

**Ti-Fe ALAŞIMLARINDAN BASINÇSIZ İNFİLTRASYON
YÖNTEMİYLE
SERAMİK METALİK KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİ**

İBRAHİM BİLİCİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AĞUSTOS 2005
ANKARA**

İbrahim BİLİCİ tarafından hazırlanan Ti-Fe ALAŞIMLARINDAN BASINÇSIZ İNFİLTRASYON YÖNTEMİYLE SERAMİK METALİK KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİ adlı bu tezin yüksek lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarız.

Doç. Dr. Metin GÜRÜ - Yrd. Doç. Dr. A. Rıza KARAGÖZ
Tez Yöneticileri

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

Başkan : Prof. Dr. Vecihi PAMUK

Üye : Prof. Dr. Ahmet ÖZDEMİR

Üye : Doç. Dr. Süleyman TEKELİ

Üye : Doç. Dr. Metin Gürü

Üye : Yard. Doç. Dr. A. Rıza KARAGÖZ

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

**Ti-Fe ALAŞIMLARINDAN BASINÇSIZ İNFİLTASYON YÖNTEMİYLE
SERAMİK METALİK KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİ**

(Yüksek Lisans Tezi)

İbrahim BİLİCİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ağustos 2005

ÖZET

Yüksek sıcaklık ve korozyona dayanıklı olmalarına rağmen seramik malzemeler, uygulanan yükler altında gevrek davranış gösterirler. Bu özellik seramik malzemelerin kullanım alanlarını sınırlamaktadır. Seramiklerin bu gevreklik özelliği ile metallerin süneklik ve gerilim davranışları son yıllarda seramik malzemelerin mekanik özelliklerini iyileştirmek için seramik metalik kompozitlerin üretimini gündeme gelmiştir.

Bu çalışmada $MgAl_2O_4$ ve Ti-Fe alaşımlarıyla basınçsız infiltrasyon yöntemi kullanılarak seramik metalik kompozit malzeme üretilmiştir. Atmosferik şartlar, Ti-Fe / $MgAl_2O_4$ oranı, infiltrasyon süresi, infiltrasyon sıcaklığı parametre olarak incelenmiştir. Hava atmosferinde 30 ve 120 dakika süre ile 1600 °C'de Ti üzerinde oksitlenme gözlemlenmiştir. Ti-Fe alaşımının argon atmosferinde 30 dakika ve 120 dakika süre ile 1500°C'de fırınlanan numunelerde başarıyla infiltre olduğu tesbit edilmiştir. İnfiltre edilen Ti-Fe alaşımı SEM ve EDS kullanılarak karakterize edilmiştir. Saf titanyumun sertliği 160 HV iken bu değer 1900 HV ye kadar yükseldiği tesbit edilmiştir.

Bilim Kodu : 946

Anahtar Kelimeler : Titanyum, infiltrasyon, sermet, spinel, uçucu kül.

Sayfa Adedi : 82

Tez Yöneticisi :Doç.Dr. Metin GÜRÜ, Yrd.Doç.Dr. A. Rıza KARAGÖZ

**PRODUCTION of CERAMIC METALLIC COMPOSITE MATERIAL FROM
Ti-Fe ALLOYS by PRESURELESS INFILTRATION METHOD**

(M.Sc. Thesis)

İbrahim BİLİCİ

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

August 2005

ABSTRACT

In spite of their high temperature and corrosion strength, ceramics show a brittle nature under applied load. This limits their usage areas to compensate the weakness of ceramics with metal which has high ductility, recently ceramic-metal composite materials are produced to improve the strength of ceramics.

In this study, ceramic-metal composite material is produced by means of, presureless infiltration method using $MgAl_2O_4$ and Ti-Fe alloys. Atmospheric conditions, Ti-Fe/ $MgAl_2O_4$ ratio, infiltration time and infiltration temperature are chosen as a experimental parameters. An oxidation on the surface of Ti particules were observed under at in air 1600°C and different times. Titanium alloys was saccesfully infiltrated under Ar atmosphere into the specimen kept in the furnace for 30 and 120 minutes. The infiltrated Ti-Fe alloys caharacterazed using SEM equipied with EDS. While the hardness of pure titanium is 160 HV, this values increased to 1915 HV.

Science Code: 946

Key Words :Titanium, infiltration, cermet, spinel, fly ash.

Page Number :82

Advisers :Doç.Dr.Metin GÜRÜ, Yrd.Doç.Dr.A. Rıza KARAGÖZ

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca bana yol gösteren tez danışmanım Doç. Dr. Metin GÜRÜ ve Yrd. Doç. Dr. A. Rıza KARAGÖZ' e teşekkürlerimi bir borç bilirim. Ayrıca Doç. Dr. Süleyman TEKELİ'ye, ETİ Holding Ar-Ge personeline, Gazi Üniversitesi Çorum Mühendislik Fakültesi Öğretim Üyelerine, Teknik Eğitim Fakültesi Öğretim Üyeleri ve Araştırma Görevlilerine, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Kimya Mühendisliği Araştırma Görevlilerine ve yardımlarını esirgemeyen ve bu güne kadar maddi manevi olarak her zaman yanımda olan AİLEME teşekkür ederim.

Bu çalışma, 2001K120590 No'lu DPT Projesi kapsamında Gazi Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü'nde kurulmuş olan Gazi Üniversitesi İleri Malzeme ve Boya Araştırma Merkezi Laboratuvarları' nda (GİMBAM) yapılmış olup merkez yöneticisi ve çalışanlarına ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	viii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	ix
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xi
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	xii
1.GİRİŞ	1
1.1. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	3
1.1.1. Tabakalı kompozit malzeme	3
1.1.2. Liflerle donatılı kompozit malzeme	4
1.1.3. Tanelerle donatılı kompozit malzeme	4
1.1.4. Taneciklerle güçlendirilmiş kompozit malzeme.....	4
2. GENEL BİLGİ ve LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	5
2.1. Seramikler.....	5
2.1.1. Seramiklerin sınıflandırılması.....	6
2.1.2. Seramik metalik kompozitlerin üretim yöntemleri	10
2.2. Spinel Oksit.....	21
2.2.1. MA-Spinel malzemeler.....	22
2.2.2. MA-Spinelin uygulama alanları.....	24
2.3.Titanyum.....	25
2.3.1 Titanyumun fiziksel kimyasal ve mekanik özellikleri.....	27
2.3.2. Türkiye’de titanyum.....	34
2.3.3. Titanyumun kullanım alanları.....	35
2.4. Seramik Metalik Kompozitlerde Literatür Araştırması.....	37
2.4.1. Kristalografik bağlanma	38
2.4.2. Mekanik bağlanma	38

	Sayfa
2.4.3. Kimyasal bağlanma.....	39
3. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	48
3.1. Deneyin Yapılışı.....	54
4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA.....	57
4.1. Pellet Hazırlanmasında Elde Edilen Sonuçlar.....	57
4.2. Normal Atmosferde Yapılan Deney Sonuçları.....	58
4.3. Argon Atmosferinde Yapılan Deney Sonuçları.....	60
4.4. Sertlik Analizleri	61
4.5. Ti-Fe Alaşımı İnfiltrate Edilmiş Numunelerin SEM ve EDS İncelenmesi.....	66
5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÖNERİLER.....	74
5.1. Sonuçlar.....	74
5.2. Öneriler.....	76
6. KAYNAKLAR.....	77
7. ÖZGEÇMİŞ.....	82

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Titanyumun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri.....	28
Çizelge 3.1. Ti alaşımının XRF analiz sonucu.....	48
Çizelge 3.2. Kullanılan spinel oksitin XRF analizi.....	52
Çizelge 3.3. Kullanılan uçucu külün XRF analizi sonucu.....	53
Çizelge 4.1. İnfiltrate edilmiş malzemelerin sertlik ölçümleri.....	62

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Sıkıştırma döküm tekniği.....	12
Şekil 2.2. Sıkıştırılmalı dövme dökümün basamakları.....	13
Şekil 2.3. Basınçlı infiltrasyon metodu.....	14
Şekil 2.4. Basınçsız infiltrasyon.....	14
Şekil 2.5. Erimiş metal karıştırılması yöntemi	16
Şekil 2.6. Plazma püskürtme aygıtının şematik görünümü.....	18
Şekil 2.7. Osprey Yöntemi.....	18
Şekil 2.8. Folyo matriks ile filamentlerin kesit görünümü.....	21
Şekil 2.9. $MgOAl_2O_3$ faz diyagramı.....	23
Şekil 2.10. MA-spinelin kafes yapısı.....	24
Şekil 2.11. Titanyum metalinde 882,5 °C de oluşan kristal faz değişimi.....	29
Şekil 2.12. Ti-Fe Faz diyagramı.....	29
Şekil 2.13. Titanyum-oksijen faz diyagramı.....	31
Şekil 2.14. Katı sıvı ve gaz arasında oluşan temas açısını gösteren şematik diyagram.....	37
Şekil 3.1. Deneyde kullanılan Ti-Fe alaşımının TGA grafiği.....	50
Şekil 3.2. Spinelin tane boyutu analizi.....	52
Şekil 3.3. Deneyde kullanılan spinelin X-ışınları analizi.....	53
Şekil 3.4. Pellet ve alaşımın şematik görünümü.....	56
Şekil 4.1. Stearik asit miktarının malzemenin sertliğine etkisi.....	63

Şekil	Sayfa
Şekil 4.2. %10 SA içeren malzemelerde uçucu külün karşılaştırılması.....	63
Şekil 4.3. Dolgu oranına göre kütlece %10 SA içeren pelletten hazırlanmış malzemelerin sertliğine uçucu külün etkisi	64
Şekil 4.4. Dolgu oranına göre kütlece %20 SA içeren pelletten hazırlanmış malzemelerin sertliğine uçucu külün etkisi.....	65
Şekil 4.5. %10 SA içeren spinel oksitin O-Mg-Ti-Si-Al-Fe ile haritalanmış malzemenin EDS analizi.....	67
Şekil 4.6. %10 SA içeren spinel oksit malzemede EDS analizi grafiği.....	67
Şekil 4.7. % 20 SA içeren spinel oksit malzemede EDS analizi grafiği.....	68
Şekil 4.8. %30 SA içeren spinel oksit malzemede EDS analizi grafiği	70
Şekil 4.9. %10 SA ve %10 uçucu kül içeren malzemede EDS analizi grafiği.....	71
Şekil 4.10. %10 SA ve % 20 uçucu kül içeren malzemede EDS analizi grafiği.....	72
Şekil 4.11. %10 SA ve %40 uçucu kül içeren malzemede EDS analizi grafiği.....	73
Şekil 4.12. %10 SA ve %40 uçucu kül içeren Si-Ti-Fe ile haritalandırılmış malzemede EDS analizi.....	73

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Spinel oksit.....	22
Resim 3.1. Tensiyometre.....	51
Resim 3.2. Deneyde Kullanılan Ti alaşımı.....	51
Resim 3.3. Pellet hazırlama cihazı.....	55
Resim 3.4. Gözenekli yapı haline getirilmiş pellet.....	55
Resim 4.1. Trinoküler mikroskop altında gözenekli spinel oksit.....	58
Resim 4.2. 1600°C de normal atmosferde oluşan oksitlenmiş malzeme.....	58
Resim 4.3. 1600°C de normal atmosferde oluşan oksit tabakasının genel SEM görüntüsü.....	59
Resim 4.4. Normal atmosferde gerçekleştirilen deney sonrası alaşımda meydana gelen oksit büyümesinin SEM fotoğrafı	59
Resim 4.5. %99 luk Ar gazı beslenerek inert hale getirilmiş fırında 2. saat süre ile bekletilen aşlım üzerindeki oksit tabakası.....	60
Resim 4.6. Ar atmosferinde 2 saat bekletilen Alumina pota içerisindeki erimiş malzeme.....	61
Resim 4.7. %10 SA içeren spinel oksit malzemenin SEM görüntüsü	66
Resim 4.8. %20 SA içeren spinel oksit malzemenin SEM görüntüsü.....	69
Resim 4.9. % 30 SA içeren spinel oksit malzemenin infiltre olamayan kısımdan alınan SEM görüntüsü.....	69
Resim 4.10.% 30 SA içeren spinel oksit malzemenin kırılmış yüzeyinden alınan SEM görüntüsü.....	70
Resim 4.11. %10 SA ve %10 uçucu kül içeren malzemenin SEM görüntüsü.....	71
Resim 4.12. %10 SA ve %20 uçucu kül içeren malzemenin SEM görüntüsü.....	72

SİMGELER ve KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar açıklamalarıyla birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
γ_{sg}	Sıvı-katı ara yüzey enerjisi
γ_{kg}	Katı-gaz ara yüzey enerjisi
γ_{ks}	Katı-sıvı ara yüzey enerjisi
θ	Katı sıvı ara yüzeyi ıslatma açısı

Kısaltmalar	Açıklama
HV	Vickers Sertlik Numarası
KÜMAŞ	Kütahya Manyezit İşletmeleri A.Ş.
MMK	Metal Matriksli Kompozit
SEM	Scanning Electron Microscopy
SMK	Seramik Matriksli Kompozit
TGA	Termogravimetrik Analiz Cihazı
XRD	X-Ray Diffractometer
XRF	X Işınları Floresans Cihazı

1. GİRİŞ

Uygarlık tarihi boyunca malzemenin ne kadar önemli olduğunu anlamak için eski tarih çağlarının taş devri, tunç devri, demir devri gibi başlıklarla anıldığını hatırlamak yeterlidir. Günümüzde malzeme eskisine göre daha fazla yaşamımızda, buna paralel olarak da ekonomide önem kazanmıştır.

Artık metaller gibi klasik malzemelerin birçok özelliklerini gelişen teknolojinin ihtiyaçları için yeterli olmayınca daha üstün özelliklere sahip kompozit malzemeler üretilmeye başlanmış ve bu konuda hızlı bir gelişme sürecine girmiştir. Klasik malzemelere göre en belirgin özellikleri hafiflik ve sağlamlıktır. Yapılan araştırma ve geliştirme neticesinde, bu malzemelerin çekme, darbe, yorulma dayanımlarının artırılması, kimyasal direnç ve elektrik özelliklerinin iyileştirilmesi mümkün olmuştur. Kompozit malzemeler yaygın bir şekilde havacılık, deniz taşıtları, otomotiv, makine, inşaat, askeri ve uzay teknolojisi alanlarında kullanılmaya başlanmıştır (1).

Kompozit malzeme iki ya da daha fazla sayıdaki aynı veya farklı gruptaki malzemelerin en iyi özelliklerini yeni ve tek bir malzemedede toplamak amacıyla makro düzeyde birleştirilmesiyle oluşturulan malzemeler olarak adlandırılırlar. Karbon elyafı plastikler, otomobil lastikleri ve sermetler bunlara örnek olarak gösterilebilir. Üç boyutlu nitelikteki bu bir araya getirmede amaç, bileşenlerin hiçbirinde tek başına mevcut olmayan bir özelliğin elde edilmesidir. Diğer bir deyişle, amaçlanan doğrultuda bileşenlerinden daha üstün özelliklere sahip bir malzeme üretilmesi hedeflenmektedir. Bir kompozit malzeme genelde düşük elastikiyet modül ve dayanıma sahip reçine veya metalik matriks ana fazı ile bunun içine dağılmış daha az oranda kullanılan tali fazı olan takviye elemanlarından oluşmaktadır. Ancak, molekül ve atomal düzeyde birleştirilen malzemeler alaşımlar mikroskopik olarak homojen olduklarından kompozit malzeme olarak sınıflandırılmazlar. Çelikteki krom ve vanadyum bir karışım oluşturur ve bir kompozit değildir. Yapı mikroskopik olarak homojendir. Fakat karbür uçlu takımlar, yumuşak kobalt metal matriks içine sert karbürlerin yerleştirilmesi parçacıklı bir kompoziti oluşturur (1).

Kompozit malzemeler aslında binlerce yıldan beri mevcuttur. Arkeologlar Mısır'da M.Ö. 2800 yıllarında lamine edilmiş tahta tabakalar bulmuşlardır. Yine Orta Doğu'da daha fazla eğilme dayanımı elde etmek amacıyla ok yayları üst üste konulan malzemelerle farklı lif yönleri oluşturularak kompozit yapılmıştır. Orta Çağ Avrupası'nda ok başı, farklı tabakalı malzemelerden yapılmıştır (2, 3).

Yukarıdaki tanıma göre, kompozit malzemedeki genelde dört özellik aranmaktadır

- İnsan yapısı olması, dolayısıyla doğal bir malzeme olmaması,
- Kimyasal bileşimleri birbirinden farklı ve belirli arayüzlerle ayrılmış en az iki malzemenin biraraya getirilmiş olması,
- Farklı malzemenin üç boyutlu olarak biraraya getirilmiş olması,
- Bileşenlerinin hiçbirinin tek başına sahip olmadığı özellikleri taşıması, dolayısıyla bu amaçla üretilmiş olması (4).

Bu tanımlamalarda yer alan "malzemenin üç boyutlu olarak bir araya getirilmiş olması" ifadesi, burada fiziksel anlamda bir araya getirilmeyi vurgulamaktadır. Bu tanımlamalara göre malzeme, mikroskobik açıdan heterojen bir malzeme özeliği göstermekte, ancak makroskobik açıdan homojen bir malzeme gibi davranmaktadır.

Bu açıdan bakıldığında, ahşap, kemik gibi doğa ürünü bileşik malzemeler; üçüncü boyutta çok küçük olan ve bu nedenle kesit içerisinde özelliklere katkıları hissedilemeyen boya, galvaniz gibi malzeme ve kaplamalar; mikroskobik açıdan yapısal farklılıklar gösterse de metal alaşımları, kompozit malzeme grubunda kabul edilmemektedir.

Uygulamada, kompozit malzeme üretiminde genellikle mekanik dayanım, basınç, çekme, eğilme, çarpma ve yorulma dayanımı, aşınma direnci, korozyon direnci, kırılma tokluğu, yüksek sıcaklığa dayanıklılık, ısı iletkenliği veya ısı direnç, elektrik iletkenliği veya elektriksel direnç, akustik iletkenlik, ses

tutuculuğu veya ses yutuculuğu, rijitlik, ağırlık, görünüm gibi özelliklerinden birinin veya birkaçının geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Böylelikle dolaylı olarak malzemenin birim maliyeti de düşürülebilmektedir (5).

1.1. Kompozit Malzemenin Sınıflandırılması

Buraya kadar sözü edilen ve açıklanan hususlar dikkate alınarak, kompozit malzemeyi dört alt grupta toplamak mümkündür:

- Taneciklerle Güçlendirilmiş Kompozit Malzeme
- Tanelerle donatılı kompozit malzeme
- Liflerle donatılı kompozit malzeme
- Tabakalı kompozit malzeme

Bunların her birinde, özellikle ilk üç türde, sürekli bir matris fazı içinde dağılı bir ikinci faz mevcuttur. "İç yapı bakımından homojen, belirli yüzeylerle sınırlı bir parça" veya daha ayrıntılı olarak, "dengedeki bir dizge içinde, başka bölümlerden fiziksel ayrılıklar gösteren ve kesin yüzeylerle sınırlanmış tektürel yapılı bölge" diye tanımlanan fazlardan, sürekli olan ve matris diye de adlandırılanın içerisinde diğer faz yer almaktadır.

1.1.1. Tabakalı kompozit malzeme

Bu gruba giren kompozitler, yapısal yönden taneli ve liflerle donatılı kompozit malzemedan farklılık göstermektedir. Bu tür malzemede en az iki adet olan farklı fazlar tabakalar şeklinde kompozitin yapısı içinde yer almaktadır. Genelde bu fazlardan biri, kompozitlik özelliklerini kazandıran sürekli faz, diğeri ise bu sürekli fazı oluşturan tabakaları birarada tutan bağlayıcı fazdır.

1.1.2. Liflerle donatılı kompozit malzeme

Genellikle yeterli basınç dayanımına oranla çekme, eğilme, çarpma dayanımları çok düşük düzeyde kalan veya zayıf yapı, kırılğan malzemenin

zayıf olan yönlerinin iyileştirilmesi, kırılmanın giderilmesi, malzemenin sünekleştirilmesi gibi amaçlarla bu özellikleri iyileştirecek nitelikte liflerle donatılmasıyla üretilen kompozitlerdir. Bu tür kompozitler, matriks fazını oluşturan malzeme ile fazın özelliklerine bağlı olarak, "kırılgan matriks ve sünek lifli kompozitler" ile "sünek matriks ve kırılabilir lifli kompozitler" olarak iki grupta toplanmaktadır.

1.1.3. Taneciklerle donatılmış kompozit malzeme

Bir matris içinde milimetre ve üzerindeki boyutlarda taneciklerin yer aldığı bir kompozit malzeme türüdür. Bu gruba örnek olarak beton malzeme verilebilir.

1.1.4. Taneciklerle güçlendirilmiş kompozit malzeme (TKM)

Bu tür kompozit malzemeler, bir veya birden çok malzemenin katı asıltı (süspansiyon) halinde farklı bir malzemedan oluşan matriks içerisinde yer aldığı malzemelerdir. Bir arada bulunan matriks ve parçacıklar, metalik veya metalik olmayabilir ve dört grupta toplanmaktadır:

- Metalik olmayan tanecik ve metalik olmayan matris kompozitleri
- Metalik tanecik ve metalik olmayan matris kompozitleri
- Metalik tanecik ve metalik matris kompozitleri
- Metalik olmayan tanecik ve metalik matris kompozitleri

2. GENEL BİLGİ VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Seramikler

Seramikler metal ve metal olmayan elementlerin oluşturduğu iyonik bağ ile bağlanmış bileşiklerdir. Elektropozitif elementler Na, Mg, Fe, Al gibi metallerden eloktronegatif elementlerde Cl ve O gibi ametal elementlerden oluşur. Bu ikisi arasında iyonik bağ kurulur. Yönsüz bağlı iyonlar ardışık dizilerek kristal yapı oluşumu eğilimini gösterirler. Bununla beraber doğada kısmen amorf yapıda da bulunurlar. Yoğunlukları metaller ile plastikler arasında yer alır ve genellikle $2-3 \text{ g/cm}^3$ arasındadır.

Seramikler çok özel uygulamalar dışında plastik olarak şekil değiştiremez, sert ve gevrek olurlar. Yüksek sertlikleri dolayısıyla Al_2O_3 ve TiC gibi, aşındırıcı (abrasif) olarak kullanılmaya elverişlidirler. Erime sıcaklıkları yüksek ısı ve elektrik iletkenlikleri düşüktür. Refrakter malzemeler, elektrikli ısıtıcılarda ve fırınlarda yalıtım malzemesi olarak kullanılırlar. Çekme mukavemetleri düşük olmakla beraber çoğunlukla basma mukavemetleri yüksektir. Dış etkilere iyi dayanırlar. Beton, taş tuğla ve kiremit gibi seramik malzemeler yapılarda büyük ölçülerde kullanılır (6).

