon oranlarının en fazla $1000-1200 ^\circ C$ arasında olduğu tespit edilmiş olup, etkin bir infiltrasyon için bu reaksiyonların çok önemli olduğu belirtilmiştir. Ancak, alüminyum alaşımı içinde bulunan Si reaksiyon oranlarını düşürücü etki gösterdiği tespit edilmiştir(29).

M.Çırakoğlu ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada borkarbür (B_4C)-alüminyumnitür (AlN) takviye malzemesi alüminyum ile ıslatılarak bir kompozit malzeme elde edilmiştir. 6,5 KPa basınç uygulanarak $1250^{\circ}C$ 'de erimiş metalin infiltrasyonu sağlanmıştır. Takviye malzemesi hazırlanırken yapılan sinterleme sıcaklığının artmasının takviye üzerindeki gözenekleri büyüttüğü tespit edilmiştir. Ayrıca, takviye malzemesinde B_4C 'in %4-10 oranında kullanılması sonucu infiltrasyon başarılmıştır. Daha fazla kullanılması takviye malzemesindeki gözeneklerin küçülmesine yol açmıştır. Ancak, ıslatmanın sadece gözenek boyutuna bağlı olmadığı küçük gözeneklere daha etkin infiltrasyonların olabileceği belirtilmiştir. İnfiltrasyonun gözenek boyutuna, sıvının yüzey gerilimine ve zamana bağlı olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, takviyenin yüzeyinde bulunan Al_2O_3 gibi kararlı bir oksit tabakasının infiltrasyonu tamamen durdurabileceği belirtilmektedir. Deney sonuçları, B_4C en az %4 kullanıldığında infiltrasyonun gerçekleştiğini göstermiştir. Daha fazla kullanılması durumunda takviyedeki gözenek yapısının küçültmesine rağmen infiltrasyon miktarında artışa neden olmuştur. Bu durum karbür yapısının takviye elemanı yüzeyinde oluşan ve infiltrasyonun oluşumunu engelleyen oksit tabakasının meydana gelmesinin neden olduğu düşünülmektedir (30).

L.M. Peng ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada basınçlı infiltrasyon metodu ile hazırlanan Si_3N_4 takviyeli ve Al matrisli sermetlerin mekanik özellikleri incelenmiştir. İnfiltrasyon 85 Mpa basınç kullanılarak $1600-1850^{\circ}C$ sıcaklıkta sağlanmıştır (31).

Alper Sezer ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada ise endüstriyel bir atık olan uçucu külün sulak bölgelerde toprakla karıştırılarak bertarafı incelenmiştir. Yapılan çalışmada toprakla karıştırılan uçucu külün toprağın özelliklerini geliştirdiği tespit edilmiştir (32).

N. Sobczak ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada ise genelde sıcak presleme yöntemiyle üretilen alüminyum bazlı sermetlere uçucu kül ilavesinin oluşturduğu faz yapıları incelenmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar göstermiştir ki, uçucu kül içeriğinde bulunan SiO_2 , Fe_2O_3 , Fe_3O_4 gibi bileşenlerle Al'un redoks reaksiyonları sonucunda kompozit malzeme içinde iki kristalik yapı oluşmasını sağlamaktadır. Bunlardan birincisi sürekli metalik faz tarafından etrafı sarılan $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ parçacıkları, ikincisi ise Al ile reaksiyona girmeyen CaO yapılarıdır (33).

G.E. D'Errico ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada ise sermetler üzerindeki aşınma sonucunda oluşan erozyon incelenmiştir. Tüm numunelere uygulanan standart aşındırma işlemi sonucunda incelenen sermetler içinde sertlik bakımından en dayanıklıdan en dayanıksıza doğru oluşan sıralama şu şekildedir (34).

$\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiC}$ - $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiC}$ - Al_2O_3 - $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ZrO}_2$ - $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{TiN}$ – TiCN

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Çalışmada genel olarak $MgAl_2O_4$ spinel baz alınarak oluşturulan takviye içine çinko metalinin eritilerek infiltre olması amaçlanmıştır. Ayrıca, $MgAl_2O_4$ spinelden oluşan takviye elemanı içine uçucu kül katılarak uçucu külün oluşturulan kompozit malzemenin fiziksel özelliklerine etkisi incelenmiştir. Üretim yöntemi olarak argon atmosferinde basınçsız infiltrasyon tekniği kullanılmıştır. Kullanılan hammaddeler ve bu maddeler hakkında detaylı bilgi aşağıda verilmiştir.

3.1. Kullanılan Hammaddeler

3.1.1. Spinel oksit

Çalışmada kullanılan spinel Kütahya'daki KÜMAŞ işletmelerinden alınmıştır. Şekil 3.1.'de alümina spinelin deneylerde kullanılan toz hali görülmektedir.



Şekil 3.1. Toz haldeki spineloksit

3.1.2. Çinko metali

Çalışmada kullanılan çinko metali toz halde ve plaka halde kullanılmıştır. Toz çinko MERCK firmasından alınmış olup, kimyasal analizi aşağıda verilmektedir. Çinko tozunun partikül boyutu $45\ \mu m$ 'dir. Şekil 3.2'de çalışmalarda kullanılan çinko metalinin toz halinin resmi yer almaktadır.



Şekil 3.2. Deneylerde kullanılan toz haldeki çinko metali

Çizelge 3.1.'de çinko metalinin etiket bilgileri yer almaktadır.

Çizelge 3.1. Çinko tozunun kimyasal analizi (%).

As	Cd	Cu	Fe	Pb	Sn	HCL içinde çözünmeyen
≤0,0001	≤0,05	≤0,005	≤0,005	≤0,005	≤0,001	≤0,1

3.1.3. Uçucu kül

Muğla Yatağandaki Termik santralden alınan uçucu kül kompozit malzemede takviye malzemesi olarak kullanılmıştır. Şekil 3.3'de deneylerde kullanılan uçucu külün resmi yer almaktadır.



Şekil 3.3. Deneylerde kullanılan uçucu kül

3.2. Kullanılan metot (Basınçsız İnfiltrasyon Tekniği)

İkinci bölümde detaylı olarak incelenen basınçsız infiltrasyon tekniği, yapılan çalışmada kullanılan metottur. Bu metodun seramik takviyeler kullanarak kompozit üretmede umut verici bir teknik olduğu görülmektedir. Bu proseste erimiş metal seramikten oluşan takviye elemanı içine hiçbir dış basınç uygulanmadan infiltre olup, bu takviye elemanını ıslatarak bir kompozit malzeme oluşmasını sağlamaktadır. Takviye elemanı üzerindeki mikro deliklerin içine erimiş metalin akması ve takviye elemanın erimiş metal ile etrafının çevrilmesi ile daha üstün özellikler gösteren bir yapı oluşturulabilmektedir.

Yapılan çalışmada literatürdeki basınçsız infiltrasyon tekniklerinden farklı olarak matris malzemesi olan çinko, toz halde takviye malzemesiyle karıştırılarak kullanılmıştır. Literatürde ise genel olarak toz halde kullanılan matris malzemesi takviye sisteminin üzerine konulmaktadır (4, 6).

3.3. Deneylerin Yapılışı

Yukarıda anlatılan hammaddeler kullanılarak çalışmalara başlanmıştır. $MgAl_2O_4$ spinel takviye malzemesinin çinko metali ile ıslatılması amacıyla iki farklı yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemlerden ilkinde çinko metali plaka halinde kullanılmış olup, başarısızlıkla sonuçlanmıştır. İkincisinde ise çinko metali toz halde kullanılmış olup, infiltrasyonun gerçekleştirilmesi başarılmıştır. Aşağıda bu iki yöntemle yapılan deneyler detaylı olarak anlatılmaktadır.

3.3.1. Birinci yöntem

Birinci yöntemde bir pellet oluşturmak üzere $MgAl_2O_4$ spinel ile kütlece %10, %20 ve %50 olacak şekilde katı granül halindeki stearik asit ($CH_3(CH_2)_{15}.COOH$) fiziksel olarak karıştırılmıştır. Daha sonra bu karışım 5

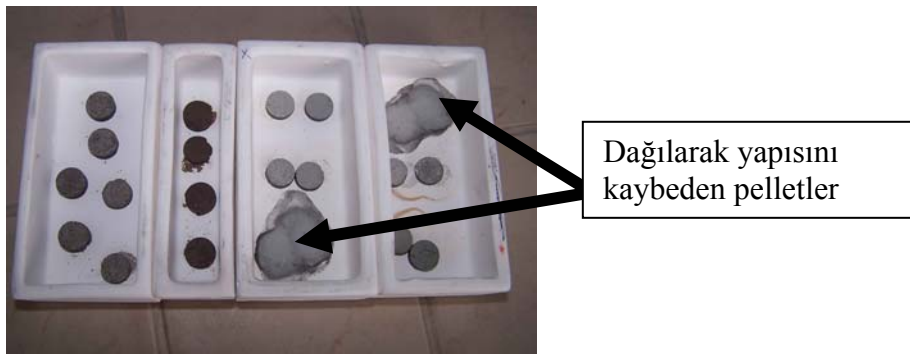
tona kadar değişik basınçlarda sıkıştırılmıştır. Değişik basınçların uygulanmasının amacı hem sağlam yapıda hem de büyük gözenekli bir pellet oluşturulması için uygulanabilecek en düşük basıncın bulunmasıdır. Uygulanacak yüksek basınç gözenekliliği olumsuz yönde etkileyecektir.