Yeni üretim teknolojilerinin geliştirilmesiyle yüksek sıcaklığa dayanıklı metal oksit, silisyum karbür ve silisyum nitrür gibi birçok özel seramikler üretilmiştir. Ticari amaçlı üretilen seramiklerle bu tür özel seramiklerin aralarında büyük özellik farkları mevcuttur. Örneğin Al_2O_3 , SiC ve Si_3N_4 gibi seramiklerin eğilmede kırılma dayanımları ile normal seramik malzemeler arasında % 100 den fazla fark vardır.

Benzer amaçla kullanılan metalik malzemelere göre özel seramiklerin daha düşük özgül ağırlık daha yüksek sıcaklık dayanımı ve daha iyi korozyon dayanımı gibi üstün özellikleri vardır. Kötü yönleri kırılman olmaları ve sıcaklık değişimlerine karşı daha az dayanıklı olmalarıdır. Ancak süper alaşımlarla ulaşılabilen en üst kullanım sıcaklığı olan $1050 \text{ }^\circ\text{C}$ ' nin üzerine çıkılmak

istenildiğinde seramiklerin bazı sakıncaları göz önünde tutularak özel seramikler tercih edilir (6).

2.1.1. Seramiklerin sınıflandırılması

Metalik ve organik olmayan tüm malzemeler genel olarak "seramik malzeme" kapsamında nitelendirilebilir (7). Seramik malzemeler farklı bileşimde kristal ve cam yapılı fazları içermekte ve genellikle porozite ihtiva etmektedir. Bu farklı yapı bileşenlerinin miktarı ve dağılımları seramik malzemelerin özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Örneğin; yapıda mevcut fazların yerleşim düzenini değiştirmek, yalıtkan olan bir seramik malzemeyi iletken hale getirebilmekte veya seramik malzemenin mekanik özelliklerini değiştirebilmektedir. Bu nedenle, seramik malzemelerin geliştirilmesi konusunda ana fikir, mikro yapı üzerine yoğunlaşmıştır (8).

İleri seramikler

Seramik endüstrisinin en önemli özelliği diğer birçok endüstrilerin temel taşlarından biri olmasıdır. Seramik alanındaki gelişmeler önemli ölçüde geleneksel seramikleri kapsamaktadır. Oysa günümüzde ileri seramikler konusunda araştırma ve geliştirmeye büyük önem verilmektedir.

Geleneksel seramiklerin üretimi gerek miktar ve gerekse satış açısından önemli bir hacim tutmasına rağmen son çeyrek asırda çok üstün özelliklere ve önemli kullanım alanına sahip yeni seramikler geliştirilmiştir. Geliştirilen bu seramikler, günümüzde "İnce Seramikler" veya "İleri Teknoloji Seramikler" olarak da tanımlanmaktadır (7).

İleri seramikler özellikle ileri teknoloji süreçlerinde yüksek aşınma ve korozyon dayanımları, elektriksel özellikleri, ısı özellikleri, sertlikleri sebebiyle endüstriyel alanların hemen hemen tümünde kullanılmaktadırlar. Özellikle işlevsel amaçlı seramiklerin gelişen ve sürekli yenilenen elektrik elektronik sektöründe son derece yaygın kullanım alanları bulunmaktadır. Bu gruptaki seramikler iletken, süperiletken, yalıtkan, ferroelektrik, piezoelektrik özellikleri ve

ışık hafızaları ile önemli işlevleri yüksek hız ve yüksek verimde yerine getiren malzemelerdir. ileri teknoloji seramiklerinin % 60'ından fazlası elektromanyetik parçalarda, % 25-26'sı makine parçası olarak ve % 6-7'si de biyokimyasal amaçla üretilmektedir.

Son gelişimlerin ışığında özellikle Japonya'nın liderliğinde ileri seramikler alanında "Yeni Sinerji Seramikleri" programıyla bu malzemelerin enerji, çevre, uzay-havacılık ve diğer geleneksel endüstrilerde çok amaçlı işlevlerle uygulanması hedeflenmektedir. Bu malzemelerle geleceğin teknolojilerinde enerjinin verimli kullanımı, çevreye duyarlı teknolojilere öncülüğü ve işlevsel özellikleriyle en zor uygulamalarda kullanımı hedeflenmektedir.

Fonksiyonel seramikler

Fonksiyonel seramikler terimi; elektronik, elektromekanik, optik, optielektronik veya manyetik fonksiyonları olan seramikleri içermektedir. Geleneksel seramiklerin, mükemmel bir refrakter malzeme olduğu bilinmesine rağmen çok yüksek sıcaklık ve yükler altında kullanımları sınırlıdır. Oysa ileri teknoloji seramiklerinin saflık dereceleri ve yapılarının kontrollü olması nedeniyle kullanım alanları çok geniştir.

Fonksiyonel seramikler, tasarım ve proses yönünden cazip malzemelerdir. Seramiklerdeki temel araştırmaların önemli bir bölümü bu alandadır. Bunlara ilaveten, ergimiş fazın katılaştırılması, tozların şok dalgaları ile sinterlenmesi ve mikro-ışın teknolojisi gibi yeni teknolojiler fonksiyonel seramiklerin kullanımı için yeni kapılar açmaktadır.

Fonksiyonel seramiklerin bazı uygulama alanları: Piezoseramikler, membranlar, elektronik seramikler, filtreler, absorbanlar ve ferritler olarak verilebilir. Bu gruba giren seramik malzemeler entegre devre kartlarında altlık olarak, kapasitör ve rezistör olarak elektrik-elektronik sistemlerinde yaygın kullanıma sahiptirler. Bunların yanı sıra seramikler, entegre optik olarak fiber-optik haberleşme sistemlerinde önemli bir teknoloji alanı haline gelmişlerdir.

Ayrıca işlevsel amaçlı olarak seramikler yakıt hücreleri, piller ve güneş pilleri olarak kullanılmaktadırlar.

Yapısal seramikler

Yapısal seramikler daha karmaşık olup, özellikle yüksek sıcaklığa dayanıklı makine (veya konstrüksiyon) parçalarını içermektedir. Yüksek sıcaklığa dayanıklı yapısal seramiklerin çeşitli ısı motorlarında ve enerji santrallerinde kullanılması önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlamaktadır. İleri teknoloji seramikleri ayrıca, kesici takım olarak kullanıldığında hızlı bir üretim yapma imkanı doğmakta ve sorunsuz bir üretim gerçekleşmektedir.

Alümina, kısmen stabilize edilmiş zirkonya, mullit gibi bazı oksit seramikler yapısal seramik olarak kullanılmakta ve buji, valf, kesici takım ve mekanik bağlantı pulu olarak üretilmektedir.

Bu malzemelerin mekanik özellikleri yapının çok inceltilmesi ile veya ince partiküllerin dispersiyonu ile geliştirilmektedir.

Yapısal seramiklerin üstün sürtünme özellikleri, bu malzemelerin otomobil parçaları, türbin kanatları ve rotor olarak kullanılma potansiyelini gündeme getirmiştir. Bu durum gerçekleştirilirse dizel motorun çalışma sıcaklığı 700°C den 1100°C ye çıkacaktır ki bu da verimin % 50 artması demektir.

Yapısal seramiklerin uygulama alanlarından bazıları; sızdırmazlık elemanları, aşınma plakaları, contalar, kesici uçlar ve nozüllerdir. Yapısal amaçlı uygulamalar içinde yer alan seramik kesici takım uçları metalik ve tungsten karbür-kobalt sert metal takımlara göre daha yüksek hızlarda işleme ve kesme kabiliyeti, %60-75'lere varan maliyet düşüşleri ve yüksek verimlilikleriyle önemli yer tutarlar. Günümüzde yaygın olarak kullanılan nümerik kontrollü tezgahlarda vazgeçilmez takımlar olarak çok önemlidirler (8).

Seramik metalik kompozitler

Mühendislik malzemelerinin yeni bir sınıfını oluşturan seramik metalik kompozitler; metallerin süneklik ve tokluğu, seramiklerin yüksek mukavemet ve yüksek elastite modülü özellikleri ile birleştirmeleri neticesinde son derece önemli mühendislik malzemeleri ortaya çıkmıştır. Matriks olarak davranan metal bağlantı elemanıdır. Matriksin asıl fonksiyonu kompozite uygulanan yükü takviye malzemesine iletmek veya dağıtmaktır. Genel olarak Al, Ti, Mg, Ni, Cu, Pb, Fe, Ag, Zn, Sn ve Si alaşımları matriks malzemesi olarak kullanılmaktadır. Fakat bu alaşımlardan Al, Ti ve Mg alaşımları daha geniş kullanım alanına sahiptir (9).

Son yıllarda Al-Li (8xxx) alaşımlarının kaynak edilebilme özelliklerinin iyi olması nedeniyle bu alaşımlar üzerindeki çalışmalar artmıştır. Mg, Li gibi alaşım elementleri içeren Al alaşımları takviye fazı ile iyi bir bağlanma oluşturduğu için bu alaşım elementlerini içeren Al alaşımı matriks alaşımı olarak kullanılmaktadır (10).

Titanyum ve titanyum alaşımları yüksek sıcaklıkta mukavemetini koruyabilme özelliğinden dolayı uçak motorlarında, kompresörlerin kanat ve disklerinde kullanılmaktadır. Titanyum alaşımlarının metal matriksli kompozit üretiminde matriks malzemesi olarak kullanılması üretilen kompozitin yüksek sıcaklıklarda kullanımını sağlamaktadır. Bu nedenle yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılacak metal matriksli kompozit malzemelerin üretiminde çoğunlukla titanyum ve titanyum alaşımları tercih edilmektedir.

Yaygın olarak kullanılan bir diğer malzeme de Magnezyum alaşımlarıdır. Magnezyum alaşımları, düşük genleşme katsayısı, yüksek mukavemet özellikleri ve düşük yoğunluğa sahip olması nedeniyle Mg metal matrikse sahip kompozit malzemeler, havacılık uygulamalarında da kullanılmaktadır (11).

2.1.2. Seramik metalik kompozitlerin üretim yöntemleri

Kompozit malzemelerin geleneksel malzemeler karşısında üstün mekanik özellikler sergilemesi son yıllarda bunların üretim teknikleri üzerinde daha yoğun çalışmalar yapılmasına yol açmıştır. Fakat bu kompozitlerin üretim maliyeti hala yüksek ve problemler mevcuttur. Yüksek teknolojilere ulaşabilmek ancak çok özel kabiliyetleri olan malzemelerin bulunması ve üretilmesiyle mümkündür. Genellikle metal matriks kompozit malzemelerin üretiminde önceki bölümde açıklandığı gibi Al, Mg, Zn, Cu, ve Ni gibi malzemeler matriks olarak kullanılırken; silisyum bor karbür, 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 matriks seçiminin yanında üretim tekniği ve konsolidasyon parametreleri de çok önemlidir(11). Üretim tekniği; elyafa, matrikse, parça şekline ve istenilen mekanik ve fiziksel özelliklere göre belirlenmektedir. Bunlar;

a) Sıvı hal üretim teknikleri,

b) Katı hal üretim teknikleri

olarak çok genel şekilde sınıflandırılabilir. Başka bir deyimle bunlar sıvı metal emdirilmesi, sıkıştırılmalı döküm veya sıvı dövme, sıvı metal karıştırması, plazma püskürtme, toz metallurji, vakumda presleme ve sıcak presleme teknikleridir. Bu malzemelerin üretimleri için genellikle karıştırma ve infiltrasyon teknikleri tercih edilmektedir (12,13).

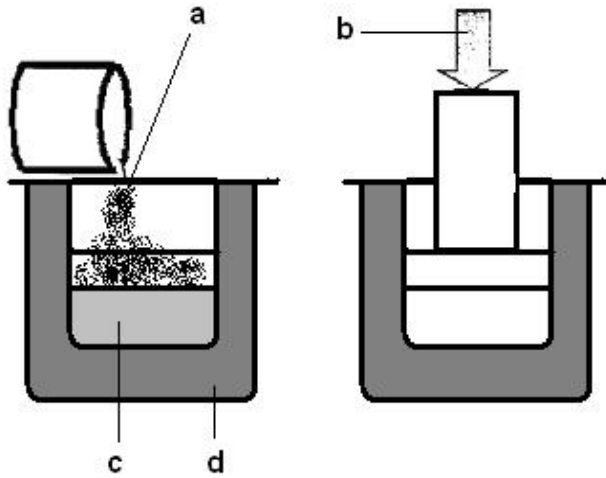
Sıvı metal emdirmesi

Sıvı metal emdirmesi tekniği, hem kısa elyaf, kılcal kristalli hem de sürekli elyaf takviyeli metal matriksli kompozitlerin (MMK) üretilmesinde yaygın olarak kullanılan bir metottur. Bu metot da prensip, önce istenilen şekilde uygun bağlayıcı kullanılarak master (preform=önşekil) hazırlanır. Kompozitte

tasarlanan elyaf hacim içeriği ve doğrultuları bu aşamada yapılır. Hazırlanan bu model (preform) kalıp içerisine yerleştirilmekte ve ergimiş metal enjekte edilerek bu mastarın ıslatılması sıvı metal emdirerek sağlanır, bu sırada organik bağlar yanar ve katılaşmaya bırakılır. Emdirme işlemi, sıvı dövme döküm tekniğinde olduğu gibi basınçla gerçekteştirilebilir. Bu durumda elyaflar arasına matriksin girmesi ile açığa çıkacak atıl gazlarda yapı içerisinde sıkışıp kalmayıp dışarı atılabilecektir. Emdirilme işlemi, vakumda yapılırsa elyaf yüzeyi aktivitesi yüksek olduğundan daha iyi ıslanabilirlik sağlanabilmektedir (12).

Sıkıştırmalı veya sıvı dövme döküm tekniği

Bu yöntemde takviyeden oluşturulmuş preform veya yatağa şekil 2.1'de görüldüğu gibi sıvı alaşım hidrolik basınç altında emdirilmektedir. Sıvıyı soğutma etkisinden kaçınmak için kalıp, preform ve zımba ön ısıtmaya tabi tutulmaktadır.



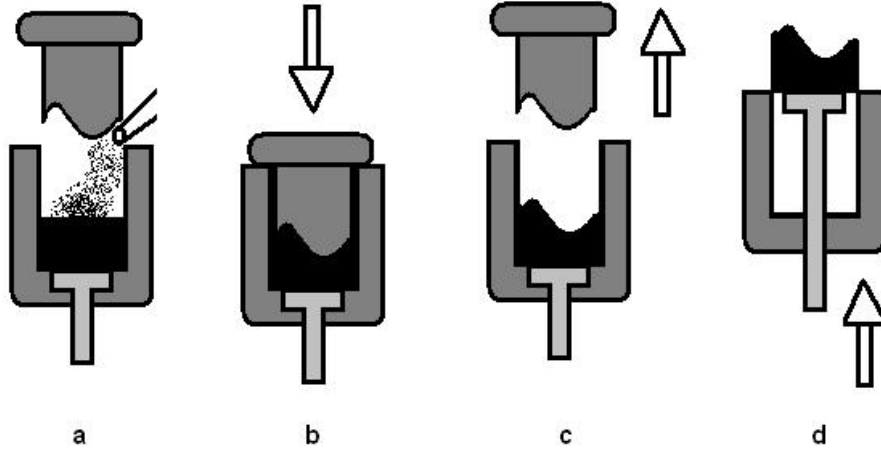
Şekil 2.1. Sıkıştırma döküm tekniği

a)Matriks sıvı alaşımı, b) Basınç, c)Isıtılmış preform, d)Isıtılmış kalıp

Her bir kompozit sistemi için parçacıklar alaşımın sıvı sıcaklığını aşmayacak kritik sıcaklığa ısıtılmaktadır. Şayet ön ısıtma sıcaklığı metalin sıvı sıcaklığını aşacak olursa sıvı penetrasyonu tamamlanmamış olacaktır. Fakat yüksek basınç altındaki sıvı, kalıp ile zımba arasındaki boşluklardan sızarak dağılma gösterebilecektir. Silisyum karbür, grafit, alüminyum oksit ve paslanmaz çelik gibi takviye elemanları, ergimiş metal içerisinde gereği gibi ıslanamaz. Bu nedenle, sıvı metal emdirilmesi tekniği ile kompozit üretimi daha zordur. Fakat sıkıştırımlı döküm tekniğinde ergimiş metalin elyaf demeti içerisine (preform) basınçla emdirme esasına dayandığından mikro boşluklar önlenilmekte ve dolayısı ile preform içerisinde atıl gazlar dışarı atılarak daha sağlam, gözeneksiz bir yapı elde edilebilmektedir (6). Şekil 2.2’de sıvı dövme ile metal emdirme tekniğinin şematik resmi ve aşamaları gösterilmiştir.

Bu metotta genellikle sıvı metale 70-100 MPa basınç uygulanmakta ve katılaşma zamanı kısa olduğundan elyaf matriks ara yüzeyinde herhangi bir reaksiyon bölgesi oluşmamaktadır. Sıvı dövme döküm ile üretilen bir kompozitte yüksek ısı transferiyle birleşen hızlı soğutma neticesinde ince taneli düzgün bir yapı oluşabilmektedir. Ayrıca, yüksek basınç seramiğin

ıslanabilirliğini de artırabilmektedir. Bu işlemle yüksek verim, iyi ara yüzey bağı ve düşük maliyette parça üretimi gerçekleştirilebilir (6).

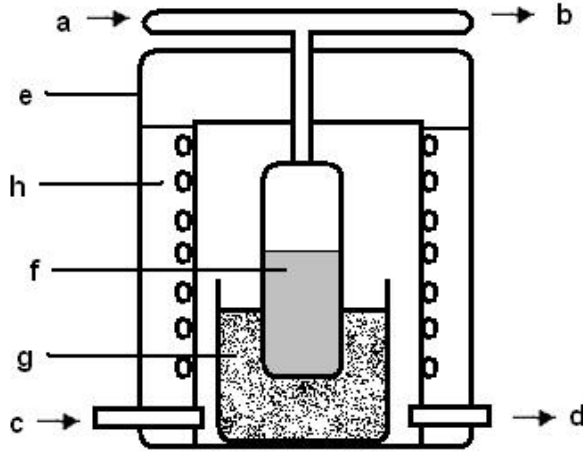


Şekil 2.2. Sıkıştırımlı dövme dökümünün basamakları

a) Dolum, b) sıkıştırma, c) Bırakma, d) Kalıptan çıkarma

Basıncılı ve basınçsız infiltrasyon

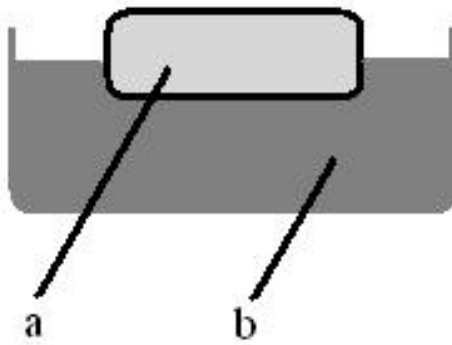
Basıncılı infiltrasyon tekniğinin sıkıştırma dökümünden farkı, sıvının preform veya yatak içerisine bir zımba ile değil de basınçlı soygaz ile itilmesidir. Bu şekildeki bir sistem Şekil 2.3' de şematik olarak gösterildiği gibi bir ucu basınç ünitesi içerisine yerleştirilmiş pota içerisindeki sıvı metale daldırılmıştır. Diğer ucu normal atmosfer veya vakuma bağlanmış ve içerisinde takviye malzeme bulunan bir silindirden meydana gelmektedir. Takviye geçişi engelleyecek şekilde silindir içerisine yerleştirilir. Silindir içerisindeki bu parçacıklar sıvı metale daldırılır veya başka bir yerde ön ısıtmaya tabi tutulur (14).



Şekil 2.3. Basıncılı infiltrasyon metodu

a) Argon giriş, b) Argon çıkış, c) Azot giriş, d) Azot çıkış, e) Kapak, f) Preform, g) Sıvı metal, h) Isıtıcı eleman

Sıvı emdirme proseslerinin tümünde temel mekanizma, gözenekli parçacık yatağı ve preformdaki kanallar vasıtasıyla sıvı metal veya alaşımların akışıdır. Sıvı bir katıyı ıslattığı zaman gözenekli bir ortam içerisinde sıvının kendi kendine infiltrasyonu gerçekleşir. Aksi halde minimum bir dış basınç uygulanması gerekmektedir.



Şekil 2.4. Basıncsız infiltrasyon

a) Alaşımlı ingot, b) Takviye malzemesi

Basıncsız infiltrasyon metodunda; sıvı metalin takviye parçacık içerisinde kendi kendine infiltrasyonu sağlayan bu yöntemde paketlenmiş seramik toz yatak, azot atmosferinde basınç uygulanmaksızın Al-Mg alaşımının infiltrasyonu sağlanabilir.

Sıvı metal karıştırması

Bu üretim yönteminin oldukça değişik versiyonu var olmakla beraber takviye malzemesinin tamamıyla sıvı haldeki matriks içerisine girmesini sağlamak için bazı yaklaşımlar şöyle özetlenebilir:

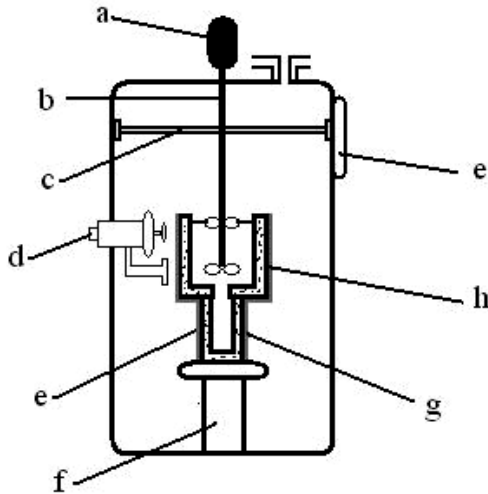
- a) Bir enjeksiyon tabancası kullanılarak sıvı içerisine taşıyıcı soy gaz ile tozların enjeksiyonu,
- b) Kalıp dolarken sıvı içerisine seramik parçacıkların ilavesi,
- c) Mekanik hareket ile oluşturulan vorteks içerisinden parçacıkların sıvı metale ilavesi,
- d) Sıvı içerisine, matriks alaşımı ve takviye 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 banyo ile sıvı sürekli hareket halinde iken parçacıkların sıvı içerisine enjeksiyonu (15).

Yukarıdaki işlemlerin hepsinde metal matriks ile takviye arasındaki güçlü bağ; yüksek işlem sıcaklığı kullanımı ve yeni faz oluşturulması gereklidir. Bu nedenle de takviye fazı ile matriks arasındaki ıslatmayı geliştirmek için takviye ile etkileşim gösteren bir element ile matriksin alaşımlanması halinde başarılı olunmaktadır. Doğal olarak ıslanmayan parçacıklar için ıslatmayı iyileştirici alaşım elementi ilavesi halinde veya parçacıkların ıslatılabilir bir örtü ile kaplanması gerekmektedir.

Bu sayede 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 önlenabilir. Büyük boyutlu çubuklar üretilebilir. Elyaf matriks çifti uygun seçilirse tekrar eritilerek döküm elde edilebilir.

Sıvı faz prosesinde oldukça ilerleme kaydedilmiş olmasına karşı bu metodun dezavantajları da; Elyafar arasındaki kalan boşluklar tamamen yok edilmeyebilir. Mekanik karıştırma sırasında seramik parçacıkların topaklanması veya çökmesi, metal fazda ikincil fazların segregasyonun oluşması, aşırı ara yüzey reaksiyonlarının oluşabilmesi, mekanik hareketlilik sırasında seramik parçacıkların kırılması gibi çeşitli zorlukları mevcuttur.



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

Düşük ıslatma açısına sahip kompozit sistemlerinin hazırlanması, daha kolay olması nedeni, alaşım bileşiminin ayarlanması, takviye malzemenin kaplanması veya yüzey modifikasyonu ile ıslatma açısı düşürülmeye çalışılmaktadır. Sıvı karıştırma metodu ile yapılan bazı çalışmalarda; alüminyum folyo içerisindeki takviye malzeme sıvı yüzeyinde belirli bir süre bekletildikten sonra karıştırma işlemi ile kompozit karışım sağlanmıştır. Bunun dışında elektromanyetik etki ile sıvı içerisinde oluşturulan dönme hareketi yardımıyla takviye ilave çalışmaları gerçekleştirilmektedir.

Hızlı katılaştırma yöntemi

Basınç altında suyla soğutulan bakır disk üzerine sıvı jeti halinde verilerek 40 - 60 μm kalınlığında, 6 - 8 μm uzunluğunda, 0,5 – 0,7 μm genişliğinde plaka tipli tozlar elde edilir. Bunlar bir araya getirilerek değişik ikincil işlemlere tabi tutulur. İki kritik proses parametresi ise bakır diskin soğuma hızı ve disk üzerine verilen malzeme miktarıdır. Şayet disk çok hızlı dönecek olursa sıvı, toz üretmek için yeterli uzun süre diske temas etmeyecektir. Çok yavaş dönmesi durumunda ise, ikincil işlem için kabul edilebilir olmayan kalın lameller elde edilecektir (14).

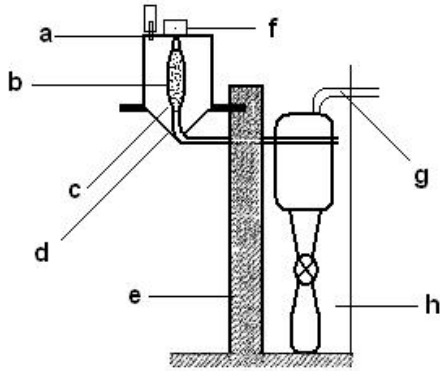
Yan katı karıştırma

Bu yöntem bazen "Compocasting" veya "Rheocasting" olarak da anılmaktadır. Bu anılan yöntemde katı ile sıvı arasındaki sıcaklığa sahip yan katı karıştırmak suretiyle yapılan takviye ilave tekniğidir. Alaşımın sıcaklığı sıvı sıcaklığının 30 - 50 °C üzerine çıkarılıp şiddetli şekilde karıştırılarak yan-katı aralığa kadar soğumasına müsaade edilir. Karıştırma devam ederken takviye ilavesi gerçekleştirilir. Nispeten düşük viskoziteye sahip karışım doğrudan basit kütük şeklinde dökülebilir ve bu durumda yöntem ise "rheocasting" adını alır. Şayet karışım sıvı sıcaklığı üzerine çıkarılıp karıştırılarak yapılırsa bu durumda da işleme "compocasting" adı verilmektedir (14, 16).

Plazma püskürtme

Silisyum karbür parçacıklı kompozitleri üretmek için bu teknik ilk defa ALCAN Şirketi tarafından uygulanmıştır. Alcan püskürtme işlemi aygıtı şematik olarak Şekil 2.6' de gösterilmiştir. Bu teknikte püskürtülecek alaşım, indüksiyon fırınında ergitilir ve potaya basınç uygulanır. Ergimiş alaşım püskürtülürken aynı zamanda parçacıklı elyaflar atomize edilmiş sim içerisine enjekte edilerek önceden ısıtılmış alt katman üzerine çökeltilir ve toplayıcı üzerinde katı bir çökelti oluşur. Bu metodda alüminyum gibi erime noktası nispeten düşük olan metaller uygulanmalıdır. Tabaka,

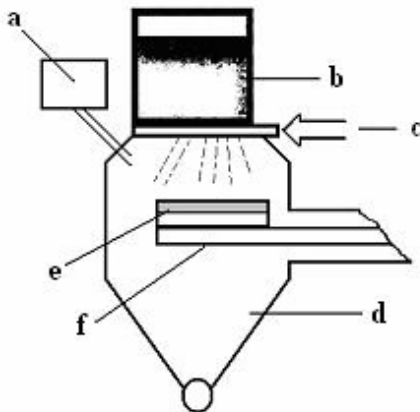
içi boş tüp gibi değişik karmaşık şekiller, sistem modifiye edilerek üretilebilir.



Şekil 2.6. Plazma püskürtme aygıtının şematik görünümü

a) SiC Enjeksiyonu, b) Katı çözelti, c) Toplayıcı, d) Püskürtme bölümü, e) Takviyeli destek, f) Fırın, g) Basınçlı kurutma deliği, h) Fazla püskürtülen toz

Bu yönetime "Osprey" metodu da denmektedir. Bu metotta; takviye parçacıkları, inert gaz jeti ile birlikte atomize edilecek olan akan sıvı alaşım içerisine verilmektedir (Şekil 2.7). Püskürtülen karışım, takviye edilmiş metal matriks kütük şeklinde bir alt katman üzerinde toplanmaktadır. Birikim alt katmanı hareketli olduğundan hıza göre katman kalınlığı belirlenmektedir (14).



Şekil 2.7. Osprey Yöntemi şematik gösterimi

a) Seramik enjeksiyon, b) Sıvı metal, c) Atomizasyon gazı, d) Sprey haznesi, e) Toplayıcı, f) Toplayıcı alt katman

Toz metalurjisi tekniği

Bu teknikte, toz halindeki metal ve seramik malzemeler birleştirilebilir. Genellikle, takviye elemanı partikülleri olarak silisyum karbür, grafit, nikel, titanyum ve molibden ile matriks malzemesi olarak da metalik bakır, nikel, alüminyum, kobalt ve titanyum esaslı alaşımlar ve çelikler kullanılmaktadır. Bu metotta tozlar istenilen şekli oluşturmak için tasarlanan hacim oranlarında karıştırılıp kalıp içerisine konularak preslenir. Presleme işlemi soğuk ya da sıcak olarak yapılabilmekte fakat ara yüzey bağını iyileştirmek ve partikül kırılmasını azaltmak için sıcak preslemeden daha iyi netice elde edilebilmektedir.

Seramik parçacıkların sıvı metal tarafından ıslatılmasındaki güçlük nedeniyle toz metalürji ile kompozit üretimi ilk geliştirilmiş metotlardan biridir.

Difüzyon bağlama ve vakumda presleme

Difüzyon bağlama ve vakumda presleme metoduyla 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 matriks 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.

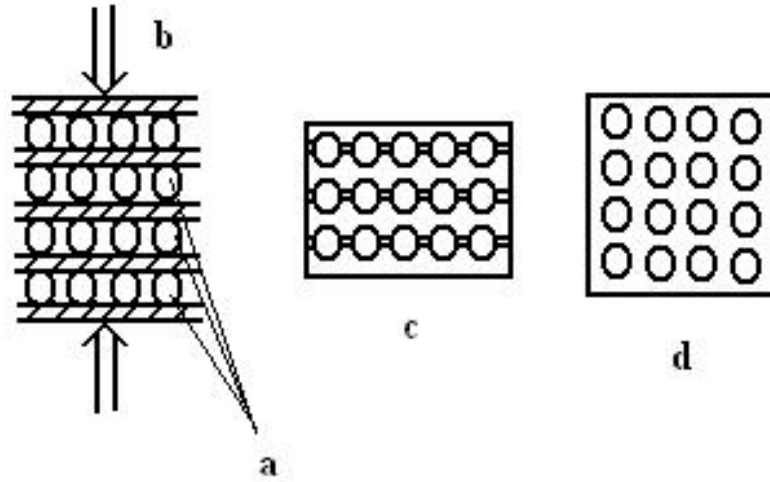
Daha sonra belirli sıcaklıkta genelde erime sıcaklığına yakın bir sıcaklıkta ısıtılarak difüzyon ile birleştirmenin gerçekteşmesi için preslenir veya haddelenir. Ancak bu işlemde metal levhalar ile elyaf yüzeylerinin çok temiz ve

oksitsiz olması gerekir, aksi halde ara yüzeyde arzulanan bir difüzyon bağı oluşturulamaz.

Sıcak presleme ve sıcak izostatik presleme

Bu işlem, Al, Mg ve Ti gibi metal matriksli kompozit panelleri üretmek için başarılı şekilde kullanılır. Şekil 2.9'da gösterildiği gibi, filamentler metal matriksten oluşan ince folyo tabakalar arasına yerleştirilir ve kompoziti yerinde tutmak için bir bağlayıcı ile spreyleneir ve sonra bağlayıcı yakılarak ayrılır. Daha sonra preform kompozit tamburdan çıkarılır, istenilen ölçüde kesilir ve sıcak pres kalıp içine istiflenir daha sonra basınç kaldırılır ve termal uzamalarda uyumsuzluklardan ileri gelen kalıcı gerilmeleri en aza indirmek için, komple parça yavaş şekilde soğumaya bırakılır. Sıcak presleme ile ilgili üretilen kompozitlerin :

- 1) Yüksek dayanım,
- 2) Dayanım/yoğunluk oranı geleneksel malzemelerden 2-4 kat daha yüksek olması
- 3) Yüksek sıcaklıklarda dayanımı muhafaza etmesinin mükemmel olması,
- 4) Yorulma dayanımının iyi olması,
- 5) Karışımlar kuralına tam uyum göstermesi gibi avantajlara sahip olur.



Şekil 2.8. Folyo matriks ile filamentlerin kesit görünümü
a) Elyaf demeti, b) Metal folyo, c), d) Kompozit malzeme

2.2. Spinel Oksit

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 çeşiti vardır (17). Fakat bunlardan yalnızca birkaç tanesi sıklıkla kullanılmaktadır. Spineller demirin en önemli maden filizlerinden birini içerir. Grubun genel formülü XY_2O_4 tür. X, magnezyum, demir, nikel, manganez veya çinko gibi iki değerli metalleri, Y ise alüminyum, krom, demir veya çinko gibi üç değerli metal iyonlarını temsil eder.



Resim 2.1. Spinel oksit

Spinel grubu içinde en fazla göze çarpan refrakter malzeme $MgOAl_2O_3$ spinelidir. Spinel yapısı elmas yapısı üzerine kurulur. Bunlar aynı yüksek simetriye sahiptirler. İyonlarının pozisyonu hemen hemen elmas yapıdaki karbon atomları tarafından işgal edilen pozisyonlara benzerdir.

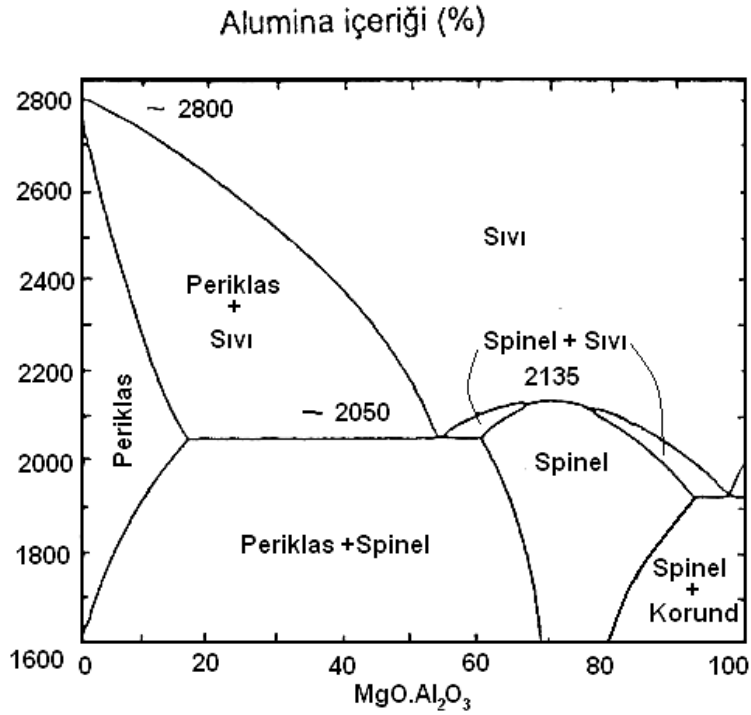
Yapıdaki diğer iyonların düzeni elmas yapı simetrisine uyar. Oktahedral kristal formunda olan spineller daha çok tercih edildiği için ticari bir marka olmuştur. Spinel yapısı gösteren bazı mineraller şunlardır:

- Spinel (Magnezyum Alüminyum Oksit)
- Gahnit (Çinko Aluminyum Oksit)
- Magnetit (Demir Oksit)
- Minimum (Kurşun Oksit)

2.2.1. MA-Spinel Malzemeler

$MgO - Al_2O_3$ ikili faz diyagramında bir adet normal eriyen ara kimyasal bileşik gözlenir. $MgAl_2O_4$ spineli olarak bilinen bu malzemenin stokiometrik

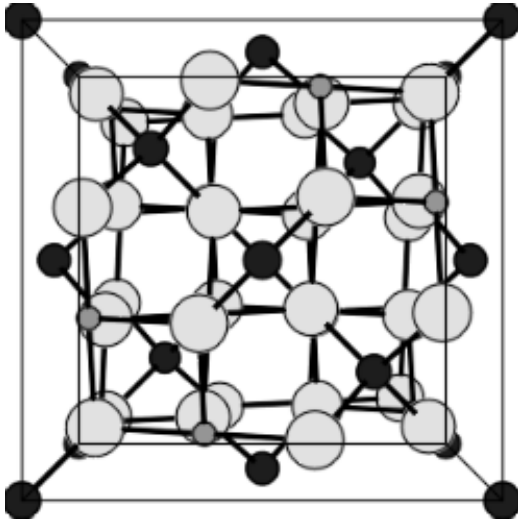
bileşimi %28,2 MgO, %71,8 Al_2O_3 'dür. Erime sıcaklığı ise 2135 °C 'dir. Şekil 2.9'da MgO- Al_2O_3 ikili faz diagramı görülmektedir (18).



Şekil 2.9. MgOAl_2O_3 faz diyagramı

Spinel bileşim ağırlıkça % 45 manyezit, % 55 alümina içerir ve erime noktası 2030 °C 'dir. Alümina tarafındaki ikinci ötektik ise ağırlıkça % 97 Al_2O_3 , % 3 MgO içerir ve ergime noktası 1925 °C 'dir. Bu bölgedeki ötektik nokta, ince taneli sinterlenmiş alümina üretimi için teknik öneme sahiptir (18).

$\text{MgO}.\text{Al}_2\text{O}_3$ formülü magnezya-alümina spinelidir. Şekil 2.10'da MA-spinelin kafes yapısı görülmektedir. Spinelin latis sabiti tahminen 8 – 8,5 Å° dur.



Şekil 2.10. MA-spinelin kafes yapısı

$MgAl_2O_4$ spinelinde Mg katyonlarının koordinasyon sayısı 4, alüminyum katyonlarının ise 6'dır. Oksijen anyonları ise (111) düzlemine paralel olarak sıkı paket yapıyı oluşturur. Birim hücredeki toplam 24 katyondan, 8 Mg katyonu tetrahedral, 16 alüminyum katyonu oktahedral olarak yerleşmiştir (19).

2.2.2. MA-Spinelin uygulama alanları

Çelik üretim sektöründe dökülebilir refrakterlerin dayanım karakteristiklerini geliştirmek amacıyla, yüksek alümina içerikli spineller geliştirilmiştir. Bu yeni malzemenin kullanımı ile cürufa dayanıklılık magnezya zengin spinellere oranla önemli oranda gelişmiştir.

Çimento fırınlarında MA-Spinel kullanımı

Magnezya zengin spinel tuğlalar başarıyla kullanılmaktadır. Magnezya spinel tuğlalar yüksek derecede saflık, düşük oranda kireç içeriği, % 20 'ye varan oranlarda MA-spinel varlığı gibi özelliklere sahiptir. Magnezya zengin spinel çatlak oluşumunu ve/veya çatlağın yayılmasını engeller. Spinel magnezya matriksindeki inert davranışı ve matrikse göre yüksek termal genleşme farkı nedeniyle tuğla yapısında bir devamsızlık işlevi görür. Spinel magnezyanın

yarısı oranında genişir, Yayılmaya başlayan çatlak, enerjisini spinelle temas ettiği anda harcar, bu sayede spinel, magnezya spinel tuğlada meydana gelen yüksek gerilimler, kararlı çatlak oluşumu ile yapıyla uyumlu hale gelir (20).

Çimento fırınlarında meydana gelen dört önemli termal ve kimyasal aşınma vardır. Bunlar; tuz sızması, silikat sızması, termal şok ve redüksiyondur. Magnezya spinel kullanımı ile bu aşınmalarda açık şekilde azalmalar gözlenmiştir (20).

Cam fırını rejeneratörlerinde MA- Spinel kullanımı

MA-spinel, 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.

MA-spinel malzemeler SO_3 ve alkali sülfata karşı diğer refrakterlere nazaran daha dirençlidir. Yapılan korozyon testlerinde MA spinel 900 - 1000 °C sıcaklıklarında Na_2SO_4 eriyiğine maruz bırakılmış, ayrıca cam fırınlarının proses anında yüksek kimyasal direnci de kanıtlanmıştır. Buna bir neden de şu anda kullanılan manyezit-krom tuğlaların yol açtığı çevre kirliliğidir (21).

2.3. Titanyum

1791 yılında İngiliz mineralojisti William Gregor, Madagaskar'daki Manakara yakınlarında Karakurum adlı yerde çalışırken esasını belirleyemediği bir metal olan Titanyum'u bulmuş ve Manakara şehrinin adından esinlenerek metale "Menakirit" adını vermiştir. Ancak bundan 4 yıl sonra Alman kimyacı Martin Heinrich Klaproth yaptığı çalışma sonunda bu metalin yeni bir element olduğunu bulmuş ve Yunan Mitolojisi'nde toprağın ilk oğullarının ismi olan "Titan" 'dan gelen "Titanyum" ismini vermiştir (22,23).

Titanyumun çeliğe benzer sertlik ve direnci, alüminyumun şekil verilebilirliği, magnezyumun düşük yoğunluğu ve platinin korozyon direnci özellikleriyle birleştiğinde karşımıza pek çok metalle kıyaslandığında üstün özelliklere

sahip bir metal çıkmaktadır. Bunun yanı sıra titanyumun yüksek sıcaklıklardaki zamana bağlı deformasyon direnci ve yer kabuğunda bulunan elementlerin % 0,6' sını oluşturarak en yaygın bulunan 9. element olmasıyla da diğer metallere göre avantaj sağlamaktadır (24, 25).

Titanyum, element olarak doğada bol miktarda bulunmaktadır. Yerkabuğunun % 0,6 'sını oluşturmaktadır ve göktaşları ile güneşte de bulunduğu saptanmıştır. Apollo 17'nin Ay'dan getirdiği taşlarda % 12 'ye varan oranlarda Titandioksit (TiO_2) bulunmuştur (26). Titanyum üstün metalik özelliklerine karşın cevher üretiminin çoğu metale indirgenmeden TiO_2 biçiminde kullanılır.

Titanyum nadir bir element olarak bilinirse de yer kabuğunda en çok bulunan altıncı elementtir. Cevher yoğunlaşmasının seyrek olması ve cevherden titanyum eldesinin çok zor olması onu değerli bir metal yapmaktadır. En önemli titanyum mineralleri; rutil ve ilmenittir.

Rutil: Tetragonal sistemde kristallenir. Özgül ağırlık 4,2-4,4; rengi sarımsı kırmızı, siyah ve kızıl kahvedir. Elmas cilalıdır. Kimyasal bileşimi TiO_2 dir.

İlmenit : Trigonal sistemde kristallenir. Özgül ağırlığı 4-4,5 dur. Rengi siyahtır. Metalik ve yarı metalik cilalıdır. Kimyasal bileşimi $FeTiO_3$ dür.

Doğada sıklıkla rutil (TiO_2) ya da ilmenit ($FeTiO_3$) formunda bulunan titanyum, ilk Titanyum'un eriyik halde oksijen ve azota olan ilgisi nedeniyle saf olarak elde edilmesi yüksek bir teknoloji gerektirmiş ve bu sorun ancak 20. yüzyılın ortalarında (1938-1940) Dr. Wilhelm Kroll'un geliştirdiği bir işlemle çözülebilmiştir. “Kroll” işlemi, titanyum tetra klorürün koruyucu atmosfer ortamında magnezyum ile indirgenmesine dayanır. Bu yöntemle elde edilen titanyumun yapısı sünger gibi gözenekli olduğundan metale “titanyum süngeri” ya da “sünger metal” de denilmektedir (27).

1946 yılında ABD Maden Bürosu, Kroll işleminin ticari yönden uygulanabilirliğini ortaya koyunca, ABD Silahlı Kuvvetleri titanyumla

ilgilenmeye başlamıştır. Bu ilgiye öncelikle titanyumun yüksek sıcaklıkta (yaklaşık 1660 °C) eriyen bir metal olması ve yüksek sıcaklıklarda sahip olduğu dayanımı sayesinde özellikle askeri donanımlar için nikel ve kobalt içerikli alaşımlara bir alternatif olması neden olarak gösterilmiştir. Kısaca titanyumun acil durumlarda bir destek malzeme olacağı umulmaktadır (26).