Basınç yardımıyla oluşturulan pelletler gözenekli hale gelmeleri amacıyla atmosfere açık fırında $70-75^{\circ}\text{C}$ 'de bir saat bekletilmiştir. Böylece pelletlerin içlerindeki stearik asitin uçması ve gözenekli bir yapının oluşması sağlanmıştır.



Şekil 3.4. Bağlayıcı uçurulmadan önce ve sonra pelletin durumu

Kütlece %50 ve daha fazla stearik asit içeren pelletlerin dağılarak yapısını kaybettiği için kullanılamamıştır.



Şekil 3.5. Pelletler

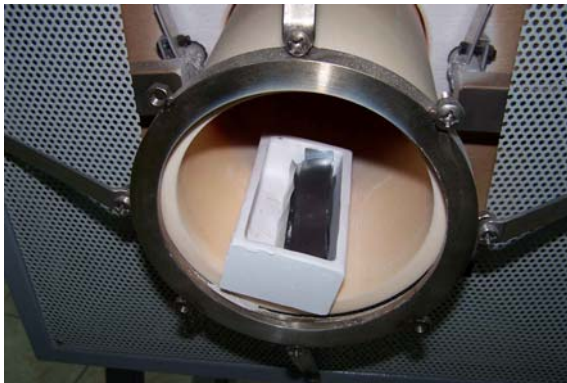
Kompozit malzemelerin üretilmesi aşamasında hammaddelerin pellet haline getirilebilmesi için aşağıda resmi gözüken pres ve kalıp kullanılmıştır. Pres

10 tona kadar çıkabilmekte olup, mevcut kalıbı ile 13 mm çaplı silindirik pelletler hazırlayabilmektedir.



Şekil 3.6. Presleme ünitesi

Oluşturulan pelletlerin üzerine çinko levhadan parçalar kesilerek argon atmosferinde çalışan tüp fırına yerleştirilmiştir. Çinko levhalar hem pelletlerin altına hem de üstüne yerleştirilerek infiltrasyon mekanizmasının incelenmesi amaçlanmıştır.



Şekil 3.7. Tüp fırın

Fırının argon girişine argon gazının içindeki oksijen safsızlıklarını tutmak amacıyla bakırın oksijen tutmakta yetenekli olduğu bilindiğinden ufak kırılmış bakır parçalarla doldurulan bir kroze yerleştirilmiştir.

Fırın çalıştırılmadan önce fırının hacmi göz önünde bulundurularak argon gazı akış hızı ayarlanmış ve fırın içindeki oksijenin boşalması sağlanmıştır. Daha sonra argon akış hızı yavaşlatılarak fırın ısıtılmaya başlanmıştır. 550°C

ye ulaşıldıktan sonra 2 saat beklenmiş ve fırın argon akışı kapatılmadan soğumaya bırakılmıştır. Deney sonunda infiltrasyonun gerçekleşmediği gözlemlenmiştir.

3.3.2. İkinci yöntem

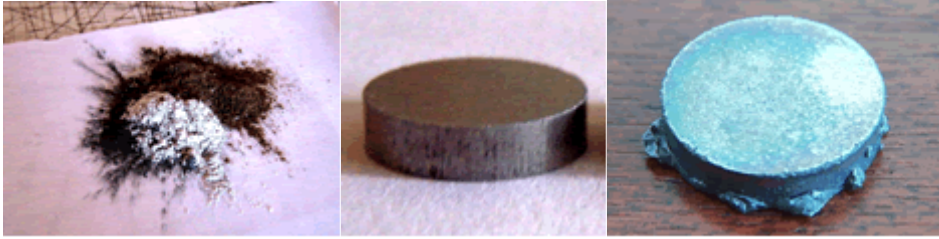
Çinkonun plaka halinde kullanılması yönteminin başarısız olmasının ardından ikinci yöntem olarak çinkonun toz halde kullanılmasına karar verilmiştir. Böylelikle yapısı homojen bir şekilde dağılmış bir kompozit malzeme elde edilmesi amaçlanmıştır. Çinko metalinin toz olarak kullanılması ve malzemenin direkt olarak içine konması ile oksitlenme miktarının asgari düzeye indirgenerek infiltrasyonun başarılabilmesi amaçlanmıştır.

Toz çinko, $MgAl_2O_4$ spinel ve uçucu kül mekanik olarak karıştırılmıştır. Bu karıştırma işlemi oluşturulacak kompozitin homojen yapıda üretmesi için büyük önem taşımaktadır. Etkin bir fiziksel karıştırma yapıldıktan sonra hazırlanan karışım 10 ton basınç altında preslenerek bir pellet oluşturulması sağlanmıştır. Gözenekli yapıya ihtiyaç duyulmadığından bu kez stearik asit gibi bir bağlayıcı kullanılmasına gerek duyulmamıştır.

Çok farklı kompozisyonlarda, uçucu kül içeren ve içermeyen numuneler hazırlanmış olup, parametre değişimlerinin incelenmesi sağlanmıştır. Kompozit malzeme yukarıda da bahsedildiği üzere tüp fırında argon atmosferinde $550^{\circ}C$ 'de bekletilmesinden sonra oluşturulmuştur.

Oksitlenmeyi en aza indirmek amacıyla fırın girişine bakır talaşından oluşan bir oksijen tutucu bu yöntemde de yerleştirilmiştir. Ayrıca, aynı şekilde fırın çalıştırılmadan önce fırının hacmi göz önünde bulundurularak argon gazı akış hızı ayarlanmış ve fırın içindeki oksijenin boşalması sağlanmıştır. Daha sonra argon akış hızı yavaşlatılarak fırın ısıtılmaya başlanmıştır. $550^{\circ}C$ ye ulaşıldıktan sonra 2 saat beklenmiş ve fırın argon akışı kapatılmadan soğumaya bırakılmıştır.

Uygulanan toz çinko kullanma yöntemi ile infiltrasyonun gerçekleşmesi başarılmıştır. Şekil 3.8.'deki resimlerden birincisinde karıştırılmadan önceki hammaddeler gösterilmektedir. Gri renkteki toz çinko metali, kahverengi toz uçucu kül ve beyaz toz ise $MgAl_2O_4$ spineldir. İkinci şekil karışımın 10 ton ağırlık ile preslendikten sonraki halini göstermektedir. Üçüncü şekil ise pelletin 2 saat boyunca argon atmosferinde $550^{\circ}C$ 'de sinterlenmesinden sonra oluşturulan kompozit malzemedir.



Şekil 3.8. Kompozit malzemenin üretim aşamaları

Karakterizasyon teknikleri:

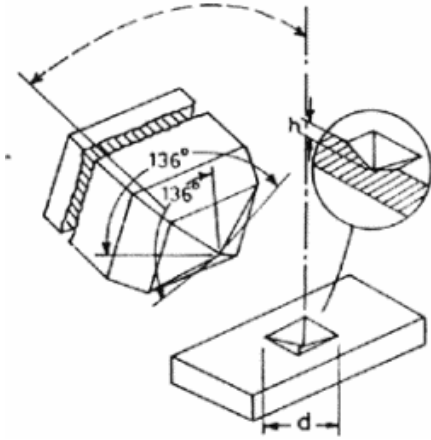
Çinko infiltre edilen spinel peletlerin iç yapı incelemesi JEOL JSM-6360LV marka taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak yapılmıştır. SEM incelemesi amacıyla spinel peletlerin yüzeyleri öncelikle kaba zımpara ile düzeltilmiştir. Daha sonra MECAPOL P260 marka cihaz ile sırasıyla 10-5-3-1 mikronluk zımpara kademelerinden geçirilerek parlatılmıştır.



Şekil 3.9. Elektron Mikroskobu

Deneylerde yüzeyleri yeterli pürüzsüzlükte olan numunelerin SHIMADZU HMV ile vickers sertliği ölçülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü yüksek olan numunelerin ise Durotech marka cihazla shore sertlikleri ölçülmüştür.

Metal ve seramik gibi sert yüzeylerin sertliğini ölçmek için kullanılan Vickers sertliği aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi batıcı uç olarak karşılıklı yüzeyleri arasında 136° açı bulunan kare tabanlı bir elmas piramit kullanılarak ölçülmüştür. Vickers sertlik ölçme yöntemi, sertliği ölçülerek malzemenin yüzeyine söz konusu batıcı ucun belirli bir yük uygulayarak batırılması ve yük kaldırıldıktan sonra meydana gelen izin köşegenlerinin ölçülmesinden ibarettir. Elmas pramit sertliği de denir. Yüke göre sertlik değişmediğinden, yükün miktarı malzemeye göre seçilir.



Şekil 3.10.Vickers sertlik mekanizması

Kare izinin malzeme yüzeyinde bırakmış olduğu izin köşegen uzunluğu mikroskop ile okunur ve sertlik aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$\text{Vickers Sertlik Numarası, (VSN)} = 1,8544 \times \frac{P}{(d_{ort})^2} \quad [3.1.]$$

P= Uygulanan Yük, kgf

d_{ort} = Kare iz köşegeninin ortalama uzunluğu

Shore sertliği ise genellikle plastikler gibi elastik malzemenin sertliğini ölçmek için kullanılsada, yüzeyi parlak olmayan sert numunelerin sertliklerini ölçmek için de kullanılabilir. Kullanılan Shore sertlik cihazının çalışma prensibi, batıcı bir ucun numuneye batırılarak sertliğinin tespiti esasına dayanır.

Özellikle yapılan çalışmada çok sayıda numune olması ve numuneler arasındaki parametre değişimlerine göre sertliklerdeki değişimin incelendiği göz önünde bulundurulursa, shore sertliği bağıl sertlik değişimlerinin belirlenmesi için kullanışlı ve pratik bir metottur.

Spinel tozunun ve Zn tozunun tane boyutları Malvern marka 2600 serisi lazer tane boyut cihazıyla ölçülmüştür.

Çinko metali için temas açısı ölçümleri Krüss marka tensiyometre kullanılarak yapılmıştır. Sıvı n-hekzan'ın ıslatma açısı yüzey geriliminin çok düşük olması nedeniyle "0" olarak kabul edilmiş olup, referans sıvısı olarak kullanılmıştır. Bir diğer referans sıvısı olarak saf su kullanılmıştır. Söz konusu tensiyometrenin resmi şekil 3.11'de görülmektedir.



Şekil 3.11. Tensiyometre

MgAl₂O₄ spinelin ve uçucu külün kimyasal bileşimi X-ışınları floresans cihazı (Shimadzu, XRF-1700) kullanılarak tespit edilmiştir.

3.4. İncelenen deneysel parametreler:

Üretilen kompozit malzemenin sertliğindeki, yoğunluğundaki ve faz oluşumlarındaki değişimler aşağıda belirtilen parametreler üzerinden incelenmiştir.

- Atmosfer
- Metot seçimi
- Pellet oluşturmak için uygulanan basınç miktarı
- Spinel oksit miktarı
- Uçucu kül miktarı
- Çinko miktarı

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

4.1. Hammaddelerin Analizleri

MgAl₂O₄ spinelin ve uçucu külün kimyasal bileşimi X-ışınları floresans cihazı (Shimadzu, XRF-1700) kullanılarak tespit edilmiştir. Sonuçlar aşağıda verilmektedir.

Çizelge 4.1 Uçucu külün kimyasal analizi (%)

BİLEŞEN	SiO ₂	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	NaO	K ₂ O	SO ₃	P ₂ O ₅
%	47,08	1,03	6,48	21,96	16,03	2,12	1,28	0,93	2,13	0,14

Çizelge 4.2. Spinelin kimyasal analizi (%).

BİLEŞEN	Al ₂ O ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO
%	68,22	29,87	0,78	0,08	0,76

MgAl₂O₄ spinel toz halinde olup, partikül boyutu Malvern 2600 Partikül boyut ölçer ile yapılmış olup, yaklaşık 18 µm civarında tespit edilmiştir.

4.2. Çinkonun Islatabilirliğinin İncelenmesi

Yapılan deneylerde izlenen ilk yöntem sonucunda erimiş çinko metalinin gözenekli takviye yapısını ıslatamadığı gözlemlenmiştir. Bu olayın nedeni olarak çinko metalinin yüzey geriliminin yüksek olması olarak görülmektedir. Krüss marka tensiyometre ile çinkonun temas açısı ölçülmüştür. Sıvı n-hekzan yüzey geriliminin çok düşük olması nedeniyle referans sıvısı olarak kabul edilmiş olup, bir diğer referans sıvısı olarak da saf su kullanılmıştır.

Çinko metalinin yüzey geriliminin ölçülmesi sonucunda. Çinkonun temas açısı yapılan analiz sonucunda 89.96⁰ olarak tespit edilmiştir. Bu değer aşağıdaki formülde “θ” olarak gösterilen değerdir. Aşağıdaki formüldeki “σ” değeri ise yüzey gerilimini ifade etmektedir. Formülden anlaşılabacağı üzere

ıslatma açısının artması, yüzey geriliminin artmasına neden olmaktadır. θ açısının 90 olması denklemi tanımsız yapacaktır. Bu nedenle çinkonun ıslatma açısının 90 a bu kadar yakın olması yüzey gerilimini çok yüksek olması anlamına gelmektedir.

$$\sigma = \frac{F_{\max} - F_v}{L \cdot \cos \theta} \quad [4.1.]$$

4.3. Metot Seçimi

Plaka halinde çinko kullanılan deney sonucunda çinkoların pelletleri ıslatmadan eriyip yanlarından aktığı ve bir kompozit malzeme oluşturamadığı gözlenmiştir. Pelletlerin üst kısmında ise çinkonun içindeki safsızlıkların bir tabaka halinde kaldığı ve bu tabakanın dokunulduğunda hemen dağılıp döküldüğü tespit edilmiştir.

Deneyde pelletlerin ıslatılmasının başarılammamasının nedeni olarak çinkonun eridiği zaman yüzey gerilimin çok fazla olan bir sıvı oluşturması ve bu nedenle pelletin gözeneklerine dolamaması olduğu değerlendirilmiştir. Bu tespit çinkonun yüzey gerimi ölçüldüğünde doğrulanmış olup, çinkonun yüzey geriliminin çok yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle çinko metalinin toz olarak kullanılması ve takviye malzemesinin içine karıştırılması yöntemi metot olarak seçilmiştir.



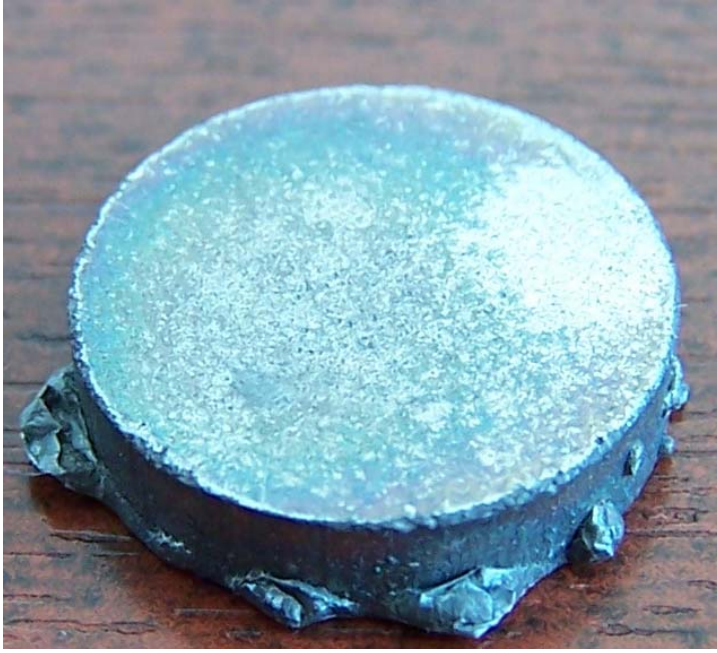
Şekil 4.1. Çinko tarafından ıslatılmayan pelletler

Ayrıca, çinko metali normal şartlar altında atmosferik korozyona son derece dayanıklı bir malzeme olduğu halde ısıtıldığı zaman erimeye başladığı anda yüzeyinde büyük oranda oksidasyonun olduğu yapılan deneylerde gözlemlenmiştir. Bu durum literatürde de desteklenmektedir (17).

Yapılan çalışmada argon gazının ve talaş halindeki bakırdan oluşan bir oksit tutucunun kullanılmasıyla oksitlenmenin önlendiği gözlemlenmiştir. Bu nedenle çalışma argon atmosferinde sürdürülmüştür.

4.4. Üretilen Kompozit Malzemenin Görünümü

Yapılan çalışma sonucunda uçucu kül katkılı $MgAl_2O_4$ spinel takviyesine erimiş çinko metalinin infiltre edilmesi başarılmıştır. Elde edilen kompozit malzemenin bir resmi aşağıda verilmektedir. Şekilde de görüleceği üzere son derece düzgün yapıda, üretim sırasında şekli nerdeyse hiç değişmemiş yüzeyi pürüzlü olmayan bir kompozit malzeme elde edilmiştir. Kompozit malzemenin yanlarında görülen çapaklar eriyen çinko metalinin kenarlardan taşması sonucu oluşmuştur. Bu çapaklar yumuşak yapıda olup, bir törpü yardımıyla rahatlıkla temizlenebilmektedir.