ABD Maden Bürosu, Dr. Kroll'un çalışmaları ile ilgilenmiş ve büroya ait bir pilot bölge, Nevada eyaletindeki Boulder şehrinde kurulmuştur. Titanyumun özellikleri büro tarafından saptanmış, büronun sağladığı örnekler diğer kurumların da ticari ilgisini kazanmış ve titanyum endüstrisi 2. Dünya Savaşı'nın hemen ardından oluşmaya başlamıştır. Titanyuma olan bu ticari ilgiyi harekete geçiren; metalin alüminyum ve çelik arasındaki düşük yoğunluğu, korozyona karşı mükemmel dayanımı ve mineral varlıklarda büyük ölçüde bulunması olmuştur (27). Titanyum günümüzde, sahip olduğu mükemmel mekanik ve fiziksel özellikleri, hafif olması ve biyolojik uyumluluğu nedeniyle yaygın olarak uzay sanayiinde, optik alanda gözlük çerçevelerinde, saatlerde, tıpta, kardiyovasküler cerrahide kalp kapakçıkları ve ortopedik alanda kullanılmaktadır (24, 28).

2.3.1 Titanyumun Fiziksel, Kimyasal ve Mekanik özellikleri

Titanyumun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 2.1'de görülmektedir.

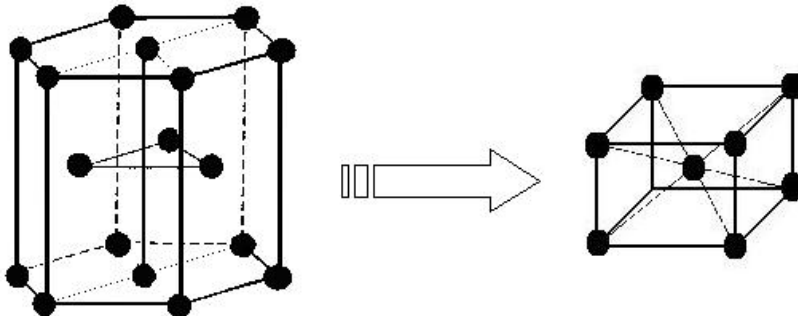
Çizelge 2.1. Titanyumun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri (27)

Atom Numarası	22
Atom Ağırlığı, g	47,78
Yoğunluğu, g/cm³	4.51
Erime Noktası, °C	1664
Kaynama Noktası, °C	3260
Elastikiyet Modülü, N/mm²	100000
Gerilim Direnci, psi	75000-50000
Isı İletkenliği, W/m.K	21,4

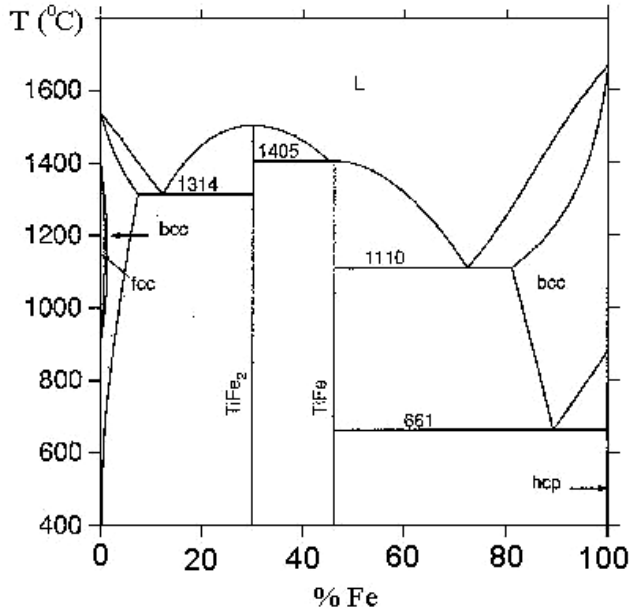
Fiziksel özellikleri

Atomik Özelliği; Atom numarası 22 olan titanyum periyodik cetvelin 4. grubunda yer alan bir metaldir. Krom, kobalt, nikel ve demir gibi geçiş metali olan titanyumun atom ağırlığı 47,78 yoğunluğu ise 4,51 g/cm³ dür (27).

Metallerin fiziksel özelliklerinin belirlenmesinde kristal yapı önem kazanmaktadır. Pek çok metal kübik merkezde konumlanmış, kübik dış yüzeyde konumlanmış ya da hegzagonal yapıda bulunur. Titanyum 882,5 °C de yüksek mekanik dayanıklılığa ve iyi şekil verilebilirlik özelliklerindeki hegzagonal alfa fazındayken, bu sıcaklığın üzerinde kübik yapıda merkezde konumlanmış beta fazına döner (Şekil 2.11).



Şekil 2.11. Titanyum metalinde 882,5 °C de oluşan kristal faz değişimi



Şekil 2.12. Ti-Fe Faz diyagramı

Alfa fazında titanyum, yumuşak ve şekil verilebilirken beta fazında sert, dayanıklı ve şekil verilebilirliği zordur. Faz geçiş ısısı alfa stabilize edici elementler olan Alüminyum (Al), oksijen (O), azot (N) ve karbon (C) ile ya da beta stabilize edici elementler olan molibden (Mo), vanadyum (V), tantalyum (Ta), demir (Fe) ile değiştirilebilir (28).

Isı iletkenliği: Titanyum ısı iletkenliği düşük metallerden biridir. Çelikte kıyaslandığında ısı iletkenlikleri birbirine yakın olmakla birlikte alüminyumdan çok düşüktür. 20-25°C de 21,4 w/m.K'dir (24).

Isısal genleşme katsayısı: Metaller erime noktalarının altında ısıtıldığında boylarında bir artış gözlenir. Özellikle metal destekli porselen, restorasyonlarda kullanılan metallerin, ısı ve soğuma eğrilerine sokulduğunda boyutsal kararlılıklarını korumaları için düşük genleşme katsayılı olmaları istenir. Titanyumun genleşme katsayısı oldukça

düşüktür. Değer olarak $9,1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ iken, nikelin $13,3 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, alüminyumun ise $28,6 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ dir (24).

Elektrik iletkenliği: Metallerin atomik yapıları sahip oldukları elektriksel özelliklerden önemli derecede etkilenir. Titanyum kötü bir elektrik iletkenidir. Bakırın iletkenliğinin % 100 olduğu düşünülürse, titanyumun %3,1 dir (24).

Magnetik özellikleri: Titanyumun magnetik alandan etkilenimi çok düşük değerlerdedir. Bu özelliği ile magnezyum, alüminyum ve paslanmaz çeliklere benzerlik gösterir (24).

Kimyasal özellikleri

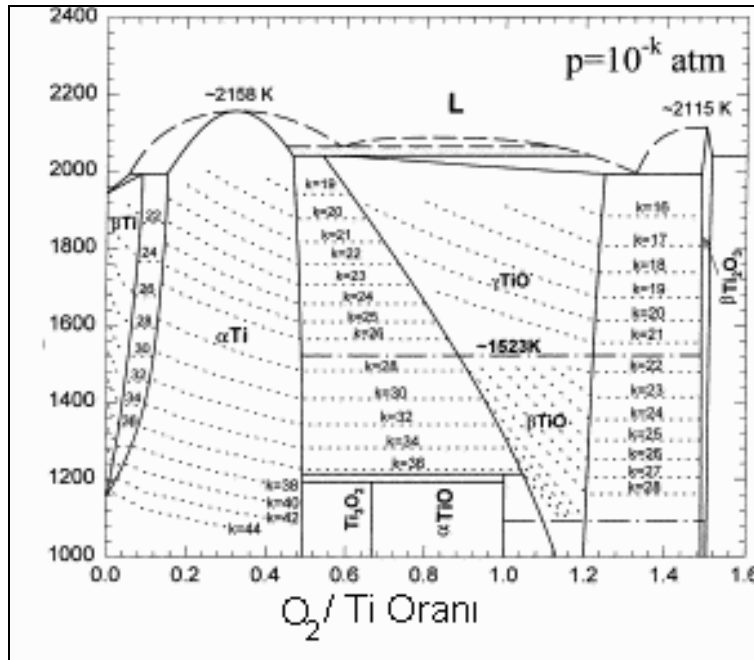
Gazlarla etkileşimi: Titanyumun kimyasal reaktifliği ortamın sıcaklığına bağlıdır. Özellikle atmosfer koşullarında ve yüksek sıcaklıklarda gazlara karşı olan reaktifliğin, zamanla da doğru orantılı olarak artmaktadır. Bu nedenle yüksek sıcaklıklarda çalışılırken inert atmosferin ya da yüzey koruyucularının kullanımı gerekmektedir (24).

Titanyum oksijenle karşılaştığında metal yüzeyinde saniyenin onda biri gibi bir sürede, metali dış ortamdan ayıran $100\text{ }^{\circ}\text{A}$ kalınlığında, kararlı ve metalle bağlantısı iyi olan bir "pasifizasyon (film) tabakası" oluşmaktadır. Oda sıcaklığında bile oluşabilen bu tabaka titanyuma, korozyon direnci ve biyolojik uyumluluk kazandırmaktadır (28).

Titanyumun oksijene olan yatkınlığı metal yüzeyinde bir pasifizasyon tabakası oluşturmakla kalmaz, aynı zamanda $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ nin üzerinde oksijenin titanyum içine difüzyonu ile pasifizasyon tabakasına göre daha kalın, sert ve kırılgan olan bir tabaka oluşturur.

Oksijen konsantrasyonunun %5-13 arasında bulunduğu durumlarda beta/alfa allotropik geçiş fazı kaybolmakta ve tüm sıcaklıklarda titanyum alfa-monofaza dönmektedir. Bu nedenle oksijen difüzyonuyla yüzeyde oluşan bu tabakaya "alfa-case" adı verilmektedir. Alfa-case' in kompleks olan

kompozisyonunda, döküm atmosferinden kaynaklanan karbon, oksijen, hidrojen, azot gibi elementlerden kaynaklanan silisyum bulunabilir. Alfa-case tabakası malzemenin gerilme direnci ve şekil verilebilirliğini azalttığından oluşması istenmeyen bir tabakadır, sertlik ölçümleri, döküm sırasında çok az miktarda bile olsa hava ile temas eden titanyumun oksijen (O), azot (N) ve karbonu (C) absorbe etmesi nedeniyle mekanik özelliklerinde önemli değişiklikler olduğu ve şekil verilebilirliğinin azaldığını göstermektedir. Bu tabakanın kalınlığı değişken olmakla birlikte 0,2 mm ya da daha fazla olabilmektedir (24).



Şekil 2.13. Titanyum-oksijen faz diyagramı

Titanyumun azotla olan reaksiyonu oksijene benzerdir. Titanyumun reaksiyona girdiği diğer bir gazda hidrojendir. Oda sıcaklığının biraz üzerindeki bir sıcaklıkta 1 g titanyum 400cc gaz absorbe edebilmektedir. Buna ilaveten yüksek sıcaklıklarda, sıcak titanyum metali, CO₂ absorbe edebilir ve bunun sonucu olarak da karbür ve oksit formu oluşabilmektedir (24).

Asitlerle etkileşimi: Titanyumla en hızlı reaksiyona giren asit, hidrojen florürdür. Titanyum ve titanyum alaşımlarının kimyasal analizlerinde metali çözmek, metalurjik çalışmalarda ise metal yüzeyinde makro ve mikro düzeyde çukurcuklar oluşturmak amacıyla kullanılmaktadır

Statik şartlarda, titanyum yüzeyinde oluşan oksit tabakası malzemeye mükemmel bir korozyon direnci sağlamakla birlikte, mekanik ya da kimyasal şartlar altında oksit tabakası kararlılığını yitirerek, materyalin korozyon direncinin azalmasına neden olmaktadır (29).

Mekanik özellikleri

Gerilim Özellikleri: Kalıcı deformasyon oluşturmaksızın metallerin dayanabildiği maksimum yük, gerilim direnci ile tarif edilebilir. Ark yöntemiyle eritilmiş saf titanyumun gerilim direnci $520\ 000\text{--}350\ 000\text{ kN/m}^2$ arasındadır (24).

Süneklik : Malzemenin herhangi bir kırılma veya kopma göstermeden deformasyona uğramasıdır. Malzemeye bir çekme kuvveti uygulandığında kopmadan büyük oranda daimi deformasyona dayanabilirse, bu malzemenin çekilebilirliğinin iyi olduğu söylenir. Cam ve döküm demir gibi malzemeler kötü çekilebilirliğe sahiptirler ve kırılgan olarak tanımlanırlar. Metallerin dirençli ve çekilebilirliğinin iyi olması istenirse de sıklıkla bu özelliklerin ters orantılı olduğu gözlenir. Buna rağmen titanyuma, alüminyum (Al), vanadyum (V), demir (Fe), kalay (Sn), krom (Cr) ve mangan (Mn) ilavesiyle direnç artırılırken şekil verilebilirliğinin de yeterli (%10-20 uzama) olduğu görülmektedir (24).

Elastikiyet modülü: Materyalin elastik deformasyona direncini yani rijiditesini veya katılığını belirler. Saf titanyumun elastik modülü yaklaşık $103 \times 10^6\text{ kN/m}^2$ iken, alaşım halindeki titanyumun elastikiyet modülü 110×10^6 değeriyle biraz daha yüksektir. Titanyumun elastikiyet modülü, alüminyum ve magnezyumdan daha yüksek iken çeliğin elastikiyet modülünden düşüktür (24).

Sertlik : Sertlik metalin plastik deformasyona karşı gösterdiği dirençtir ve genellikle metalin sahip olduğu direncin bir göstergesidir. Titanyum alüminyumdan oldukça sert olmakla beraber sertliği ısı işlemine tabi tutulmuş bazı çeliklere benzerdir. Saf titanyumun sertliği 160 VHN (Vickers), alaşım ve ısı işleme tabi tutulmuş titanyumun sertliği ise 250-500 VHN arasında değişir (24).

Darbe direnci : Çarpma direnci malzemenin ani çarpmalara karşı gösterdiği dirençtir. Metalin çarpma direncinin bilinmeksizin gerilim direnci ve çekilebilirliğinin bilinmesi bazı durumlarda anlam ifade etmemektedir (24).

Titanyum yüksek direnç ve iyi çekilebilirlikle birlikte iyi çarpma direnci gösteren sayılı metaller arasında yer almaktadır. Yüksek dirence sahip fakat kırılgan olan materyallerin çarpma direnci 0,15 N iken, saf titanyumun çarpma direnci 40 N' dur (24).

Yorulma direnci : Malzemeye kopma geriliminin altında tekrarlanan yükler uygulandığında oluşan bu yüklere dayanma kabiliyetine yorulma direnci denir. Bu özellik çalışma Ömrü ile dayanıklılık sınırının belirlenmesinde önem kazanır (24)

Titanyumun sahip olduğu yorulma direnci mükemmeldir. Saf titanyumun yorulma direnç limiti gerilim direncinin % 60' ı, alaşım titanyum için bu değer gerilme direncinin % 47 si iken çelikler için bu değer %50' dir (24).

Isı altında zamana bağlı deformasyon direnci : Sabit kuvvet altında malzemenin gösterdiği zamana bağlı kalıcı yer değiştirmeyi ifade eder. Metallerin ergime derecelerinin yaklaşık 100-200 °C altındaki ısı derecelerine maruz kalmaları sonucunda oluşan zamana bağlı deformasyon (creep) ile marjinal uyumsuzluk ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle metal destekli porselen restorasyonlarda kullanılacak metallerin ısı altında zamana bağlı deformasyon direnci restorasyonun başarısı açısından önem kazanmaktadır. Ergime derecesine yakın sıcaklıkta uzun bir süre kalan dental materyaller için bu özellik önem kazanmaktadır.

Yapılan çalışmalarda saf titanyumun ısı altında zamana bağlı deformasyon direnci özelliklerinin iyi olmadığı, buna karşın döküm olayının olmadığı soğuk çalışmalarda (cold working) bu özelliğin daha iyileştiği görülmüştür .

Titanyumun mekanik özelliklerinin artırılması için iki işlem uygulanabilir. Bunlardan biri titanyuma farklı elementlerin katılması ile alaşım haline getirme, diğeri ise ısı uygulamasıdır (24).

2.3.2. Türkiye'de titanyum

İzmir, Manisa ve Uşak taraflarında plaserlerde, Trakya'nın Karadeniz sahillerinde plaj kumlarında ve Hakkari tarafında kuvarsitlerde titanyum minerallerine rastlanmıştır. Ancak tenör hemen hemen hiçbir yerde %1'i aşmamaktadır. Gerek Doğu Anadolu'da gerekse Batı Anadolu'da yapılan çalışmalarda ekonomik olabilecek değerde bir rezerve henüz rastlanmamıştır. Bunların en önemlisi Manisa yöresinde bulunan; %1,11 TiO₂ içeren 1 272 000 ton dolayındaki rezervdir. Batı Anadolu'da % 0,5-1 TiO₂ li toplam 100 milyon ton kadar bir potansiyel olduğu sanılmaktadır. Bu sahalarda bulunan titanyum cevherlerinin zenginleştirilmesinde önemli teknolojik zorluklar vardır. Cevher zenginleştirilmesi konusunda olabilecek teknolojik gelişmeler sonucu bu yatakların üretime geçirilebilme olasılığı vardır (30).

2.3.3. Titanyumun kullanıldığı yerler

Son 50 yılda önemi giderek artan titanyum, dünyada en çok kullanılan malzemeler arasında alüminyum, demir ve magnezyumdan sonra dördüncü sırada gelmektedir. Titanyumun ilk uygulamaya yönelik üretimi, ilk uçuşunu 1952 'de yapan DC-7 tipi uçağın motorundaki yanma odası ve uçağın kanatlarındaki motor bağlantı yeri için yapılmıştır. İlerleyen zamanlarda geliştirilen titanyum alaşımları; kompresör disklerinde, askeri ya da ticari

uçaklardaki jet motorlarının pervane kanatları ile bu uçakların iskeletinde kullanılmıştır. Bu uygulamalar, 1952 ile 1957 yılları arasında titanyum endüstrisinde hızlı bir gelişmeyle sonuçlanmıştır. 1958 yılında askeri alanda yapılan harcamalar uçakların geliştirilmesinden çok balistik füzelerin geliştirilmesine doğru yönlendirilmiştir (28).

Titanyum üretiminde 1968 ve 1970-71 yıllarına rastlayan düşüş; askeri alandaki harcamaların değişmesine, genel ekonomik krize ve süpersonik nakil araçlarının geliştirilmesi gibi programların iptaline bağlanmaktadır. Titanyuma olan bu ticari ilgiyi harekete geçiren; metalin alüminyum ve çelik arasında düşük yoğunluğa sahip olması, korozyona karşı mükemmel dayanımı ve mineral varlıklarda büyük ölçüde bulunması olmuştur (28).

Mükemmel bir korozyon dayanımına sahip olması nedeniyle, titanyumun hem denizcilikle ilgili uygulamalarda hem de birçok aktif kimyasal ortamlarda büyük tonajlarda kullanılabileceği önceden tahmin edilmekteydi. Ancak korozyonu önlemeye dayanan yüksek maliyetli uygulamaların tercih edilmediği bilinmektedir. Bununla beraber halen ucuz ve korozyona daha az dayanıklı malzemelerin kullanıldığı çoğu uygulamalarda; uzun ömürlü titanyum alaşımlarının kullanılmasının daha ekonomik olduğunun farkına varılması, titanyumun tüketiminde hızlı bir artış olacağının bir habercisidir (28).

1979 yılında, üretilen titanyumun % 35' inin ticari uçaklar için, % 28' inin korozyona yönelik uygulamalar için, % 37' sinin de askeri uçak ve füzeler için kullanılacağı tahmin edilmekteydi. Burada sözü geçen uçak uygulamaları hem uçağın iskeleti hem de jet motoru parçalarını içermektedir. Boeing 747, Douglas DC-10, A 300 Airbus ve Lockheed L-1011 gibi ticari yolcu uçaklarının jet motorundaki bazı parçalar için, yüksek bir özgül dayanıma sahip titanyum alaşımlarından başka malzemelerin kullanılmasının mümkün olmadığı da saptanmıştır (29).

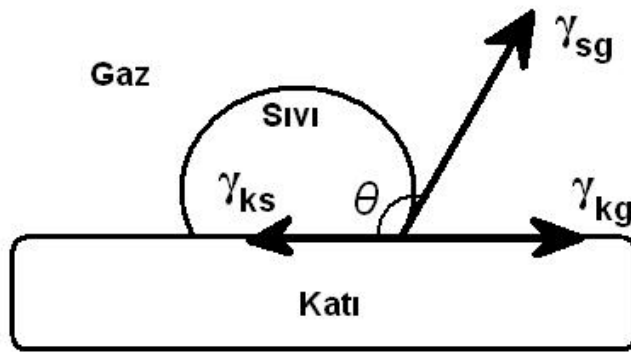
1960 'larda kimyasal madde pompaları ve vanalar için ilk kez dökme titanyum kullanılmıştır. Yaklaşık on yıl sonra bazı uzay uygulamaları için dökme titanyum kaçınılmaz bir malzeme olmuştur (28). Günümüzde kullanımı giderek yaygınlaşan titanyumun bu büyüyen endüstrisinden en çok yararlanan alan ise, uçak ve uzay araçlarının yapımı olmuştur. Örneğin, sadece Avrupa'da tüketilen titanyum miktarının % 50 'si bu alanlarda kullanılmaktadır (26).

1995 yılında ABD'de üretilen titanyumun % 65'inin uzay uygulamalarında, kalan % 35'inin ise kimyasal işlem endüstrisi, enerji santralleri, denizcilik, ordu donatım ve tıp gibi diğer uzay dışı uygulamalarda kullanılacağı tahmin edilmiştir. Ortalama satış fiyatının 8 \$/kg olduğu varsayılırsa tüketilen sünger metal miktarının yaklaşık 180 milyon dolara denk geldiği, dolayısıyla 1995 yılında titanyum hurdadan üretilen sünger metalin yaklaşık 20.000 ton civarında olduğu hesaplanabilmektedir. Buna ek olarak ABD'de titanyum hurdanın demir-çelik endüstrisinde 4700 ton, süperalaşım endüstrisinde 610 ton ve diğer endüstrilerde 760 ton kadar kullanılmıştır (31).