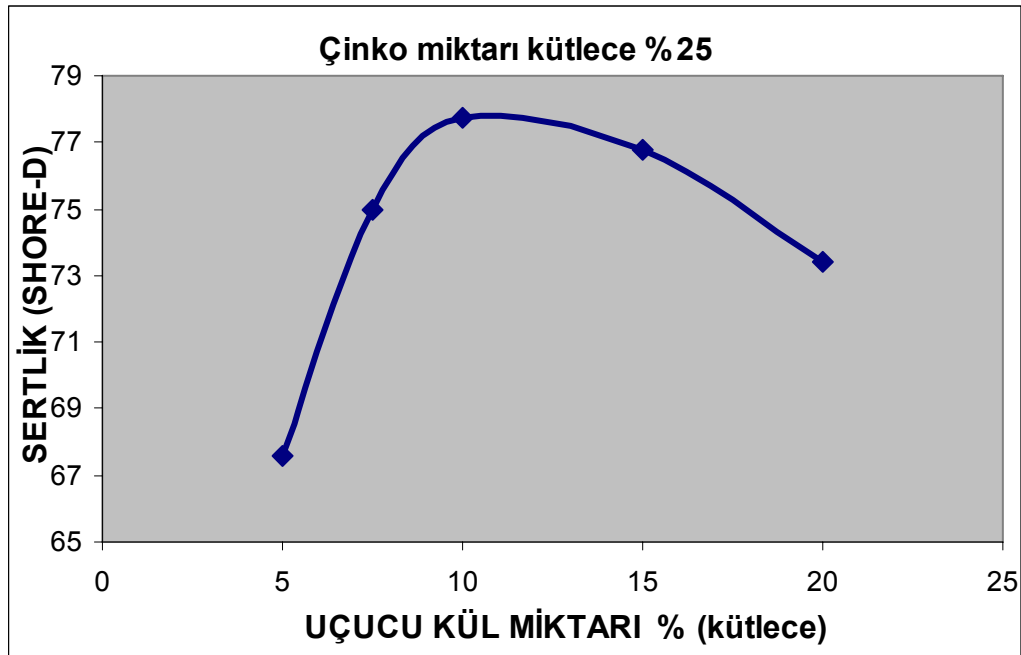
Şekil 4.2. Üretilen kompozitin görüntüsü

4.5. Üretilen Kompozit Malzemenin Sertlik incelenmesi

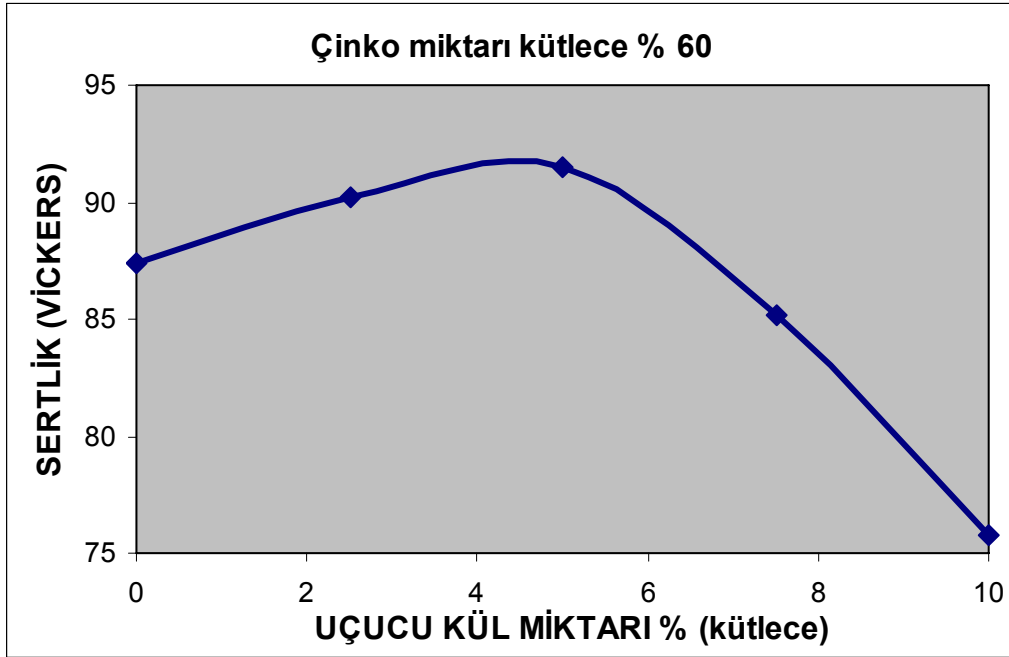
Elde edilen çinko bazlı kompozit malzemeler çok net bir yapıda ve düzgün bir şekilde elde edilmiştir. Ancak, uçucu kül miktarının kütlece %20 ve daha fazla olması durumunda ve çinko miktarının %30'dan az olması durumunda elde edilen kompozit malzemelerin yüzeyinin pürüzlü olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan sertlik ölçüm deneylerinde bu durum sorun çıkarmıştır. Yüzeyi pürüzlü numunelerin vickers sertlikleri tayin edilememiş olup bu numuneler için shore sertliği ölçülmüştür.

Çizilen grafikler üretilen kompozit malzemeler için kül miktarı sabit tutularak ve çinko miktarı sabit tutularak değişik kompozisyonlarda hazırlanan numunelerin sertlikleri ölçülerek çizilmiştir. Yüzeyi yeterli pürüzsüzlükte olan malzemeler için vickers sertliği ölçülürken yüzeyi pürüzlü numunelerde bu tayin yapılamadığından shore sertliği analizi yapılmıştır. Shore sertlikleri (D) ucu ile yapılmıştır. Vickers sertlikleri ise 49.03 N ağırlık kullanılarak yapılmıştır.

Elde edilen grafikler incelendiğinde gerek çinko miktarı sabit tutulup uçucu küldeki artış incelendiğinde gerekse uçucu kül miktarı sabit tutulup çinkodaki artış gözlemlendiğinde genel olarak malzemenin sertliğinde ilk önce bir artış ve en yüksek seviyeye ulaşıldıktan sonra meydana gelen artışla yaklaşık aynı eğimde bir azalış meydana gelmektedir. Bu durum yapılan başka bir çalışma ile desteklenmektedir. Rozenstrauha ve arkadaşları tarafından yapılan bu çalışmada, kütlece 10, 20 and 30% “chamotte” olarak adlandırılan malzeme uçucu kül ve kilden elde edilmiş cam-seramik matris içine katılarak bir kompozit malzeme oluşturulmuş olup, kütlece 20% oranında “chamotte” katılması durumunda sertlikte bu çalışmadakine benzer bir en yüksek değere ulaşılmıştır (19).



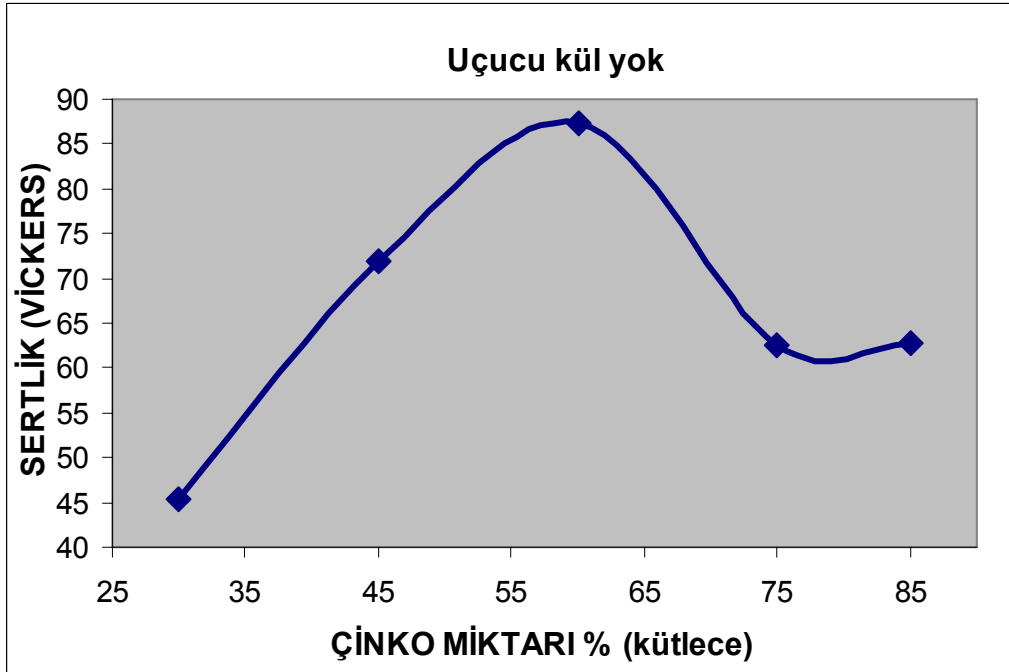
Şekil 4.3. %25 çinko içeren numunelerde uçucu kül miktarının sertliğe etkisi