1995 yılında ABD'deki titanyum üretimi rekor düzeye ulaşmış ve malzemeye duyulan talep gittikçe artmıştır. Ülke dışındaki kaynaklara olan gereksinimin değişmesi, bu talebi mevcut kapasiteye yaklaştırmış ve malzeme fiyatlarında hafif artışlara neden olmuştur. Uzay endüstrisindeki buluşların değerlendirilmesi ve uzay dışı sektördeki büyüme, titanyum süngerinin tüketiminde son yıllarda önemli bir artışa neden olmuştur (31).

2.4. Seramik Metalik Kompozitlerde Literatür Araştırması

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



Şekil 2.14. Katı sıvı ve gaz arasında oluşan temas açısını gösteren şematik diyagram

Sıvı metalin gözenekli takviyeye infiltre olmasının yani ıslatmasının ölçüsü olarak temas açısı kullanılabilir. Küçük θ açısı iyi ıslatmayı, büyük θ açısı ise kötü ıslatmayı gösterir. İdeal bir ıslatma elde edilmesi için temas açısı θ 'nın sıfır olması gerekmektedir. Çoğunlukla büyük temas açıları nedeniyle seramiğin metal tarafından ıslatılması sağlanamayabilir. Böyle durumlarda matriks 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 matrikse katılan lityumun alümina-alüminyum sisteminde ıslatılabilirliğin artışına yol açtığı gözlemlenmiştir. ıslatılabilirliğe kimyasal, mekanik, termal ve yapısal birçok faktör etki edebilir.

B. SRINIVASA ve arkadaşlarının yaptığı Al-Mg alaşımının Al_2O_3 takviyesi ile basınçsız infiltrasyon 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 O_2 'i tutarak infiltrasyonu engelleyecek bir oksit yapısının oluşmasını engellemektedir (32).

Metal-seramik kompozit malzemelerin ara yüzeyindeki etkileşimi kötü yönde etkileyecek ve kompozit malzemenin özelliklerini bozacak durumlar söz konusudur. Bu durumlara örnek vermek gerekirse; mesela, seramik takviye iyonik bağ yaparken matriks malzemesi kovalent bağ yapıyorsa, matriks ve takviye malzemesinin kristal yapıları farklıysa, matriks 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 gelmebilmektedir.

Metal matriksli kompozit malzemelerin ara yüzeyindeki bağlanma değişik şekilde gerçekleşebilir.

2.4.1. Kristalografik bağlanma

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

2.4.2. Mekanik bağlanma

Matrikse uyguanan yükün takviyeye aktarılması bir mekanik bağlanma ile sağlanabilir. Literatürde bu tür bağlar için alüminyum matriksli tungsten filaman takviyeli kompozit, Al_2O_3/Al sistemi, niobium-titanyum filaman takviyeli bakır matriksli kompozit gibi örnekler verilebilir. Ara yüzeyde hiçbir

kimyasal reaksiyon oluşmamakta olup, tamamen bir mekanik bağlanma ile matriks ve takviye elemanı birbirine bağlanmıştır.

2.4.3. Kimyasal bağlanma

Seramik-metal kompozitler genelde yüksek sıcaklıklarda üretilmektedir. Bu durum kimyasal reaksiyonların oluşması için elverişli bir durum oluşturur. Çoğu seramik-metal ara yüzey, termodinamik açıdan dengesiz sistemlerdir. Dengesizlik, fiber ile matriks 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 ya da takviye elemanı etrafında hızlı bir çökmeyle 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 sağlamaktadır. 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 ve oluşan Al_4C_3 sayesinde iyi bir bağlanma meydana gelmektedir (33).

Matriks ve seramik arasında oluşan ara yüzey, metal matriksli 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 matriks-seramik takviye malzemesi arasındaki ıslatılabilirliğin artırılması,

- Metal matriks-seramik takviye malzemesi arasındaki kimyasal reaksiyonun kontrolü,
- Metal matriks-seramik takviye malzemesi ara yüzeyindeki oksit oluşumunun minimuma 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 matriksin alaşımlandırılması,
- Seramik partiküllere ısıtma işlemi 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.

Matriks 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, matriks alaşımının oksijene karşı ilgisi yüksek olan elementlerin (Li, Mg) eklenmesiyle sağlanmaktadır. Seramik partiküllere ısıtma işlemi 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 olmaktadır. Bilindiği üzere matriks 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.

Literatürde $MgAl_2O_4$ -Ti ile yapılan çalışmaya rastlanmamıştır. Burada infiltrasyon yöntemiyle elde edilen seramik metalik kompozit malzemelerden bahsedilmiştir.

Tomsia ve arkadaşları yaptıkları çalışmada katılaştırılmış Al-Si alaşımlarıyla Al_2O_3 içerisine Al leri eritip Si leri ise penetre etmişlerdir. Elde edilen malzemeyi TEM, SEM, EDS ve XRD kullanarak infiltrasyon esnasında sıcaklık artışının, sıcaklığın ve O_2 'nin etkisini, substrat konsantrasyonunu, penetrasyon kinetiğini ve kompozit malzemenin mikroyapısını incelemişlerdir. Al için limit kinetik adımı, Al ile seramik arasındaki kimyasal reaksiyon olarak belirlemişlerdir. Gözenekli yapı için kritik sıcaklığa ve istenilen oksijen konsantrasyonuna yakalanınca infiltrasyon başlatılmıştır. Deneyleri $950-1400^\circ C$ arasındaki sıcaklıklarda % 99,998 argon atmosferinde $p(O_2) = 10^{-20}$ alınarak gerçekleştirmişlerdir. O_2 'nin kısmi basıncının çok düşük olmasına karşın oldukça etkin olduğunu ve kompozit malzemenin mikroyapısının seramiğin karakterizasyonuna bağlı olduğunu gözlemlemişlerdir (36).

Kung-Fung Lin ve Chien-Cheng Lin ise çalışmalarında Titanyum ile Zirkonyum yüzeyleri arasındaki reaksiyonu incelemiştir. Zirkonyum içerisine açık olan gözeneklerden sıvı titanyum infiltre etmişlerdir. Reaksiyon boyunca Zirkonyum oksitlenerek $\alpha-ZrO_{2-x}$ 'a indirgenmiştir. Serbest oksijenlerle de Titanyum reaksiyona girerek TiO_2 oluşturmuşlardır (31).

R.Subramanian ve Schneibel yaptığı bir çalışmada FeAl -TiC ve FeAl-WC kompozit malzemeleri basınçsız infiltrasyon yöntemiyle üretilmiştir. İnfiltrasyon her iki sistem içinde $1450^\circ C$ de 1 saat boyunca gerçekleşmiştir (13).

R. Subramanian ve arkadaşlarının yaptığı bir başka çalışmada ise $\text{Ni}_3\text{Al-WC}$ kompozit malzemesi yine basınçsız infiltrasyon yöntemiyle üretilmiştir. İnfiltrasyon bir önceki çalışmada olduğu gibi 1450°C de 1 saat boyunca bekletilerek gerçekleştirilmiştir (37).

Mingxia Gao ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada basınçsız infiltrasyon metoduyla üretilen $\text{Fe}_{40}\text{Al}/(\text{TiC-TiN-WC})$ sermetlerin içinde oluşan $\text{Ti}_2\text{W(CN)}$ 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 $\text{Ti}_2\text{W(CN)}$ çözeltisinden meydana gelmektedirler. $1360-1560^\circ\text{C}$ 'de 40 dakikada argon atmosferinde gerçekleşen basınçsız infiltrasyon sayesinde kompozit malzeme üretilmiştir (38).

Paul F. Becher ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada matriks ve takviye elemanı, yani Ni_3Al ve TiC 'lerin toz halini kullanılmıştır. Takviye elemanı (SiC) yapılan soğuk presleme ile oluşturulmuştur. İnfiltrasyon 1300°C 'de 1 saatten az bir sürede etkin olarak gerçekleşmiştir (39).

Travitzky ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada da, basınçsız infiltrasyon tekniği ile üretilen $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CuO}$ kompozitinin mekanik özellikleri incelenmiştir. Bu kompozit hazırlanırken CuO farklı hacimsel oranlarda alüminalara 1300°C de infiltre edilmiştir (40).

Travitzky ve arkadaşları tarafından yapılan bir başka çalışmada da basınçsız infiltrasyon metodunu kullanarak hazırlanan $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Si}$ kompozitin özellikleri incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda, üretilen $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Si}$ kompozitin aynı hacim kesrinde Al_2O_3 içeren fakat içeriğinde silikon yerine alüminasilikat cam fazı bulunan teknik alüminayla karşılaştırıldığında daha yüksek kırılma sertliği ve yüksek dayanıklılık gibi özellikler saptanmıştır. İnfiltrasyon 1575°C de 15 dakikada gerçekleştirilmiştir (41).

A. Contreras ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada Mg alaşımı TiC takviye fazı basınçsız infiltrasyon tekniği ile birleştirilerek bir sermet elde edilmiştir. İnfiltrasyon 850, 900 ve 950⁰C'de Argon atmosferinde gerçekleşmiştir. Mg 'un düşük yoğunluğundan yararlanılarak bir kompozit üretilmesi amaçlanan çalışmada, 205 HV sertliğine ulaşılmıştır (42).

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 silikon karbür tozu su içinde uniform bir şekilde karıştırılır ve fırında uygun sıcaklıkta gözenekli yapıda Al₂O₃/SiC seramik keki elde edilir. Oluşturulan seramik keki %80 gözenekli bir yapıya sahiptir. Daha sonra oluşturulan seramik keki sıvı Al ile Argon atmosferinde 1200⁰C'de ıslatılarak kompozit malzeme oluşumu gerçekleştirilmiştir (43).

Erimiş alüminyumun gözenekli yapıdaki seramik yapıya infiltrasyonu üzerine çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bunlardan birini de M. Varuzan ve arkadaşları yapmıştır. 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'ye ulaşana kadar devam ettirilmiştir. Seramik SiC, Si₃N₄, AlN, Mg₃N₂, TiO₂ gibi malzemeler kullanılmıştır. İnfiltrasyon quartz tüpün direkt olarak 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 (44).

B. Srinivasa ve arkadaşlarının yaptığı Al-Mg alaşımının Al₂O₃ takviyesi ile basınçsız infiltrasyon yöntemiyle birleştirilmesi çalışmasında azot atmosferi kullanılmış, 800⁰C'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 göstermektedir. 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 O_2 'i tutarak infiltrasyonu engelleyecek bir oksit yapısının oluşmasını engellemektedir (32).

Bilen ve arkadaşlarının yaptığı çalışma ise farklı atmosferler altında Al alaşımının $MgAl_2O_4$ e 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 $^{\circ}C$ deki azot ortamında ise infiltrasyonun kolay bir şekilde gerçekleştiği ortaya çıkmıştır. Alaşım içerisinde bulunan Mg un yüzey gerilimini düşürdüğü tesbit edilmiştir (45).

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 aşağıda belirtildiği gibi tesbit edilmiştir (46).

Al_2O_3/SiC - Al_2O_3/TiC - Al_2O_3 - Al_2O_3/ZrO_2 - Si_3N_4/TiN – $TiCN$

S.Kim'in yaptığı bir çalışmada ise Al_2O_3 kullanılarak üretilen sermetlerdeki termal şok dayanımı incelenmiştir. Endüstriyel anlamda ucuzlukları ve yüksek sıcaklık çalışmalarına uygunlukları nedeniyle büyük öneme sahip olan Al_2O_3 seramiklerin toklukları ve termal iletkenlikleri gibi zayıf özelliklerinin iyileştirilmesi için metallerle birleştirilerek sermet haline getirilmesi yaygın olarak bilinen bir tekniktir. Ancak metallerle seramiklerin ısı etkenler karşısında gösterdikleri genleşme ve küçülme davranışlarının birbirinden farklı olması ve seramiklerin yeterince esnek olmaması kompozit malzeme içinde bir termal gerilme yaratmaktadır. Ancak, yapılan çalışmada cermetlerin sinterlenmiş alüminaya göre termal şoklara daha fazla dayanabildiği tesbit edilmiştir. Bu durumun metal yapının plastik deformasyonundan kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. Sermetler çatlak oluşumuna sinterlenmiş alüminadan daha fazla direnç göstermiş olup, oluşan çatlakların ilerlemesinde yine alüminadan daha fazla direnç göstermişlerdir (35).

L.Levin ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada bor karbür (B_4C) takviyesi ile Al matriks kullanılarak üretilen sermet incelenmiştir. Üretimde infiltrasyon metodu kullanılmıştır. Ayrıca infiltrasyona yardımcı olmak amacıyla $0.05 \mu m$ "silico colloidal silica" adlı bir yağlayıcı kullanılmıştır (47).

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 katılaşan metalin hacim olarak küçülmesi, mikro gözeneklerin oluşumu ve sıvı metalin bir gaz yardımıyla sıkıştırılabilirliğinin etkisini inceleyen bir modelleme yapılarak algoritma oluşturulmuştur. Bu çalışma sonucunda mikro gözenekli yapıların oluşmasının nedeni olarak soğuma sırasında metalin küçülmesi ile metalin gözenekli takviye içine infiltre olmak için zorlanmasının bir ortak sonucu olarak meydana geldiği tesbit edilmiştir. Ayrıca takviye içindeki fiber yapılar erimiş metalin akışı sırasında bir basınç düşüşüne neden olarak, mikro gözenekli yapıların oluşmasına neden olmaktadır (48)

E.Saiz ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada ise reaktif metal penetrasyonu ile sermet üretim yöntemleri incelenmiştir. Alüminyum alaşımının Al_2O_3 takviye içine infiltre olurken reaksiyon oranlarının en fazla 1000-1200 °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 (49).

M. Çırakoğlu ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada bor karbür (B_4C)-alüminyumnitür (AlN) takviye malzemesi Alüminyum ile ısıtılarak bir kompozit malzeme elde edilmiştir. 6,5 kPa basınç uygulanarak 1250°C'de erimiş metalin infiltrasyonu sağlanmıştır. Takviye malzemesi hazırlanırken yapılan sinterleme sıcaklığının artmasının takviye üzerindeki gözenekleri büyüttüğü tespit edilmiştir. Ayrıca, takviye malzemesinde B_4C 'ün %4-10 oranında kullanılması sonucu infiltrasyon başarılmıştır. Daha fazla kullanılması takviye malzemesindeki gözeneklerin küçülmesine yol açmıştır. Ancak ısıtmanın 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 göstermiştir ki B_4C en az %4 oranında kullanıldığında infiltrasyon gerçekleşmektedir. Daha fazla kullanılması takviyedeki gözenek yapısını küçültmesine rağmen infiltrasyon miktarında artışa neden olmuştur. Bu durum karbür yapısının takviye elemanı yüzeyinde oluşan ve infiltrasyonun oluşumunu engelleyen oksit tabakasının oluşumunu engellemesidir (50).

I.Rozenstrauha ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, bir endüstriyel atık olan külden ve kilden üretilen cam-seramik matriks malzemesiyle üretilen kompozit malzemenin özellikleri incelenmiştir. Takviye malzemesi olarak da 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 (51).

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 (52).

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada Ti alaşımlı $MgAl_2O_4$ spinel oksitli kompozit malzeme üretmek için teknik saflıkta spinel oksit ve % 70 Ti içeren Ti-Fe alaşımı ilk defa kullanılmıştır. Deneylerde pellet oluşumu için gerekli baskı kuvveti, hava ve argon atmosferi, infiltrasyon sıcaklığı, uçucu kül, stearik asit ve spinel oksit oranları parametre olarak incelendi.

Deneyde kullanılan Titanyum alaşımı Erkunt Döküm Sanayi A.Ş. den temin edildi. Alaşımın kimyasal bileşimi X-ışınları floresans cihazı (Shimadzu, XRF-1700) kullanılarak tespit edilmiş ve Çizelge 3.1 de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Ti alaşımının XRF analiz sonucu

Elementler	% (m/m)
Ti	70,48
Fe	22,77
F	2,73
Al	2,54
Mo	0,39
Mn	0,34
Si	0,29
Cr	0,24
Na	0,21

Şekil 2.12’de görüldüğü gibi Fe-Ti faz diyagramına bakıldığında 1664 °C de erimesi beklenen saf titanyum, Fe alaşımı sayesinde daha düşük sıcaklıkta erimesine yardımcı olmaktadır (54). Bu sayede yapılan deneyler 1550°C’de gerçekleştirilmiştir.

İnfiltre edilen numuneler üzerindeki pasif oksit tabakası temizlenerek fenolik kalıplama yapılmış ve yüzeyleri 1µm taşlanıp SEM görüntüleri alınarak EDS analizleri yapılmıştır.

İnfiltrasyonun gerçekleşebilmesi ve eriyik halde bulunan metalin ıslatma açısı yani yüzey geriliminin küçük olması istenir. Islatma 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. Söz konusu tensiyometre Resim 3.1 de görülmektedir.



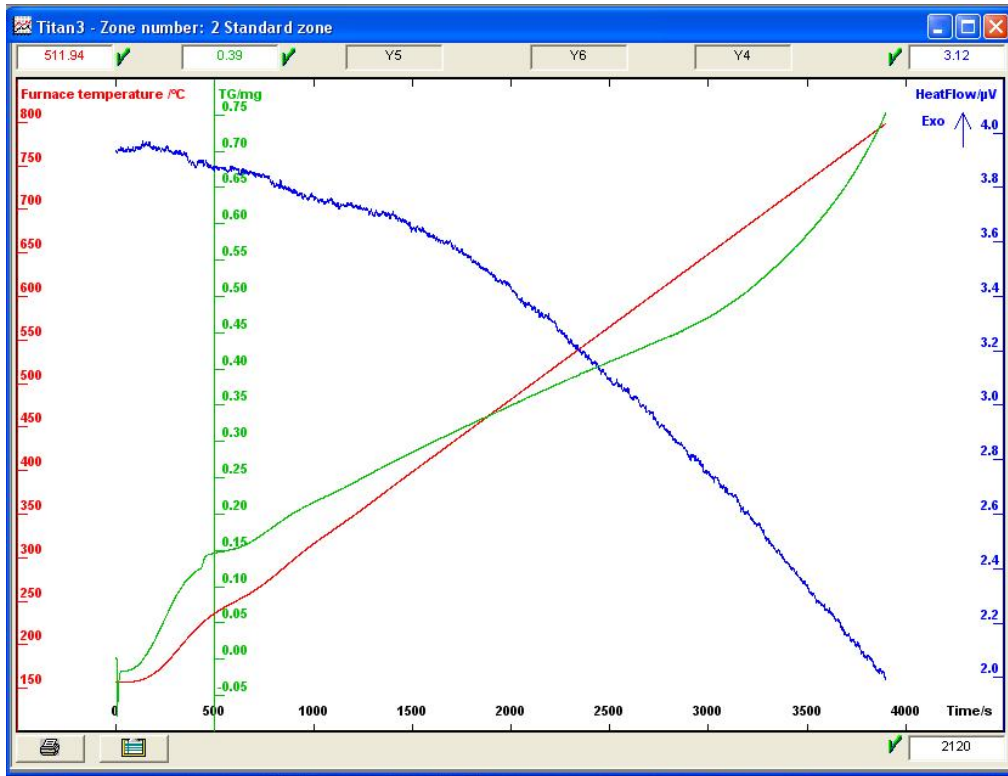
Resim 3.1. Tensiyometre

Ttanyum alaşıminin yüzey gerilimi ölçülmesi sonucunda ıslatma 67° olarak tespit edilmiştir. Bu değer denklem 1.1. de " θ " olarak gösterilen değerdir. Bu formüldeki " σ " değeri ise yüzey gerilimini ifade etmektedir. Formülden anlaşılacağı üzere ıslatma açısının artması, yüzey geriliminin artmasına neden olmaktadır. θ açısının 90 olması denklemi tanımsız yapacaktır. Bulunan bu değer sayesinde mevcut Ti alaşımı ile seramik metalik kompozit malzemenin üretilebileceğine karar verildi.

$$\cos \theta = \frac{\gamma_{kg} - \gamma_{ks}}{\gamma_{sg}} \quad [3.1]$$

Titanyum oksijenle karşılaştığında metal yüzeyinde saniyenin onda biri gibi bir sürede, metali dış ortamdan ayıran 100 °A kalınlığında, kararlı ve metalle bağlantısı iyi olan bir "pasifizasyon (film) tabakası" oluşmaktadır. Oda sıcaklığında bile oluşabilen bu tabaka titanyuma, korozyon direnci

kazandırmakla birlikte ısılatma özelliğini ortadan kaldırmaktadır (28). Literatürde de bahsedilen titanyumun bu en önemli özelliğinin yapılan TGA analizleri ile 150°C de başladığı ve 550 °C den sonra da artarak devam ettiği görüldü. Şekil 3.2'den de görüleceği üzere bu sıcaklıktan sonra sisteme verilen havayla birlikte ısı akısı azalmasına rağmen malzeme oksitlendiği için sıcaklığı ve ağırlığı artmaktadır.



Şekil 3.1. Deneyde kullanılan Ti-Fe alaşımlarının TGA grafiği



Resim 3.2. Deneyde Kullanılan Ti alaşımı

Matriks malzemesi olarak deneylerde kullanılan spinel, KÜMAŞ¹ 'dan temin edildi. Spinelin kimyasal analizi X-ışınları floresans cihazı (Shimadzu, XRF-1700) kullanılarak tespit edildi.

Spinel tozunun saflığı ise XRD kullanılarak tespit edilmiştir. Kullanılan XRD Siemens marka olup numuneler 1 derece/dak. tarama hızı ile 20-60° ler arasında ve CuK α , radyasyonu kullanılarak incelenmiştir. Spinel tozunun tane boyutu lazer tane boyut cihazıyla tayin edilmiştir

Çizelge 3.2'de görüldüğü gibi genel olarak spinel kompozisyonu ile karşılaştırıldığında, % 3 civarında fazla MgO içerdiği tespit edilmiştir. Ayrıca, KÜMAŞ 'dan temin edilen spinel safsızlık olarak Fe₂O₃, SiO₂ CaO içermektedir Deneylerde kullanılan spinelin ortalama tane boyutu ise 18 μ m civarındadır (Şekil 3.3).

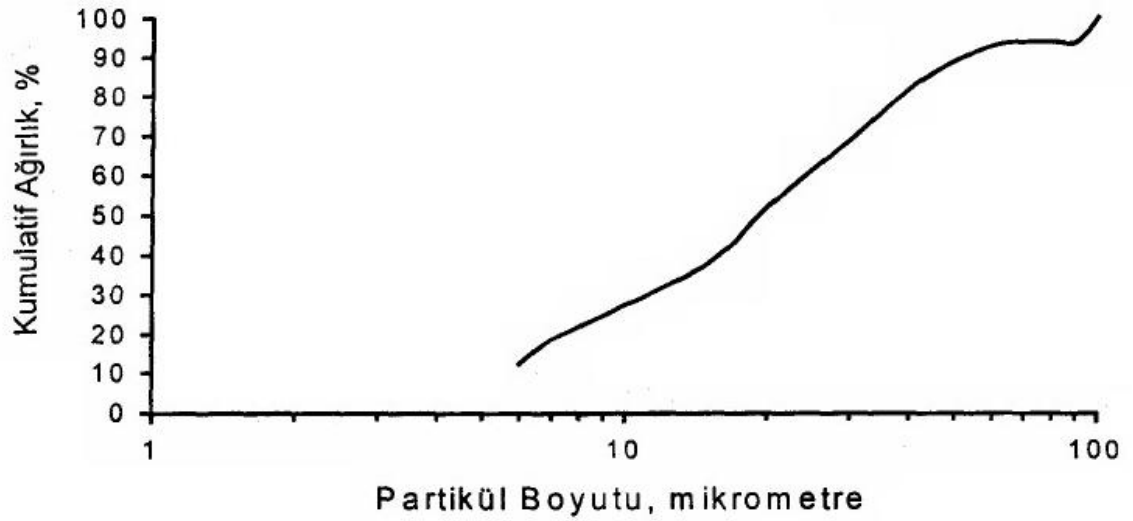
Bununla birlikte spinelin X-ışınları difraktometresi kullanılarak analizi yapılmış, kristal yapıya sahip olduğu ve sadece tek faz içerdiği tespit edilmiştir. XRF kullanılarak yapılan kimyasal analiz neticesinde spinel

¹ Kütahya Manyezit İşletmeleri A.Ş.

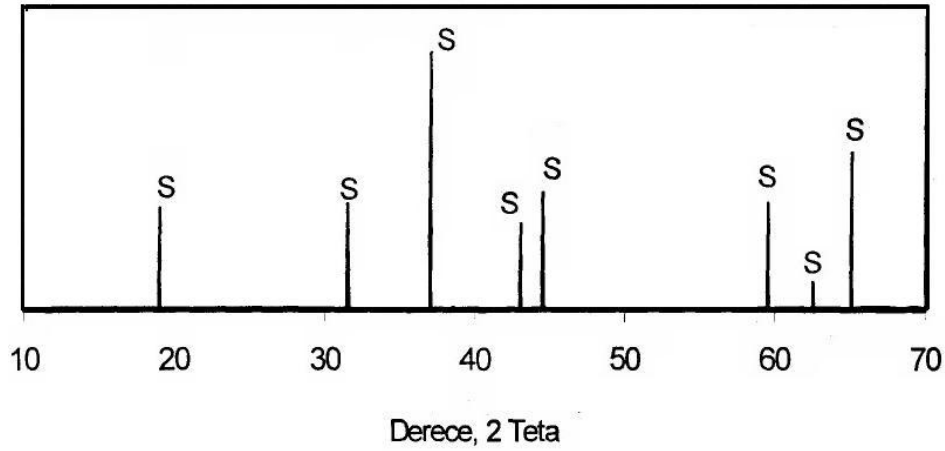
bünyesinde % 3 fazla MgO tespit edilmesine rağmen, MgO fazı XRD ile tespit edilememiştir (Şekil 3.4). Bunun sebebi, XRD kullanılarak % 5'in altındaki fazların tespitinin zorluğudur.

Çizelge 3.2. Kullanılan spinel oksitin XRF analizi

	Deneyde kullanılan Spinel (%)	Teorik Spinel Bileşimi (%)
Al_2O_3	68,22	71,83
MgO	29,87	28,17
Fe_2O_3	0,78	-
SiO_2	0,08	-
CaO	0,76	-



Şekil 3.2. Spinelin tane boyutu analizi



Şekil 3.3. Deneyde kullanılan spinelin X-ışınları analizi (S=spinel)

Deneylerde kullanılan uçucu kül 04.08.2003 tarihinde Muğla-Yatağan Termik Santrali'nin elektrofiltresinden temin edilmiş olup, bileşenleri XRF (Shimadzu, XRF-1700) cihazında tesbit edilerek çizelge de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Kullanılan uçucu külün XRF analizi sonucu

Element	%(m/m)
SiO ₂	% 47,08
R ₂ O ₃	% 29,47
TiO ₂	% 01,03
Fe ₂ O ₃ } (R ₂ O ₃)	% 06,48
Al ₂ O ₃	% 21,96
CaO	% 16,03
MgO	% 02,12
NaO	% 01,28
K ₂ O	% 00,93
SO ₃	% 02,13
P ₂ O ₅	% 00,14
Kızdırma Kaybı	% 00,13

Malzemenin statik sertlik deneyleri ölçülmeden önce MECATOME T200 cihaz ile pelletler kesilmiş ardından MECAPRESS II cihazı ile fenolik sıcak kalıplama yapılmış ve MECAPOL P260 ile yüzeyler parlatıldı. Yüzeyleri 1µm hassasiyette olan numunelerin SHIMADZU HMV ile Vickers sertlik değerleri ölçüldü.

Batıcı uç olarak tepe açısı 136° olan kare tabanlı bir elmas piramit kullanılan 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. Yüke göre sertlik değişmediğinden, yükün miktarı malzemeye göre seçilir. Kare izin malzeme yüzeyinde bırakmış olduğu izin köşegenlerinin uzunluğu mikroskop ile okunur ve sertlik aşağıdaki formülle hesaplanır.

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

Yapılan sertlik analizlerinde malzeme yüzeylerinden farklı bölgelerden sertlik ölçümleri yapılmıştır.

Spinel pelletlerin yapımında kullanılan stearik asit BDH marka %99 saflıktadır. Kullanılan stearik asitler spinel pellet bünyesinde istenen oranda boşluk elde etmek amacıyla kullanılmıştır. Steraik asitin formülü $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{15}.\text{COOH}$ olup bozunma sıcaklığı 390°C dir (49).

Deneylerde önceleri % 99'luk argon gazı kullanılmıştır. Bu safsızlığın az geldiği tesbit edildiğinde ise % 99,999 saflıkta argon gazı kullanıldı. Kullanılan argon gazları HABAS' tan temin edilmiştir.

3.1 Deneyin yapılışı

Yapılan çalışmalarda kütlece %60'lık, % 70'lik, % 80'lik ve % 90'lık spinel oksit ve stearik asit iyice karıştırılarak makro düzeyde homojen bir toz karışım elde edildi. Elde edilen bu toz karışım Resim 3.3' de görülen pellet hazırlama düzeneği ile 10 tona kadar basınç uygulanarak 13 mm çaplı silindirik pelletler hazırlandı.

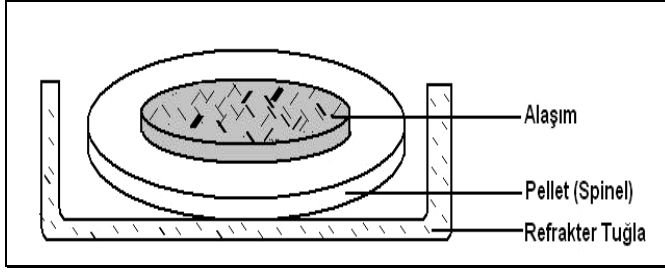


Resim 3.3. Pellet hazırlama cihazı

Hazırlanan bu pelletlerdeki stearik asitler süblimleştirilerek Resim 3.4’de görüldüğü gibi gözenekli bir yapı oluşturuldu . Daha sonra hazırlanan bu pellet üzerine Şekil 3.5’ deki gibi metal yerleştirilerek fırına sokuldu. Resim 3.5’den de görüldüğü gibi fırından önce sıcak bir metal sünger ya da buna benzer ısıtılmış bir oksit tutucu yerleştirilerek hem sisteme verilen gaz ön ısıtmadan geçirilmiş oldu, hem de sisteme beslenen gaz oksitlerinden arındırıldı.



Resim 3.4. Gözenekli yapı haline getirilmiş pellet



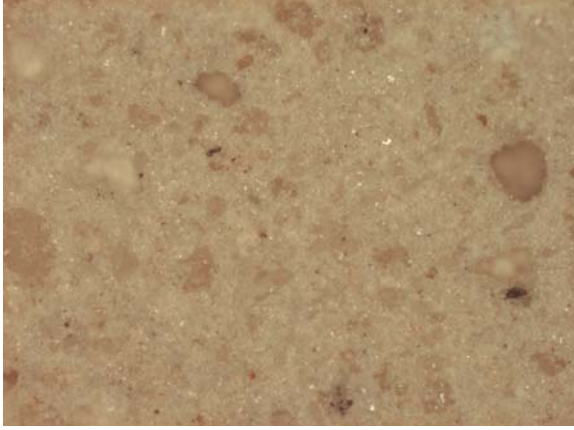
Şekil 3.5. Pellet ve alaşım yerleşiminnirmenin şematik görünümü

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

4.1. Pellet Hazırlanmasında Elde Edilen Sonuçlar:

Pellet Hazırlama sırasında yapılan çalışmada 2-3 dakikayla 10 ton basınç uygulandığında stearik asitler sıvılaşarak pellet oluşumunu engellemektedir. 5 ve 2 ton basınçta 2-3'er dakikada tekrar denendiğinde yine sıvılaşarak pellet oluşmamaktadır. Bu sıvılaşmayı engellemek için 1 tonda da bir dakika ile 2 saniye arasında tutulduğunda ise basınç az geldiğinden dolayı zayıf, elle dağılabilen fazla sağlam olmayan bir pellet oluştuğu gözlemlendi.

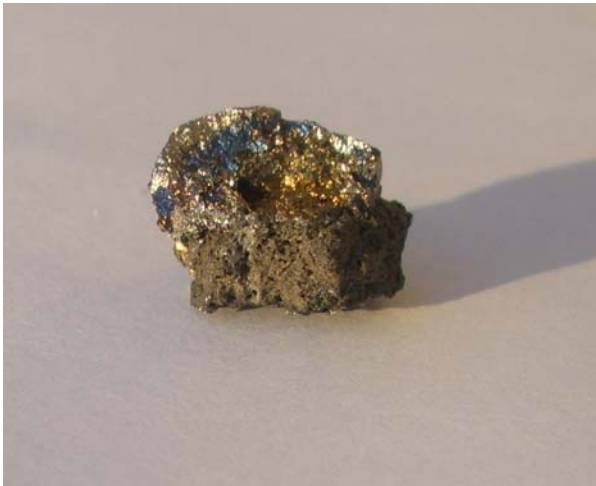
5-6 ton basınç bir iki saniye tutulup bırakıldığında yine pellet oluşmadığı gözlemlendi. Fakat bu işlem üç dört defa yinelenildiğinde sağlam bir yapı oluşabilirdiği tesbit edildi. Bu kuvvet 1-2 tonla başlayıp sıfırlanır sonra 3-4 ton ve tekrar sıfırlanıp daha sonra çıkarılmadan tekrar 5-6 tona kadar çıkarılarak pellet oluşturuldu. Hazırlanan bu pelletler 850°C ye ayarlanmış fırında 20 dakika bekletildiğinde içerisindeki nemden kaynaklanan gözenekli fakat bombeli bir yapı oluştuğu gözlemlendi. Aynı pellet tekrar hazırlanıp 70° C' de 30 dakika ısıtıldığında ise çabuk dağılan bir gözenekli yapı oluştuğu gözlemlendi. Sıcaklık 140°C-160°C arasında tutulduğunda ise stearik asitlerin yandığı ve dolayısıyla atık karbon bırakarak oluşan gözenekli yapıya zarar verdiği tesbit edildi. 70-80°C de 30 dakika bekletildikten sonra 950°C ye kadar ısıtılıp bu sıcaklıkta 20 dakika bekletilen pellet trinoküler mikroskop altında bakıldığında gözenekli yapı 1mm den küçük olarak gözenekleri farklı oranlarda birbirleriyle bağlantılı olan sağlam bir yapı oluştuğu gözlemlendi (Resim 4.1).



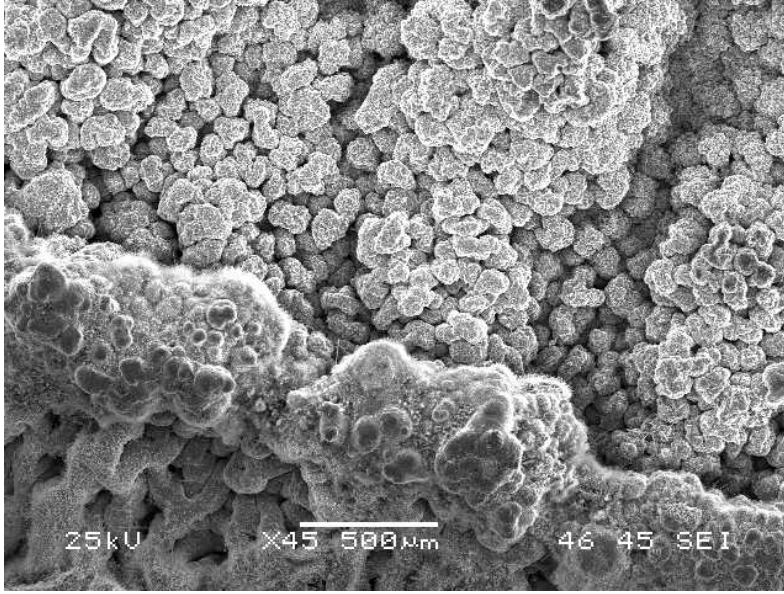
Resim 4.1. Trinoküler mikroskop altında gözenekli spinel oksit

4.2. Normal Atmosferde Yapılan Deney Sonuçları:

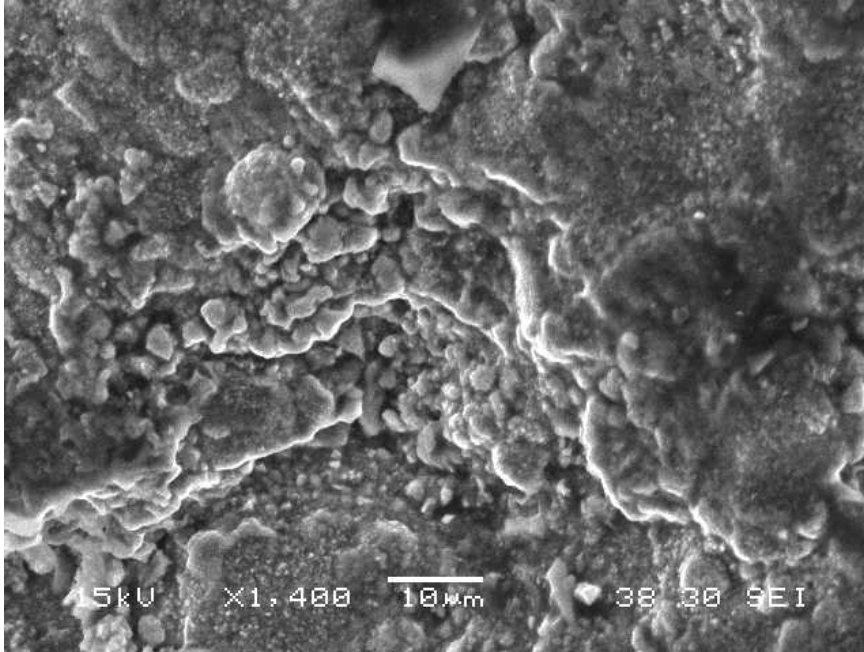
Normal atmosferlerde yapılan deneylerde 2 saat 1600°C de tutulan malzemede alaşım üzerinde bir oksit tabakası gözlemlendi (Resim 4.2 ve 4.3). Bu oksit tabakası Ti alaşımının erimesini ve dolayısıyla da infiltrasyonunu engellemektedir. Oluşan bu oksit tabakası kırılkan olmakla beraber çekilen SEM görüntüsünde dışardan başlayarak oksit büyümesinin alaşım içerisine doğru nüfuz ettiği tesbit edildi (Resim 4.4).



Resim 4.2. 1600°C de normal atmosferde oluşan oksitlenmiş malzeme



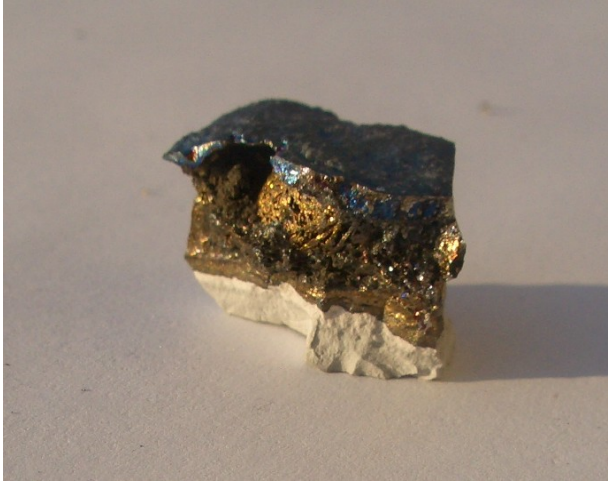
Resim 4.3. 1600°C de normal atmosferde oluşan oksit tabakasının genel SEM fotoğrafı



Resim 4.4. Normal atmosferde gerçekleştirilen deney sonrası alaşımda meydana gelen oksitlenmenin SEM fotoğrafı

4.3. Argon Atmosferinde Yapılan Deney Sonuçları:

Normal hava şartlarında yapılan deneylerin sonucunda malzemenin infiltre olması için oksijensiz ortam gerektiği tesbit edildi. Bunun için % 99 saflıkta Argon kullanılarak tüp fırın içerisi inert hale getirildi. Spinel pellet ve Ti alaşımı inert halde bulunan bu fırın içerisinde 2 saat süre ile 1598-1600°C de bekletildi. İnfiltrasyonun gerçekleştiği fakat burada da malzemenin bir miktar oksitlendiği görüldü (Resim 4.5). Aynı zamanda da soğuk olarak beslenen Argon gazının tüp fırına zarar verdiği tesbit edildi.



Resim 4.5. %99'luk Ar gazı beslenerek inert hale getirilmiş fırında 1600°C'de 2 saat süre bekletilen alaşım üzerindeki oksit tabakası

Tomsia ve arkadaşlarının da belirttiği gibi eser miktardaki oksijenin infiltrasyonu olumsuz yönde etkilememesi için sisteme verilen argon gazının saflığı arttırılmış, sistem içerisinde ve sistem öncesinde oksit tutucular kullanılmıştır. Oksit tutucularla birlikte yapılan denemelerde pellet üzerine konulan titanyumun infiltre olduktan sonra eriyerek potaya taşıdığı görüldü. 2 saat bekletilen numune için oksit tutucuların da sayesinde bu sürenin fazla geldiği tesbit edildi (Resim 4.6).



Resim 4.6. Argon atmosferinde 2 saat bekletilen ve süre fazla geldiğinden dolayı alumina pota içine erimiş malzemenin fotoğrafı

Kullanılan titanyum alaşımında Fe olduğu için bu sıcaklığın fazla olduğuna karar verilmiştir. Şekil 2.12'den de görüleceği gibi %20 Fe içeren alaşımın erime noktası yaklaşık 1550°C civarındadır.

1550°C de yapılan deneylerde numune 30 dakika bekletilmiş, sıcaklık artışı 10 derece/dak. olarak ayarlanmış ve bu şekilde kompozit malzemeler elde edilmiştir. Elde edilen bu malzemeler sertlik ölçümleri ve mikroyapı incelemeleri ile EDS analizleri yapılmıştır.

4.4. Sertlik Analizleri :

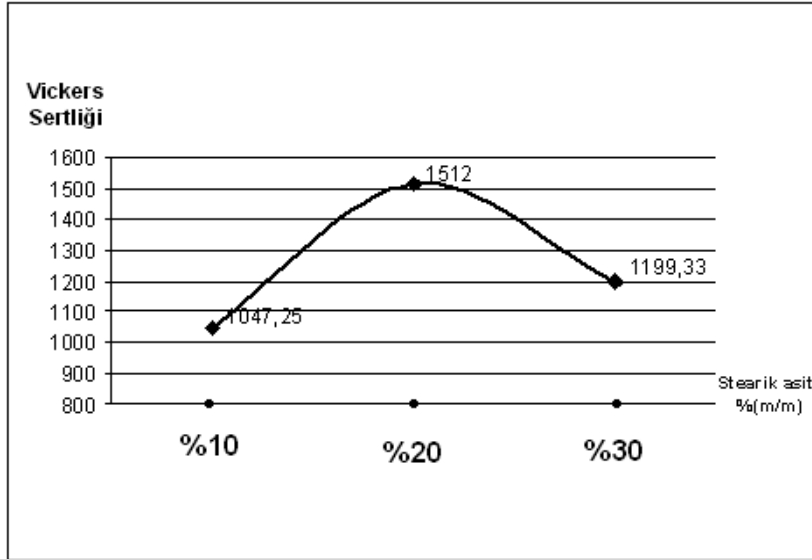
Bu sertlik ölçümleri sonucu oluşan köşegen uzunlukları Çizelge 4.1'de verilmiştir. Aynı numune içerisinde farklı uzunlukların çıkması ölçüm alınan noktalardaki farklı faz bölgelerinden ölçüm yapılmış olmasıdır.