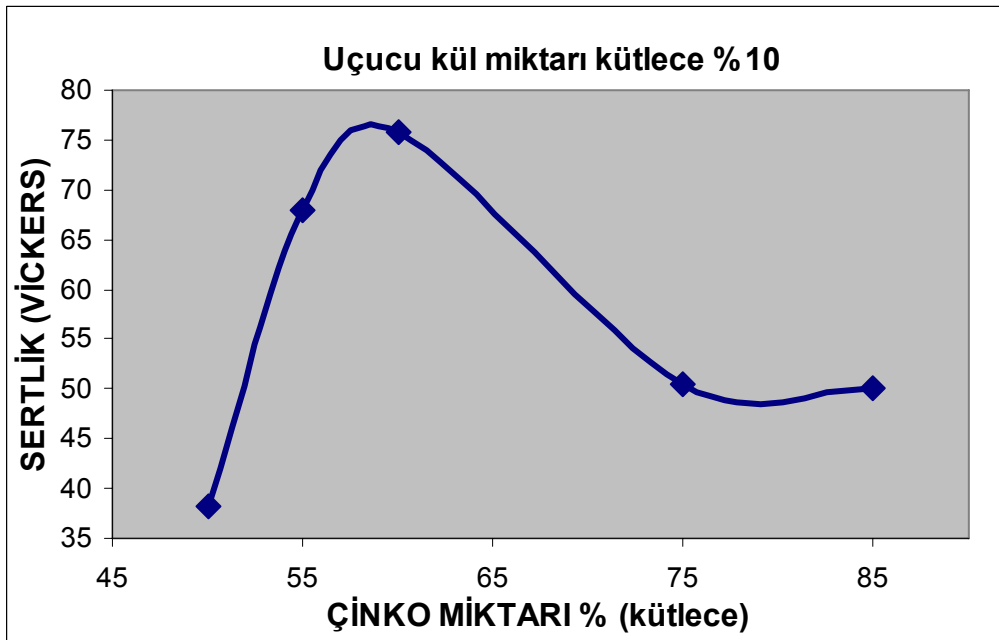
Şekil 4.4. %60 çinko içeren numunelerde uçucu kül miktarının sertliğe etkisi

Şekil 4.3. ve 4.4. incelendiğinde uçucu kül miktarındaki belli oranlarda artış sertlikte bir artışa neden olmaktadır. ancak daha fazla artış sertliğin tekrar azalmasına neden olmaktadır. Bu durumda aslında endüstriyel bir atık olan uçucu külün belli oranlarda katılarak bir kompozit malzeme yapımında kullanılıp, değerlendirilebileceği ve aynı zamanda bu kompozit malzemenin özelliklerini iyi yönde arttırıcı bir etkisi olduğu rahatlıkla söylenebilmektedir.

Şekil 4.3'de kütlece %25 çinko kullanıldığında en yüksek sertlik %10 kül katılmasıyla elde edilmiştir. Bu noktadaki sertlik değeri 77.7 shore sertliği olarak belirlenmiştir. Şekil 4.4.'de ise kütlece %60 çinko kullanıldığında en yüksek sertlik %5 kül katılmasıyla elde edilmiştir. Bu noktadaki sertlik değeri 91,5 Vickers sertliği olarak belirlenmiştir. Bu değer ulaşılabilen en yüksek sertlik değeridir. Bu iki grafiğe göre ayrıca çinko miktarındaki artışın sertliği olumlu yönde etkilediği yorumu yapılabilir.



Şekil 4.5. Kül içermeyen numunelerde çinko miktarının sertliğe etkisi



Şekil 4.6. %10 uçucu kül içeren numunelerde çinko miktarının sertliğe etkisi

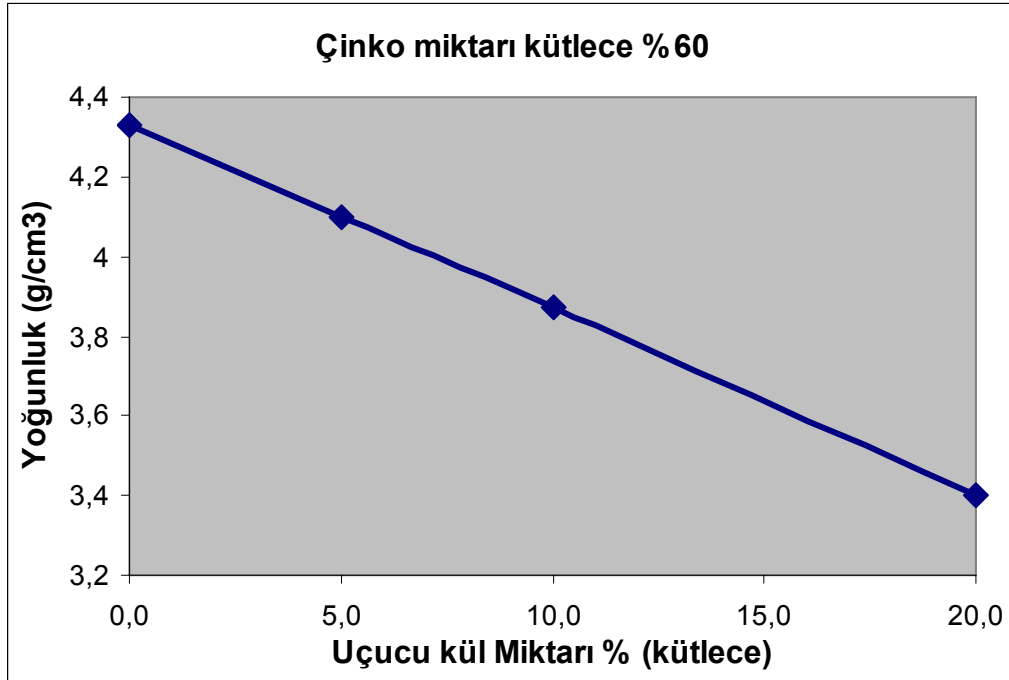
Şekil 4.5'de ve 4.6.'da ki sertlik grafikleri incelendiğinde ise yine dönüm noktaları gözlemlenmektedir. Çinko miktarındaki artış ilk önce sertlikte bir artışa neden olsa da daha sonra tekrar bir azalmaya neden olmaktadır. İki

grafikte de ortak olan nokta yaklaşık kütlece %60 oranında çinko içeren numunelerin en sert numuneler olmasıdır. Sertlik daha fazla çinko eklenmesiyle düşüşe geçtikten sonra belli bir noktaya geldikten sonra sabit kalış eğilimindedir. Bu durum artık çok fazla çinko içeren numunelerin tamamen çinko gibi davranmaya başlamaları olarak yorumlanabilir.

Üretilen kompozit malzeme için hazırlanan grafiklere bakıldığı zaman en yüksek sertliğe %60 Zn, %35 spinel ve %5 uçucu kül kullanıldığında ulaşılabildiği gözlemlenmiştir. Bu en sert numunenin sertliği 91,5 Vickers sertliğidir.

4.6. Üretilen Kompozit Malzemenin Yoğunluk incelemesi

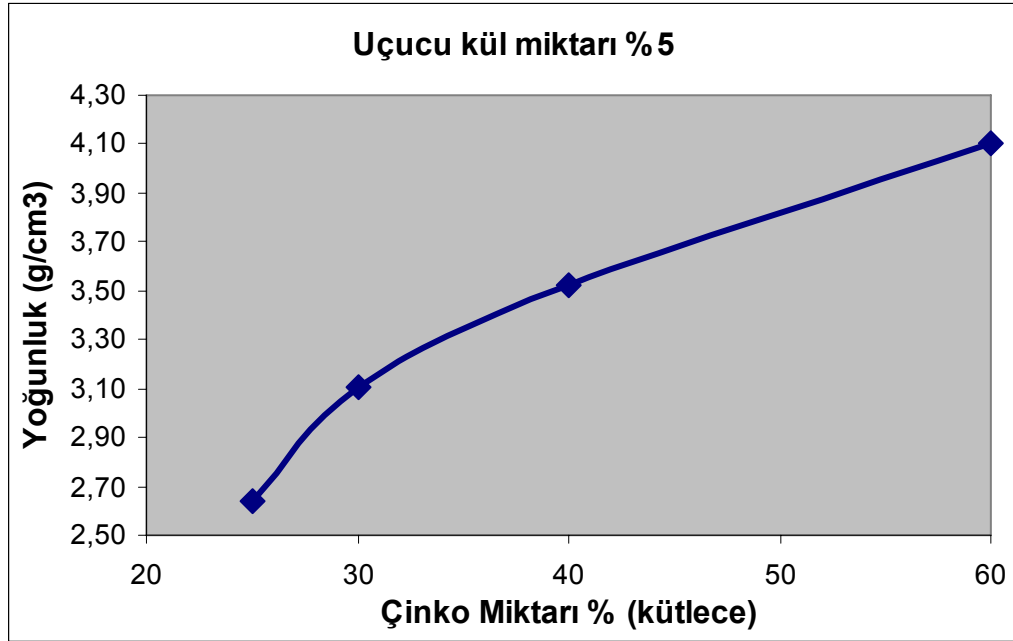
Üretilen kompozit malzemeler düzgün silindirik sekildedirler. Etraflarına oluşan ufak çapaklar bir törpü yardımıyla rahatlıkla temizlenebilmektedir. Bir kumpas yardımıyla çapları ve yükseklikleri ölçülen numunelerin ağırlığı da bilindiğinden rahatlıkla özkütleleri belirlenebilmektedir. Belirlenen özkütleler yardımıyla parametre değişimleri incelenmiş olup aşağıdaki grafikler elde edilmiştir.



Şekil 4.7. %60 çinko içeren numunelerde uçucu kül miktarının yoğunluğa etkisi

Hepsi %60 çinko içeren numunelerde uçucu kül miktarı arttıkça kompozit malzemenin yoğunluğu azalmaktadır. Yoğunluğu çinkoya göre daha az olan uçucu külün yapıdaki miktarının artmasıyla toplam yoğunluğun azalması doğal ve beklenen bir olaydır.

Bir kompozit malzeme üretilirken malzemenin hafif olması amacıyla ulaşılabilecek en düşük yoğunluğa ulaşılmaya çalışılır. Ancak, bu çalışmada malzeme içindeki uçucu kül miktarının artması malzemenin sertliğini önemli ölçüde düşürmekte, yüzey pürüzlülüğünü arttırmakta ve hatta malzemenin dağılmasına neden olmaktadır. yapılan çalışmada elde edilen numuneler göstermiştir ki kütlece %20 den fazla uçucu kül kullanılması malzemenin dağılmasına neden olmaktadır.

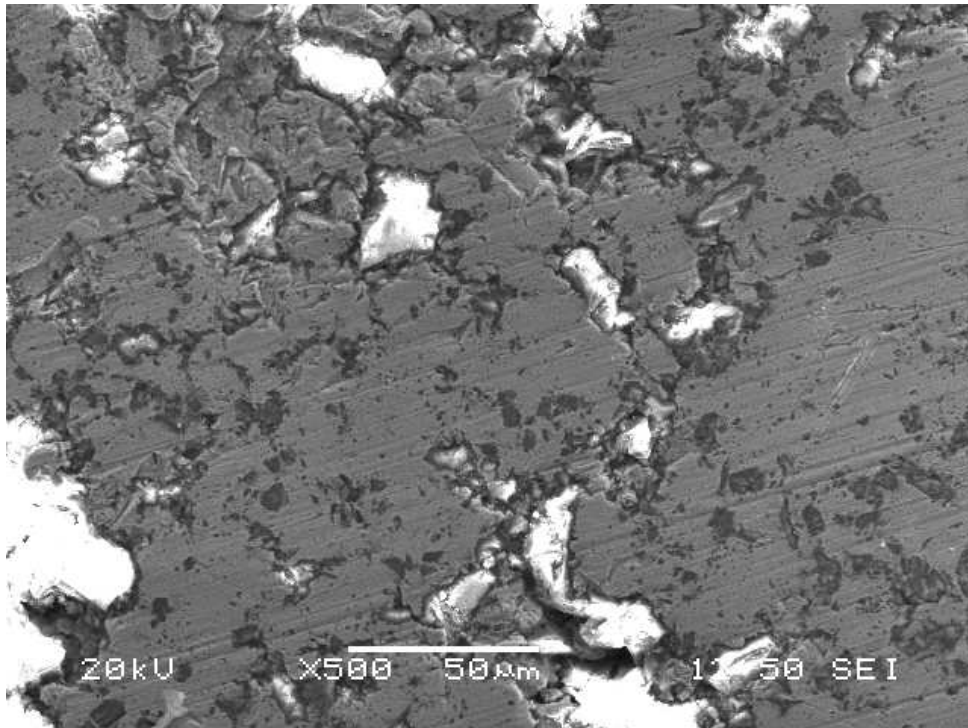


Şekil 4.8. %5 uçucu kül içeren numunelerde çinko miktarının yoğunluğa etkisi

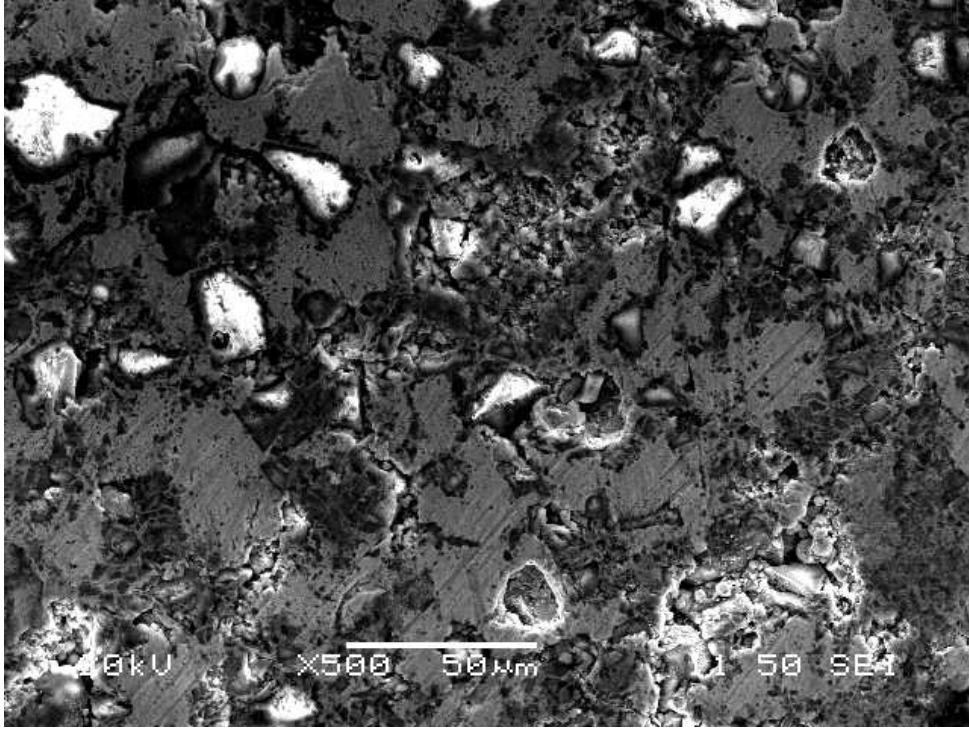
Şekil 4.8.'de kütlece %5 uçucu kül içeren numunelerin yoğunluk değerleri verilmektedir. Grafikte görüldüğü üzere içerdikleri çinko miktarları arttıkça malzemenin toplam yoğunluda artmaktadır. Bu durum çinkonun yoğunluğunun hem spinelden hemde uçucu külden fazla olması nedeniyle oluşmaktadır.

4.7. Üretilen Kompozit Malzemenin SEM İncelemesi

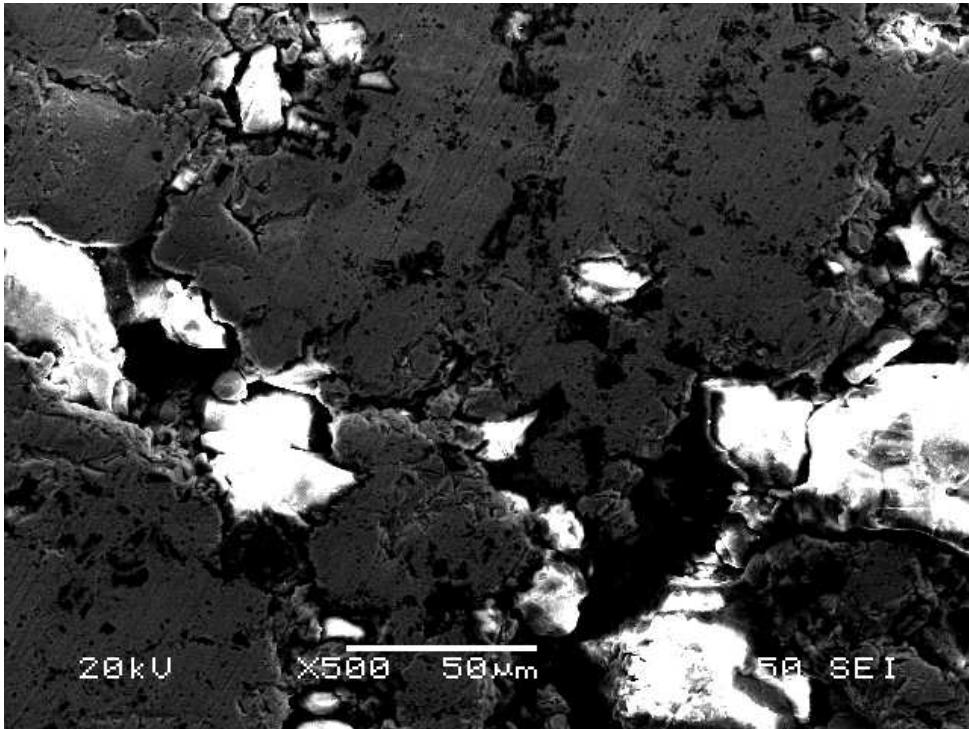
Elde edilen kompozit malzemenin faz yapısı ile matris ve takviye malzemesinin dağılımını incelemek üzere JEOL JSM-6360 LV elektron mikroskopuyla görüntüler elde edilmiştir. Bu görüntülerden bir kaçı aşağıda gösterilmektedir.