Çizelge 4.1. İnfilte edilmiş malzemelerin sertlik ölçümleri

	Uygulanan Kuvvet	Köşegen uzunluğu		Süre (saniye)	Sertlik (Vickers)
		L1(mikron)	L2(mikron)		
%10 SA,%10 UK	19.61 N	47,97	50,05	15	1543
%10 SA,%10 UK	19.61 N	58,37	51,51	15	1374
%10 SA,%10 UK	19.61 N	47,41	52,35	15	1490
%20 SA,%20 UK	19.61 N	45,98	44,46	15	1830
%20 SA,%20 UK	19.61 N	43,05	45	15	1915
%10 SA,%40 UK	19.61 N	52,33	51,94	15	1364
%10 SA,%40 UK	19.61 N	53,33	52,33	15	1251
%30 SA	19.61 N	26,6	53,35	15	1354
%30 SA	19.61 N	25,7	29,1	15	1223
%30 SA	19.61 N	32	34,46	15	1021
%20 SA	19.61 N	47,34	51,7	15	1512
%10 SA	19.61 N	55,24	59,42	15	1128
%10 SA	19.61 N	58,8	58,8	15	1072
%10 SA	19.61 N	57,9	59,1	15	1056

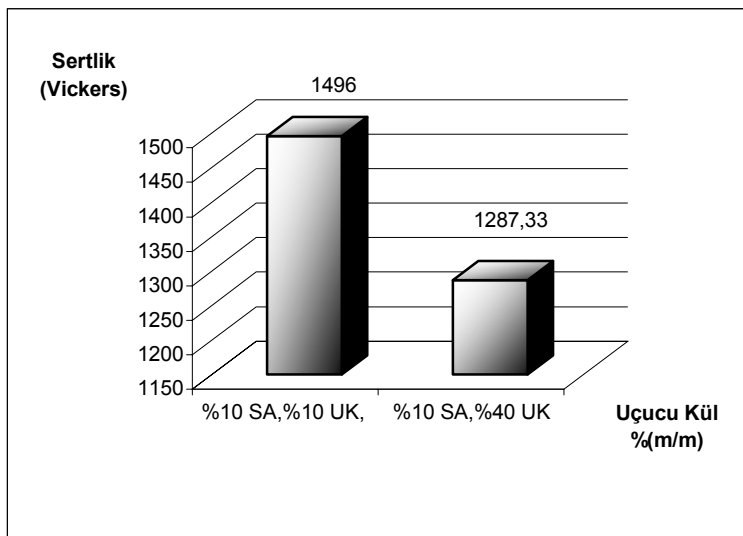
30 dakika süre ile 1550°C’de oksit tutucular kullanılarak elde edilen kompozit malzemelerde yapılan sertlik analizleri sonucu Şekil 4.1’de görüldüğü gibi kütlece %20 Stearik asit (SA) içeren numune ortalama 1512 HV ile kendi arasında en sert malzeme olarak bulunmuştur. Stearik asit deney sırasında gözeneklilik için oldukça etkin bir rol oynamaktadır. Stearik asit oranı arttıkça belirli bir orana kadar gözeneklilik artmakta ve dolayısıyla infiltre olan Ti alaşımı miktarı da artmaktadır. Bu oran artmasıyla bir süre sonra pellet

yapısı zayıflamakta ve malzemenin sertliği de buna bağlı olarak azalmaktadır.



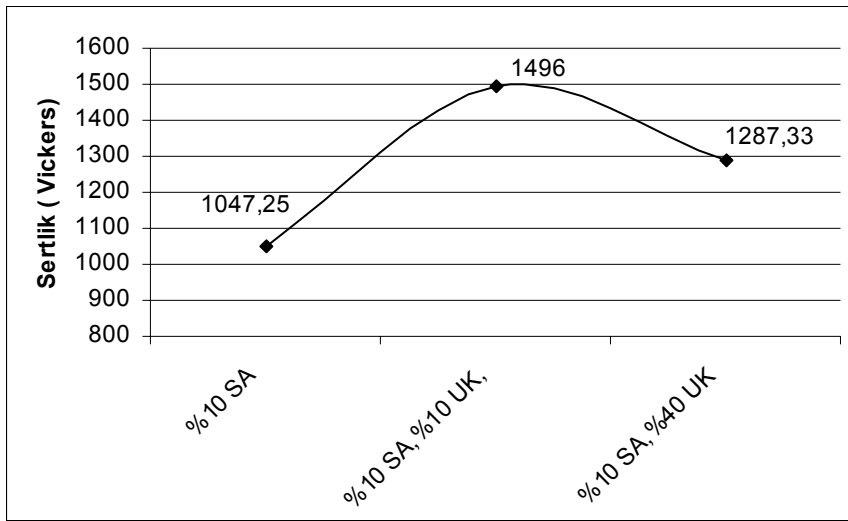
Şekil 4.1. Stearik asit miktarının malzemenin sertliğine etkisi

Şekil 4.2’de görüldüğü üzere uçucu kül içeren malzemeler kendi aralarında karşılaştırıldığında toplam pellet içerisinde kütlece %40 uçucu külün %10 stearik asit içeren malzemelerin sertliğinde kütlece %10 uçucu kül içeren malzemeye göre büyük ölçüde olumsuz etki yaptığı görüldü.



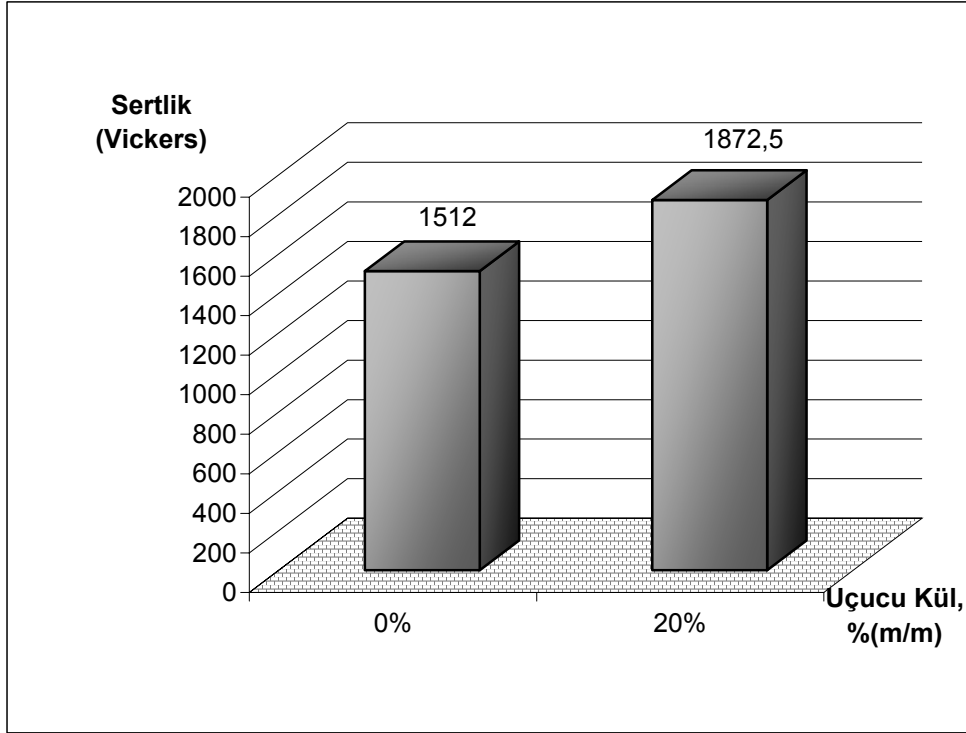
Şekil 4.2. %10 SA içeren malzemelerde uçucu külün karşılaştırılması

Uçucu külün malzemeye yaptığı etki incelendiğinde, olumlu yönde bir katkı yaptığı görülmektedir. Kütlece % 10 SA ile karşılaştırma sırasında belirli miktarlarda uçucu kül içeren malzemelerin uçucu kül içermeyen malzemelere göre yaklaşık %50 daha sert olabileceği görülmüştür (Şekil 4.3). Uçucu külün malzemeye katılmasıyla sertlik artmış ve bir noktadan sonra azalmıştır.



Şekil 4.3. Dolgu oranına göre kütlece %10 SA içeren pelletten hazırlanmış malzemelerin sertliğine uçucu külün etkisi

Şekil 4.4'de kütlece %20 SA içeren malzemeye %20 oranında uçucu kül katıldığında malzeme 1512 HV den 1872,5 HV ye çıkmaktadır.

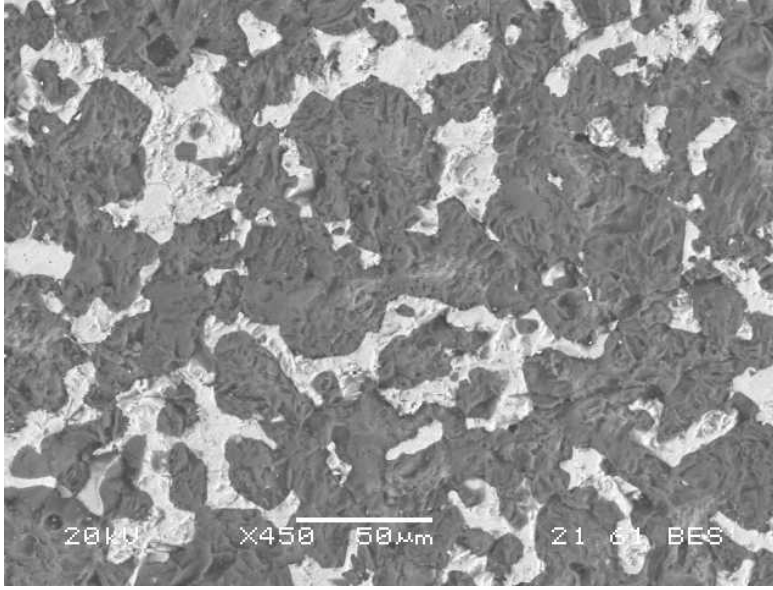


Şekil 4.4. Dolgu oranına göre kütlece %20 SA içeren pelletten hazırlanmış malzemelerin sertliğine uçucu külün etkisi

Sertlik sonuçlarından da görüldüğü gibi 160 HV sertliğine sahip titanyumdan Fe alaşımı ve seramikle birlikte bir kompozit malzeme üretildiğinde sertlik değeri 1915 HV ye kadar çıkmaktadır. Bunun sebebi metal seramik arayüzey bağının infiltrasyonla gerçekleştirilmiş olması ve Ti metalinin yüksek sıcaklıkta Ar atmosferinde Fe den ileri gelen karbonlarla TiC oluşturması olabilir. Nitekim Subremanian ve Schniebel yaptıkları çalışmada TiC tozları içerisine FeAl alaşımı infiltre ederken nihai ürün içerisinde %9,8 fazla TiC bulduklarını ve bunun da Fe den gelen karbonlardan kaynaklandığını belirtmektedir (13). %20 SA ve %20 UK içeren malzeme en fazla sertliğe sahipken bu oranın kül katılmasıyla uçucu külden gelen silisyumun titanyum metali üzerinde alfa case tabakası oluşturması malzemedeki seramik-metal arayüzey bağını bir noktadan sonra zayıflattığından uçucu külün malzemelerin içerisine katılma oranlarında belirli bir miktardan sonra sertliklerini azalttığı tesbit edildi.

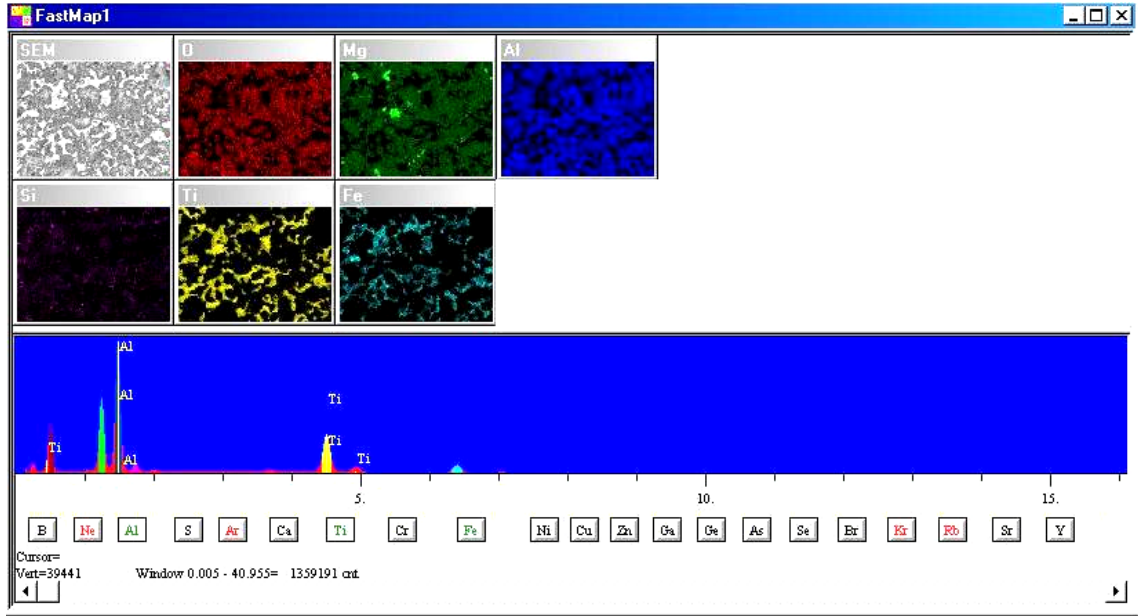
4.5. Ti-Fe Alaşımı İnfiltre Edilmiş Numunelerin SEM ve EDS İncelenmesi:

%10 SA içeren spinel oksit malzemede yapı temel olarak spinel, Ti ve Fe metalinden meydana gelmektedir. Yapılan deneyde infiltrasyon küreselleşmeden çok boşluktaki kanalları doldurarak gerçekleşmiştir. (Resim 4.7).

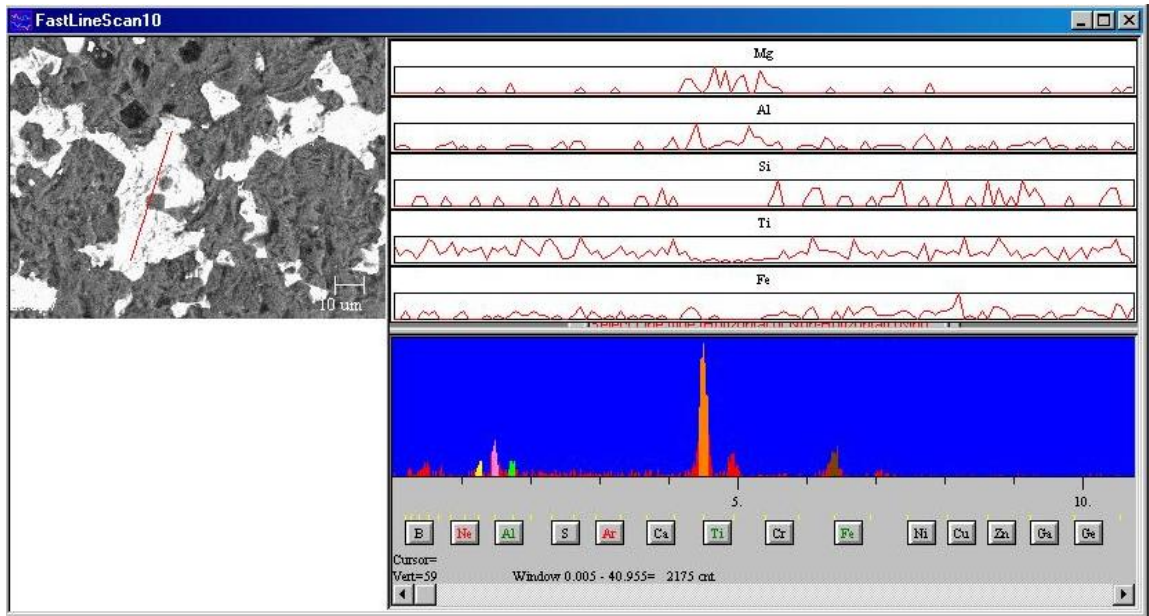


Resim 4.7. %10 SA içeren spinel oksit malzemenin SEM görüntüsü

Yapılan EDS analizinde parlak kısımların Ti ve Fe koyu renkte olanların ise Spinel olduğu gözükmektedir. şekil 4.5 ve şekil 4.6'da görüleceği gibi kompozit malzeme üzerinde metal olan açık renkli bölgelerde Si varlığı açıkça gözükmektedir.



Şekil 4.5. %10 SA içeren spinel oksitin O-Mg-Ti-Si-Al-Fe ile haritalanmış malzemenin EDS analizi

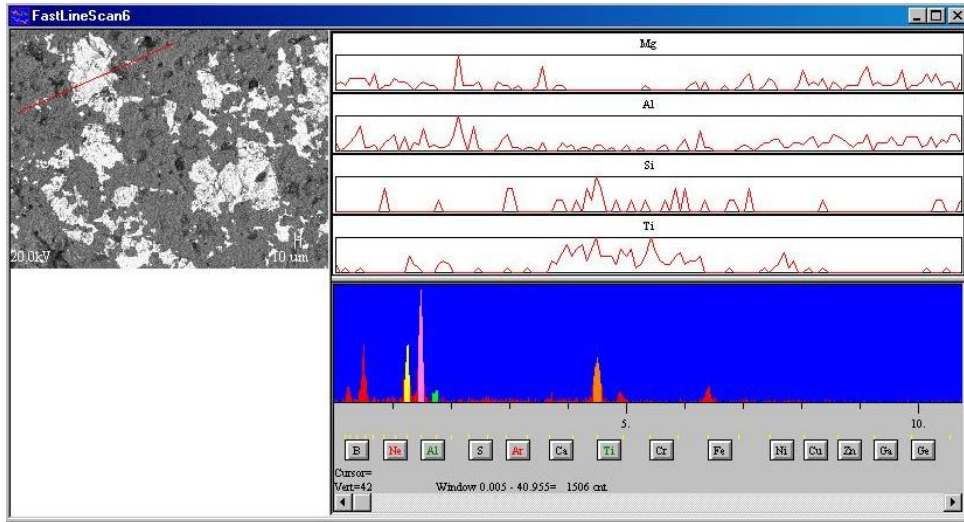


Şekil 4.6. %10 SA içeren spinel oksit malzemede EDS analizi grafiği

Oksijen konsantrasyonunun %5-13 arasında bulunduğu durumlarda beta/alfa allotropik geçiş fazı kaybolmakta ve tüm sıcaklıklarda titanyum alfa-monofaza dönmektedir. Bu nedenle oksijen difüzyonuyla yüzeyde oluşan bu tabakaya “alfa-case” adı verilmektedir. Alfa-case’ in kompleks olan

kompozisyonunda, döküm atmosferinden kaynaklanan karbon, oksijen, hidrojen, azot gibi elementlerden kaynaklanan silisyum bulunabilir. “Alfa-case” tabakası materyalin gerilme direnci ve şekil verilebilirliğini azalttığından oluşması istenmeyen bir tabakadır, sertlik ölçümleri, döküm sırasında çok az miktarda bile olsa hava ile temas eden titanyumun oksijen (O), azot (N) ve karbonu (C) absorbe etmesi nedeniyle mekanik özelliklerinde önemli değişikliklere yol açar(19). Şekil 4.6’da de görüldüğü gibi spinel olan kısımda da silisyuma rastlanılmazken Ti olan bölgelerde silisyum varlığı tesbit edilmiştir.

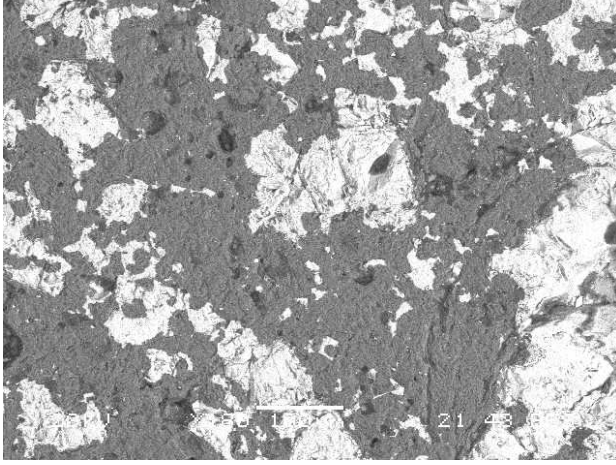
%20 SA içeren spinel oksit malzemede; Bu malzemede gözeneklilik %20 olarak ayarlanmış ve titanyum başarıyla infiltre edilmiştir. Malzeme üzerinde mikro gözeneklere rastlanmıştır. Bunlar taşlama sırasında oluşabileceği gibi infiltrasyonun gerçekleşmediği odacıklar da olabilir. Yine aynı şekilde EDS analizi sonucu Si varlığı tesbit edilmiştir (Şekil 4.7).



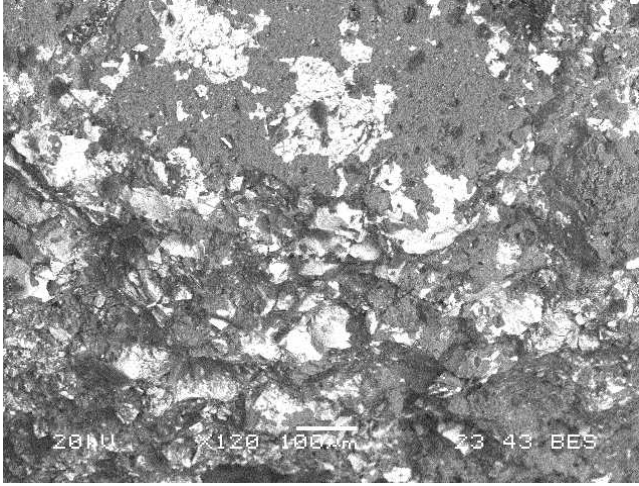
Şekil 4.7. % 20 SA içeren spinel oksit malzemede EDS analizi grafiği

% 30 SA içeren Spinel oksit malzemenin ortalarına kadar Ti infiltre olamadığı, pellet iç yapısının bozulduğu, oluşan gözenekliliğin çok fazla olduğu tesbit edilmiştir (Resim 4.8 ve 4.9). Gözenekliliğin fazla olmasına karşın

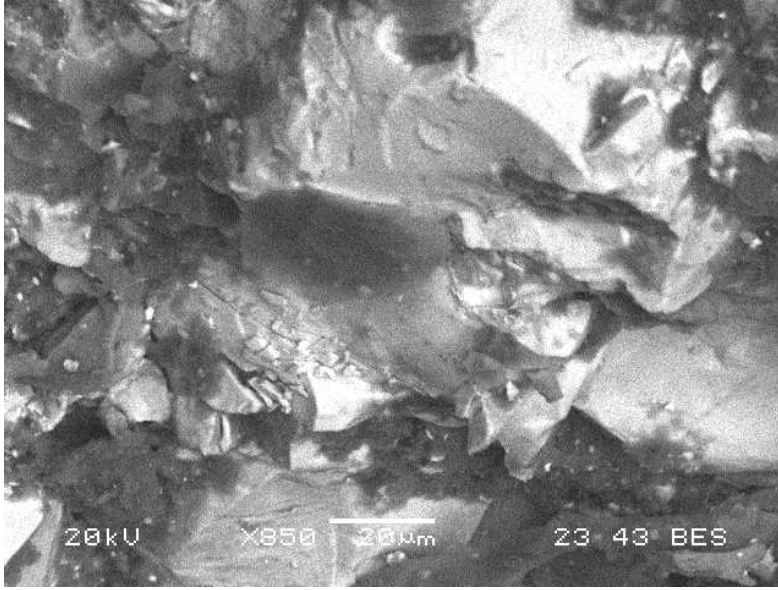
infiltrasyonun ve seramik-metalarayüzey bağının gerçekleştiği tesbit edilmiş fakat SA miktarının fazla olduğuna karar verilmiştir (Resim 4.10).