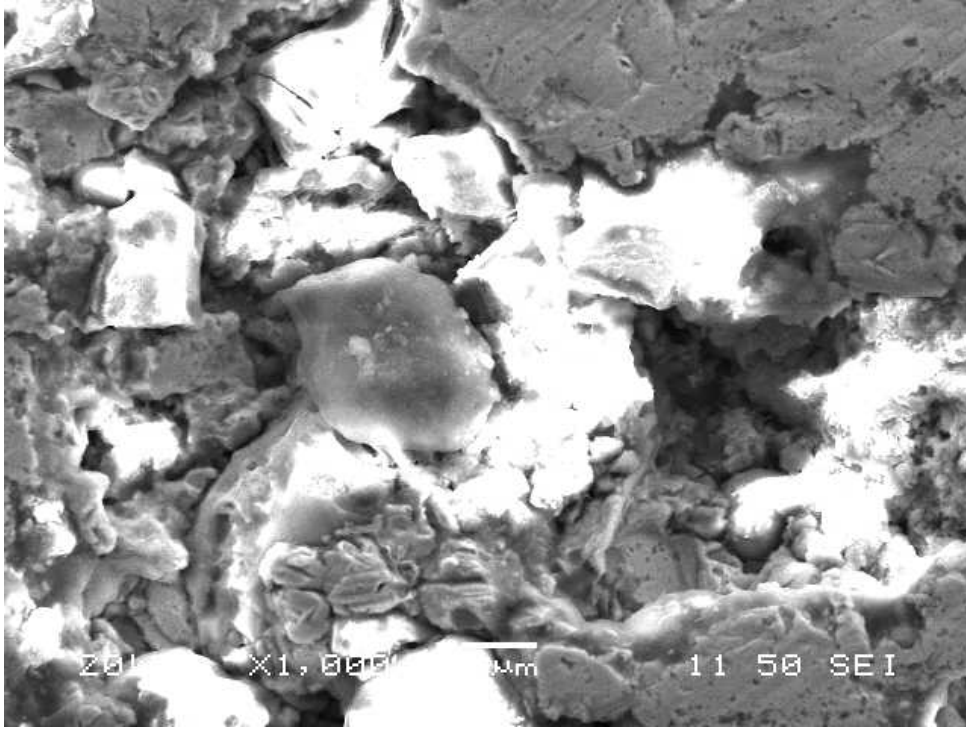
Şekil 4.9. SEM görüntüsü (%30 Zn %70 Spinel, uçucu kül yok)



Şekil 4.10. SEM görüntüsü (%30 Zn, %65 Spinel, %5 uçucu kül)



Şekil 4.11. SEM görüntüsü (%50 Zn,%45 Spinel,%5 uçucu kül)



Şekil 4.12. SEM görüntüsü (%50 Zn, %30 Spinel, %20 uçucu kül)

Yukarıdaki dört görüntüde görülen parlak fazlar yoğunluğu daha az olan malzemeleri, rengi koyu olarak görülen fazlar ise yoğunluğu fazla olan malzemeleri göstermektedir. Fazların üniform olarak dağılmış olması matris ile takviye elemanı arasında uygun bir birleşme meydana geldiğini göstermektedir.

Uçucu kül eklenmesinin yarattığı etki görüntülerde açıkça gözlenebilmektedir. Şekil 4.9.'da uçucu kül katılmamış bir numunenin SEM fotoğrafı verilmektedir. Görüldüğü üzere çinko genel olarak yüzeyi kaplamıştır. Arada daha parlak olarak spinelin içinde bulunan yoğunluğu daha hafif olan metaller görülmektedir.

Şekil 4.10'da ise şekil 4.9'daki numune ile aynı miktarda çinko içeren fakat %5 oranında da uçucu kül içeren bir numune gösterilmektedir. Şekil 4.10'da uçucu külün barındırdığı çinkodan daha ağır olan metal oksitlerin oluşturduğu

koyu renkli fazlar görülmektedir. İki resim arasındaki fark uçucu külden meydana gelmektedir.

Uçucu külün etkisi %50 Zn, %5 uçucu kül içeren Şekil 4.11.'deki numune ile aynı miktarda Zn içeren fakat uçucu kül oranı %20 olan Şekil 4.12.'deki numune arasında da gözlemlenmektedir. Zn sabit tutulup uçucu kül miktarı arttıkça faz oluşumlarında artış meydana gelmektedir.

Uçucu kül miktarı sabit tutulup kompozit malzemedeki çinko miktarı artırıldığında ise yüzeyin yine çinko tarafından kaplandığı ve sürekli fazların oluştuğu gözlemlenmektedir. Bu durum %30 Zn, %5 uçucu kül içeren şekil 4.10.'daki ve %50 Zn, %5 uçucu kül içeren şekil 4.11'deki numunelerde gözlemlenmektedir.

Sobczak ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada, kompozit malzeme üretiminde uçucu kül ilavesinin oluşturduğu faz yapıları incelenmiştir. Uçucu külün içeriğinde bulundurduğu SiO_2 , Fe_2O_3 , Fe_3O_4 gibi yapıların kompozit malzemede bulunan Al'un redoks reaksiyonları sonucunda kompozit malzeme içinde iki kristalik yapı oluşmasını sağladığı belirlenmiştir. Bunlardan birincisi sürekli metalik faz tarafından etrafı sarılan $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ parçacıkları, ikincisi ise Al ile reaksiyona girmeyen CaO yapılarıdır (33).

Sobczak ve arkadaşları tarafından yapılan bu çalışma sonuçları bizim çalışmamızda elde ettiğimiz uçucu kül ilavesinin kompozit malzemedeki fazları arttırdığı sonucunu destekler niteliktedir.

5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

- Argon atmosferinde 500°C 'de 2 saatte MgAl_2O_4 spinel ve uçucu külden oluşturulmuş takviye malzemesinin toz halde bulunan çinko metali ile ıslatılması ve bir kompozit malzeme oluşturulması başarılmıştır.
- Çinko metalinin, MgAl_2O_4 spinelin ve uçucu külün bir arada kullanıldığı bir çalışmaya literatürde daha önce hiç rastlanılmamıştır. Bu bakımından öncü bir çalışma gerçekleştirilmiştir.
- Ayrıca, literatürde basınçsız infiltrasyonla üretilen ve matrisi toz olarak kullanan tüm çalışmalarda, matris malzemesi gözenekli olarak elde edilen takviye malzemesinin üzerine konmuştur (4,6). Ancak, bu çalışmada toz haldeki matris takviye malzemesi ile karıştırıldıktan sonra pellet haline getirilmiştir. Bu üretim tekniği ile hem çinkonun yumuşaklığı sayesinde daha düzgün pelletler oluşması sağlanırken hem de yüksek sıcaklıkta ve toz halde kolayca oksitlenebilecek olan çinkonun takviye malzemesi içinde oksitlenmekten korunduğu tespit edilmiştir.
- Çinko üzerinde yapılan ıslatabilirlik analizleri, çinkonun yüzey geriliminin bir hayli büyük olduğunu, bu nedenle ıslatmanın zor gerçekleşeceğini göstermiştir. Ancak çinkonun toz olarak takviye malzemesi içine katılması yöntemi ile takviye malzemesini ıslatması başarılmıştır.
- Oluşturulan kompozit malzemenin faz yapısı SEM ile görüntülenmiş elde edilen görüntülerde erimiş çinko metalinin takviye elemanını başarılı bir şekilde ıslattığı belirlenmiştir.
- Oluşturulan kompozit malzeme üzerinde yapılan sertlik deneyleri göstermiştir ki, ulaşılabilen en büyük sertlik 91,5 Vickers sertliğidir. Bu değer 22.3 Vickers sertliği olan plaka halindeki çinko metalinin dört katından fazla bir değerdir.
- Oluşturulan kompozit malzeme üzerinde yapılan yoğunluk analizleri sonucunda malzeme içindeki çinko miktarının artmasının malzemenin

yoğunluğunu arttırdığı, malzemedeki uçucu kül miktarının artmasının malzemenin yoğunluğunu azalttığı tespit edilmiştir.

- Ancak, oluşturulan kompozit malzemenin içerdiği kül miktarının kütlece %10 miktarının üzerine çıkmasının, malzemenin fiziksel özelliklerini bozduğu, dağılmalara ve tozlaşmalara neden olduğu belirlenmiştir.
- Diğer taraftan, uçucu külün belli oranlarda kullanılması ile malzemenin sertliğini artırıcı yönde etki gösterdiği belirlenmiştir. Bu belirleme sayesinde endüstriyel bir atık olan uçucu külün bir kompozit malzeme içine katılarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.
- Kullanılan basınçsız infiltrasyon metodunun kolay uygulanabilir ve ucuz olması, hammaddelerin ucuz ve kolay bulunur olması, çinkonun düşük erime sıcaklığı sayesinde çok az enerji harcanarak kompozit oluşturulabilmesi ve endüstriyel bir atığın kullanılarak üretim maliyetlerinin düşürülmesi sayesinde çok kolay ve ucuza üretililecek ve fiziksel özellikleri ile geniş kullanım alanına sahip bir kompozit malzeme üretilmiştir.

Oluşturulan kompozit malzemenin,

- Hava, toprak ve özellikle deniz ortamlarına maruz kaldığında oluşacak korozyonun incelenmesi,
- Değişik şekilde ve ebatta kalıplar kullanılarak amaca uygun şekillerde üretilbilme, kaynaklanabilme gibi karakterizasyon özelliklerinin incelenmesi önerilebilir.

Ayrıca, yine infiltrasyon metodu kullanılarak bu sefer daha üstün fiziksel özellikler gösterebilecek farklı metallerin aynı takviye sistemine uygulanmasının denenmesi önerilebilir. Ancak, ülkemizde özellikle toz halde hammadde üretimindeki mevcut eksikliğin çalışmalar için bir olumsuz etken olduğu bilinmelidir.

KAYNAKLAR

1. Swartz, M., M., "Composite Materials", **Prentice Hall PTR**, New Jersey, 1-15: 170-171 (1997).
2. Haris, B., "Engineering Composite Materials", **The Institute of Metals**, London, 1-15: 84-91 (1986).
3. Swartz, M., M., "Composite Materials Handbook 2nd ed", **McGraw-Hill**, New York, 4.70-4.91 (1992).
4. Subramanian, R., Schneibel, J. H., "Intermetallic bonded WC-based cermets by pressureless melt infiltration", **Intermetallics** **5**, 401-408 (1997).
5. Subramanian, R., Schneibel, J. H., "FeAl-TiC FeAl-WC composites melt infiltration processing, microstructure and mechanical properties", **Materials Science and Engineering**, A244: 103–112(1998)
6. Travitzky, N.A., Shlayan, A., "Microstructure and mechanical properties of Al_2O_3 : Cu–O composites fabricated by pressureless infiltration technique", **Materials Science and Engineering A**, 244: 154–160 (1998).
7. Altinkok, N., Demira, A., Ozsert, İ., "Processing of Al_2O_3/SiC ceramic cake preforms and their liquid Al metal infiltration", **Composites**, Part A, 34: 577–582. (2003).
8. Srinivasa B. R., Jayaram, V., "Pressureless infiltration of Al–Mg based alloys into Al_2O_3 preforms: Mechanisms and phenomenology" **Acta Mater**, 49: 2373–2385 (2001).
9. Varuzan M., Kevorkijan., "The reactive infiltration of porous ceramic media by a molten aluminum alloy", **Composites Science and Technology**, 59: 683-686 (1999).
10. Bilen, M., Mergen, A., Gürü M., Alıcılar, A., "Infiltration of Al Alloys Into $MgAl_2O_4$ Under Different Atmospheres", **Key Engineering Materials**, Vols. 264-268: 1795-1798 (2004),
11. Kurnaz, S. C., "Production of saffil fibre reinforced Zn-Al (ZA 12) based metal matrix composites using infiltration technique and study of their properties", **Materials Science and Engineering**, 346:108-115 (2003).

12. Daniel, B. S. S., Murthy, V.S.R., Murty, G.S., "Metal-ceramic composites via in-situ methods" **Journal of Materials Processing Technology**, 68: 132-155 (1997).
13. Askeland, R. D., "The Science and Engineering of Materials 3rd edition", Erdoğan, M., **Nobel Yayın Dağıtım**, Ankara, (1998).
14. Chawla, K.K., "Composite Materials: Science and Engineering; 2nd edition", **Springer-Verlag**, New York, 165-209 (1998).
15. Befforta, O., Vauchera, S., Khalid, F. A., "On the thermal and chemical stability of diamond during processing of Al/diamond composites by liquid metal infiltration (squeeze casting)" **Diamond & Related Materials**, 13: 1834– 1843 (2004).
16. Kevorkijan, M., "The reactive infiltration of porous ceramic media by a molten aluminum alloy", **Composites Science and Technology**, 59: 683-686 (1999).
17. Metal Madenler Alt Komisyonu Kurşun-Çinko-Kadmiyum Çalışma Grubu Raporu, 8. Beş Yıllık Kalkınma Planı, **Devlet Planlama Teşkilatı**, Ankara, DPT: 2628 - ÖİK: 639 (2001).
18. Gao, N.F., Kume, S., Watari, K., "Zeolite–carbon composites prepared from industrial wastes:(I) Effects of processing parameters", **Materials Science and Engineering** , (in press) (2005).
19. Rozenstrauha, I., Bajare, D., Cimdins, R., Berzina, L., Bossert, J., Boccaccini, A.R., "The influence of various additions on a glass-ceramic matrix composition based on industrial waste", **Ceramics International**, (in press) (2005).
20. Yalçın, H., Gürü, M., "Malzeme Bilgisi", **Palme Yayıncılık**, Ankara, (2002).
21. Travitzky N.A." Microstructure and mechanical properties of alumina/copper composites fabricated by different infiltration techniques" **Materials Letters**, 36: 114–117 (1998)
22. Travitzky, N.A., Gutmanas, E.Y., Claussen, N., "Mechanical properties of Al₂O₃/Si composites fabricated by pressureless infiltration technique", **Materials Letters**, 33: 47-50 (1997).
23. Contreras, A., Lopez, V.H., Bedolla, E., "Mg/TiC composites manufactured by pressureless melt infiltration" **Scripta Materialia**, 51: 249–253 (2004).

24. Gao, M., Pana, Y., Oliveira, F. J., Yangb, L., Baptista, J. L., Vieira, J. M., "The formation of core–rim structures in Fe₄₀Al/(TiC–TiN–WC) cermets produced by pressureless melt infiltration", **Materials Science and Engineering A**, 371: 277–282 (2004).
25. Becher, P. F., Kevin, P. P., "Properties of Ni₃ Al- bonded titanium carbide ceramics", **Journal of the European Ceramic Societ**, 18: 395-400 (1997).
26. Kim, I. S., "Thermal shock resistance of the al₂o₃-metal composites made by reactive infiltration of al into oxide fiber board" **Materials Research Bulletin**, 33(7): 1069–1075 (1998).
27. Levin, L., Frage, N.,. Dariel M. P., "A novel approach for the preparation of B₄C-based cermets" **International Journal of Refractory Metals & Hard Materials**, 18: 131±135 (2000).
28. Mantaux, O., Lacoste, E., Danis, M., "Numerical prediction of microporosity formation during the solidification of a pure metal within a porous preform", **Composites Science and Technology**, 62: 1801–1809 (2002).
29. Saiz, E., Foppiano, S., MoberlyChan, W., Tomsia, A. P., "Synthesis and processing of ceramic–metal composites by reactive metal penetration", **Composites: Part A**, 30: 399–403 (1999).
30. Çirakoğlu, M., Toy, Ç., Tekin, A., Scott, W.D, "The formation of aluminium nitride-boron carbide-aluminium composites by wetting assisted infiltration" **Ceramics International**, 23: 115-118 (1997).
31. Peng, L.M., Caob, J.W., Nodac, K., Hand K.S., "Mechanical properties of ceramic–metal composites by pressure infiltration of metal into porous ceramics", **Materials Science and Engineering A**, 374: 1–9 (2004).
32. Sezer, A., İnan, G., Yılmaz, H. R., Ramyar, K., "Utilization of a very high lime fly ash for improvement of İzmir clay", **Building and Environment**, (2004)
33. Sobczak, N., Sobczak, J., Morgiel, J., Stobierski, L., "TEM characterization of the reaction products in aluminium–fly ash couples", **Materials Chemistry and Physics**, 81: 296–300. (2003).
34. D'Errico, G. E., Bugliosi, S., Cuppini, D., "Erosion of ceramics and cermets", **Journal of Materials Processing Technology**, 118: 448-453 (2001).

EKLER

EK-1: SİNERLENME SONRASI ÇAP ARTIŞI TABLOSU

Hazırlanan numunelerin sinterlenmeden önceki çapları 13 mm olup, sinterlendikten sonraki çapları aşağıdaki çizelgede verilmektedir.

Numune	%Çinko	% Spinel	%Uçucu Kül	r(mm)
1	25	70	5	13,3
2	25	65	10	13,3
3	30	65	5	13,3
4	30	50	20	13,24
5	30	70	---	13,14
6	50	45	5	13,1
7	50	40	10	13,1
8	50	30	20	13,14
9	60	40	---	13,2
10	60	30	10	13,14
11	75	25	---	13,24
12	75	15	10	13,8
13	85	15	---	13,14

ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında Ankarada doğmuştur. Ortaokul ve lise öğrenimini Arı Koleji'nde tamamladıktan sonra 1998 yılında Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Kimya Mühendisliği bölümünde lisans eğitimine başlamıştır. 2002 yılında lisans eğitiminden mezun olarak aynı yıl yüksek lisans eğitimine başlamıştır.

2002 yılından bu yana Başbakanlık Denizcilik Müsteşarlığında Kimya Mühendisi olarak, gemi kaynaklı yağlı atıklar, kimyasalların deniz yoluyla taşınması, denize dökülen petrolün temizlenmesi ve gemi balast suları ile taşınan istenmeyen sucul organizmalar konularında çalışmaktadır.