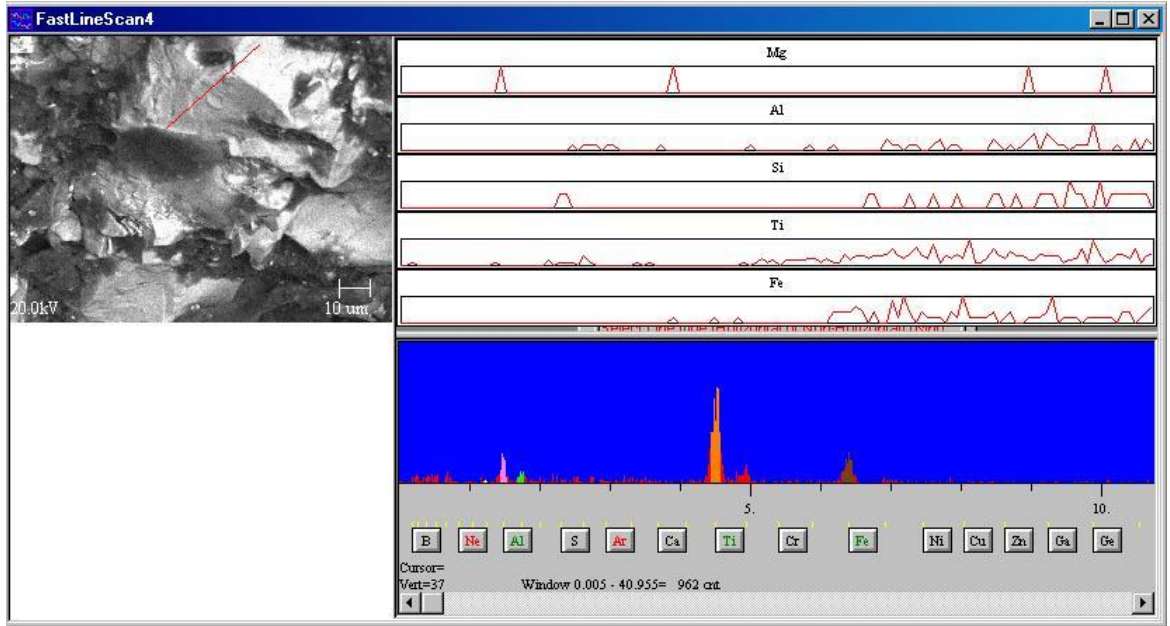
Resim 4.8. %20 SA içeren spinel oksit malzemenin SEM görüntüsü



Resim 4.9. % 30 SA içeren spinel oksit malzemenin infiltre olamayan kısımdan alınan SEM görüntüsü

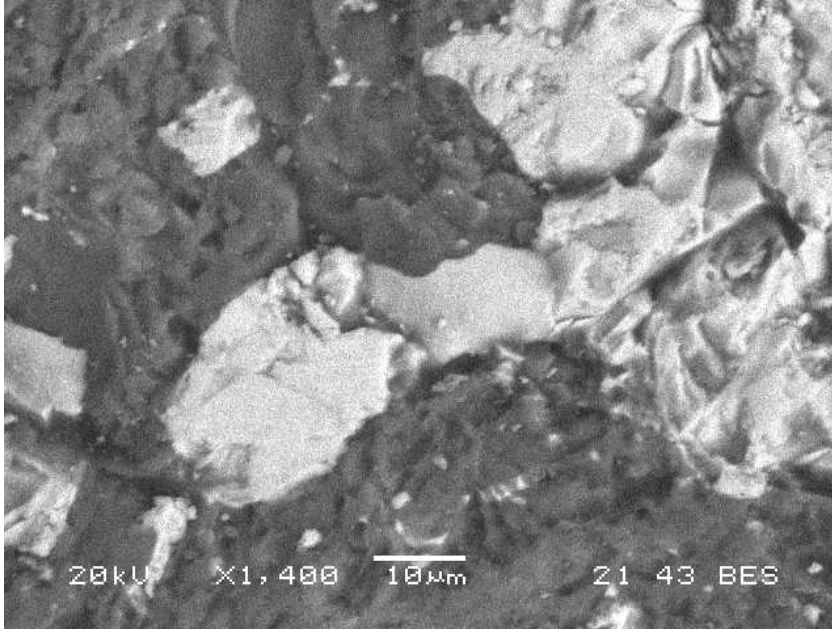


Resim 4.10. % 30 SA içeren spinel oksit malzemenin kırılmış yüzeyinden alınan SEM görüntüsü



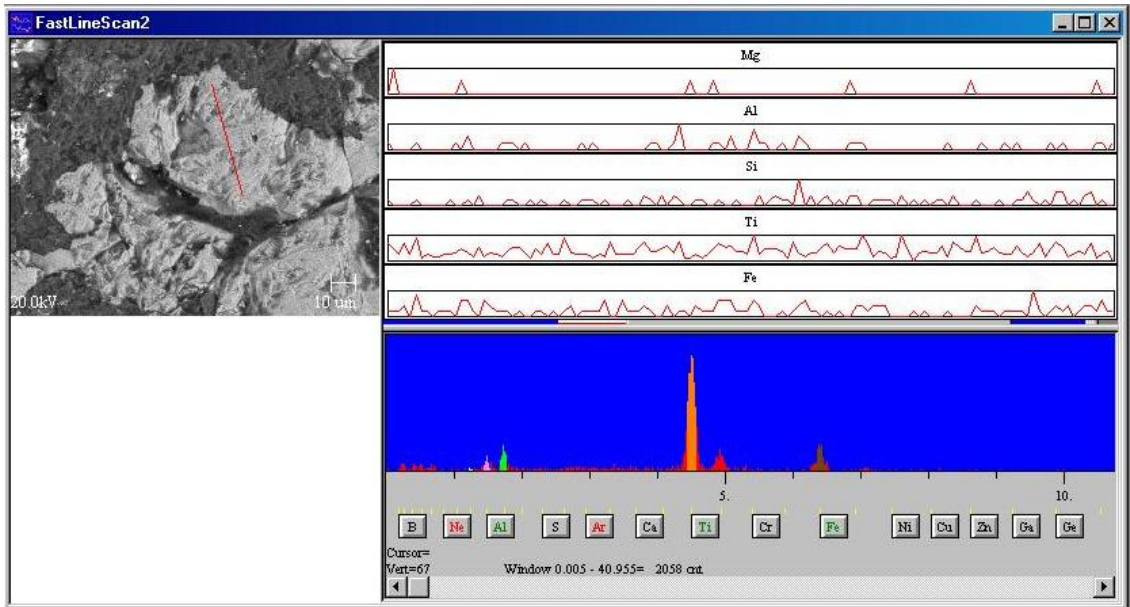
Şekil 4.8. %30 SA içeren spinel oksit malzemede EDS analizi grafiği

%10 SA ve %10 uçucu kül içeren malzeme uçucu kül içermeyen malzemeye göre daha çabuk infiltre olmuştur. (Resim 4.11) Yapılan EDS analizinde alfa case tabakası rahatlıkla görülmektedir (Şekil 4.9).

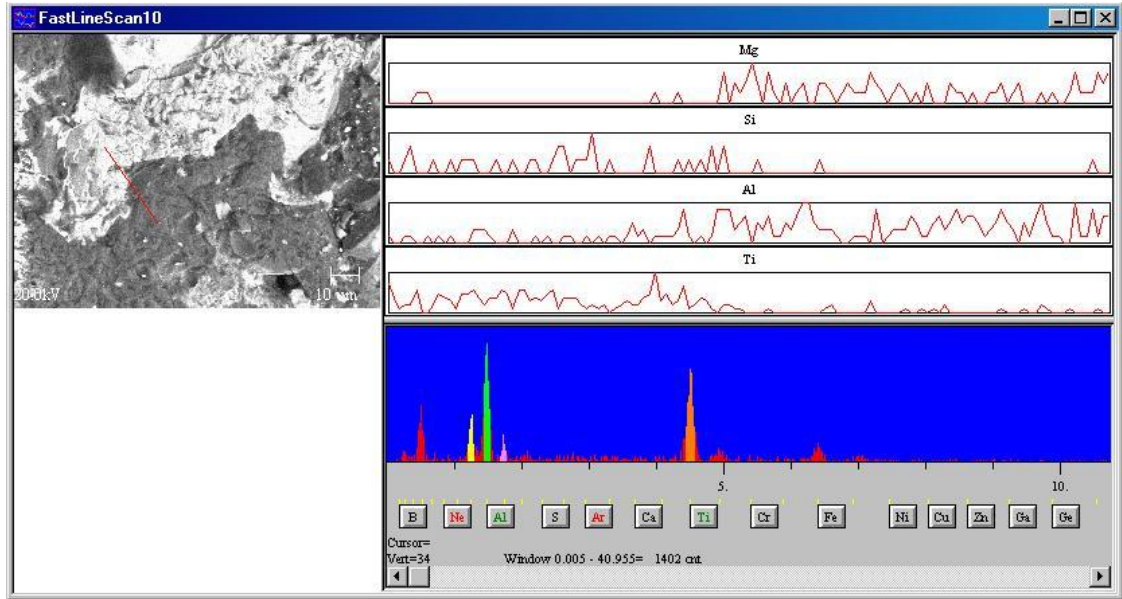


Resim 4.11. %10 SA ve %10 uçucu kül içeren malzemenin SEM görüntüsü

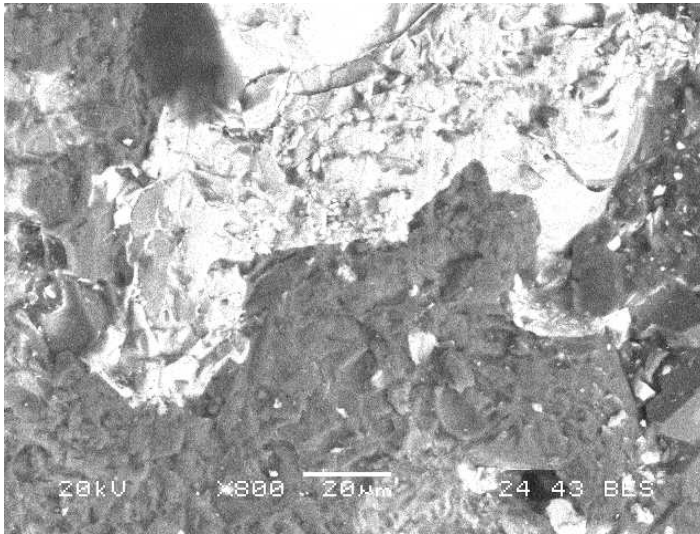
%10 SA ve % 20 uçucu kül içeren numune rahatlıkla infiltre olmuştur. EDS analizi sonucu matriks ve dolgu maddesi açıkça görülebilmektedir (Şekil 4.10).



Şekil 4.9. %10 SA ve %10 uçucu kül içeren malzemede EDS analizi grafiği

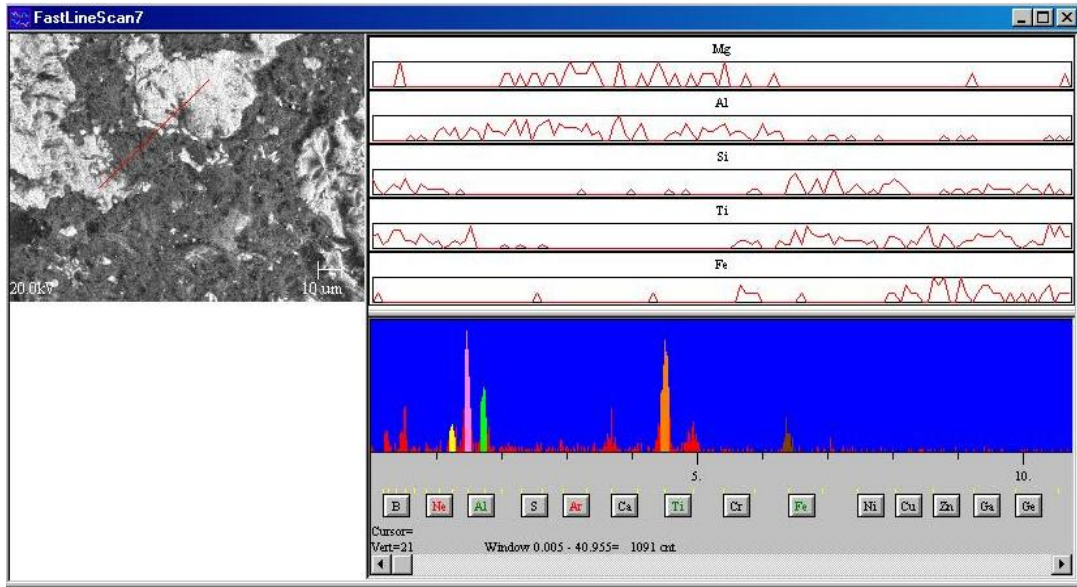


Şekil 4.10. %10 SA ve % 20 uçucu kül içeren malzemede EDS analizi grafiği

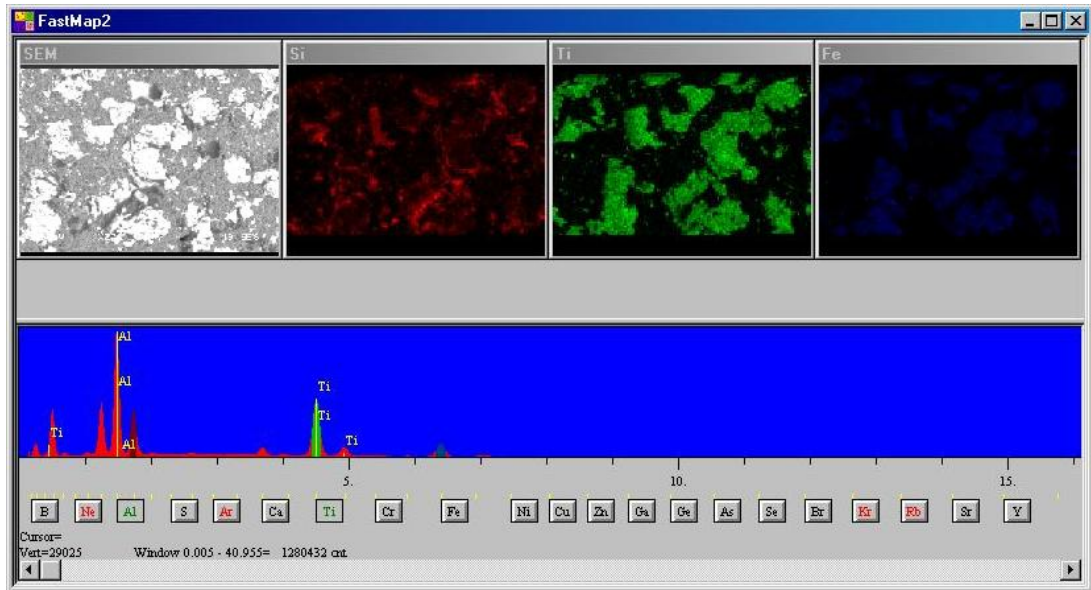


Resim 4.12.. %10 SA ve %20 uçucu kül içeren malzemenin SEM görüntüsü

%10 SA ve % 40 uçucu kül içeren malzeme de bu sıcaklıkta rahatlıkla infiltr olmuştur. EDS analizleri sonucunda hem spektrumlarından hem de renklendirilmiş olarak burada da Si varlığı ve farklı faz bölgeleri açıkça görülmektedir (Şekil 4.9 ve 4.10).



Şekil 4.11. %10 SA ve %40 uçucu kül içeren malzemede EDS analizi grafiği



Şekil 4.12. %10 SA ve %40 uçucu kül içeren Si-Ti-Fe ile haritalandırılmış malzemede EDS analizi

Oliver ve arkadaşları yaptıkları çalışmada malzeme üzerindeki mikro gözenekler üzerine çalışmış, bu gözenekler metal üzerinde oluştuğunda bir gaz yardımıyla bunların giderilebileceğini belirtmiş ve buna uygun bir algoritma geliştirmişlerdir (48).

5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Pellet oluşturulması sırasında uygulanan kuvvet ani olduğunda pelletin oluşmadığı gözlemlendi.

Tek yönlü kuvvet uygulanarak pelletler hazırlanırken 5-6 ton kuvvet uygulanıp süre kısa tutulduğunda yine pellet oluşmadığı fakat bu işlem yinelendiğinde pelletin oluşabildiği gözlemlendi.

Pellet oluşturmak için düşük basınçlardan başlayarak arttırımlı bir şekilde gidildiğinde oluşan pelletin gayet dayanıklı olduğu gözlemlendi.

Gözeneklilik için fırınlanan bu pelletler 850°C'sıcaklıktaki fırına verildiğinde yapıda su buharından meydana gelen bombeli bir yapı ve stearik asitten meydana gelen karbon kirliliği gözlemlendi. Bunu gidermek için malzeme önce 70°C-80°C de 30 dakika bekletildikten sonra 950°C ye kadar ısıtılıp bu sıcaklıkta 20 dakika bekletilen pellet trinoküler mikroskop altında bakıldığında gözenekli yapı 1mm den küçük olarak gözenekleri farklı oranlarda birbiriyle bağlantılı olan sağlam bir yapı oluştuğu gözlemlendi.

Stearik asit oranı arttıkça gözeneklilik artmakta ve dolayısıyla infiltre olan Ti alaşımı miktarı da artmaktadır.

Normal atmosferlerde yapılan deneylerde 2 saat 1600°C de tutulan malzeme üzerinde kırılğan bir oksit tabakası olduğu ve malzemenin infiltre olamadığı gözlemlendi. Bundan dolayı da deneylerin oksijensiz ortamda yapılmasına karar verildi.

Fırın içindeki oksijeni ortadan kaldırmak için % 99 saflıkta Argon kullanılarak tüp fırın içerisi inert hale getirilerek 2 saat süre ile 1598-1600°C de gerçekleştirildi. İnfiltrasyonun gerçekleştiği fakat burada da malzemenin bir miktar oksitlendiği görüldü.

Sisteme verilen argon gazının saflığı %99,999'a arttırılarak fırın öncesine ve sistem içine oksit tutucular yerleştirildi. 2 saat süren fırınlama ardından alaşımın başarılı bir şekilde infiltre olduğu ve süre ile sıcaklığın fazla geldiği tesbit edildi.

Bundan sonra yapılan deneyler ve elde edilen malzemeler 1550°C sıcaklıkta 30 dakika süre ile gerçekleştirilmiştir.

Başarılı bir şekilde infiltre edilen numunelerde 13 mm çapında olan pelletlerin infiltrasyon sonucunda 12.8 mm çapına düştüğü tesbit edildi.

Elde edilen malzemelerde sertlikler ölçüldüğünde ortalama 1872 HV ile %20 SA ve %20 UK içeren malzeme en sert olarak tesbit edildi.

Üretilen kompozit malzemelerin SEM görüntülerine bakıldığında genel olarak Ti alaşımının spineli iyi bir şekilde ıslatarak gözenekli yapıdaki boşlukları birbiriyle bağlantılı olan kanallar halinde doldurduğu tesbit edildi.

Yapılan EDS analizlerinde seramik ve metalik fazlar açıkça tesbit edildi. Kırılmış yüzeylerde metal üzerinde dökümden kalma veya uçucu külden ileri gelen Si varlığı tesbit edildi.

5.2. Öneriler

Malzemenin pellet oluşturulması sırasında üç boyutlu kuvvet uygulanılarak farklı yöntemler denenmesi,

Üretilen kompozitin mekanik özelliklerinin ve ısı iletkenliklerinin tesbit edilmesi,

Elde edilen malzemeye B_4C eklenmesi ve yeni kompozitlerin elde edilmesi,

Malzeme çok sert olduğu için işleme zorluğu oluşacağından nihai ürün olarak elde edilmesi ve bu yapılırken infiltrasyon sonucundaki çap küçülmesinin dikkate alınması,

Malzemelerin savunma sanayinde zırh olarak denenmesi önerilebilir.

KAYNAKLAR

1. Yalçın, H., Gürü, M., “Malzeme Özellikleri”, Malzeme Bilgisi”, **Palme Yayıncılık**, Ankara, 1-42, (2002).
2. Davey, N., “Metarials Science”, A History of Building Metarials, **Phoenix Hause**, Londra, 2nd Edition,1-88, (1965).
- 3.Ünsal, B., “Mimari Tarihi”, **Yıldız Devlet mühendislik ve Mimarlık Akedemisi Yayınları**, Sayı 53, Kurtuluş Matbaası, İstanbul (1973).
4. Broutman, L., J., Krock, R, H., “Modern Composite Materials”, **Addison-Wesley Publishing Company**, Reading, Massachusetts, (2000).
5. Jones, M. J., “**Mechanics of Composite Materials**”, Scripta Book Company, Washington D.C., McGraw-Hill Book Company, New York.
6. Şahin, Y., “Kompozitlerde Matriks Malzemeleri”, **Kompozit Malzemelere Giriş**”, Gazi Kitabevi, Ankara, 1-88, (2000).
7. Kimya Sanayi (Yeni Malzemeler), Devlet Planlama Teşkilatı, Yayın no:2590, “**VIII. Beş Yıllık Kalkınma Planı Özel İhtisas Komisyonu Raporu 602**”, Ankara, 6-22, (2001).
8. Geçkinli, A. E., ”Seramikler”, **İleri Teknoloji Malzemeleri**, İstanbul Üniversitesi Matbaası, İstanbul 40-65, (1992).
9. Ibrahim, I.A., Mohamed, F.A, Lavernia, E. J., “Partikulated reinforced metal matrix composites a rewiev”, **Journal of Metararials Science**, Vol 26, 1137-1156 (1991)
10. Huda, M., Hashmi, M.S., “MMCs: Matereials, manufacturing and mechanical properties”, “Metal Matrix Composites part I Application and Processing”, **Hobbs The Printers Ltd. U.K.**, 37-63 (1995)
11. Lloyd, D. J., “Particle reinforced aluminium and magnesium matrix composites”, **International Materials Rewievs**, 39 (1),1-23 (1994)
12. Kurnaz. S.C., Akbulut, H., ve Duman, M., “Saffil (δ -Al₂O₃) Fiber takviyeli Zn-Al alaşımı metal matriksli kompozitlerin infiltrasyon yöntemiyle üretimi ve özelliklerinin incelenmesi”, **7.Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi**, 1155-1166, Ankara (2002)
13. Subramanian, R., Schneibel, “FeAl–TiC and FeAl–WC composites—melt infiltration processing, microstructure and mechanical properties”, **Materials Science and Engineering A**, 244:103–112 (1998)

14. Gül, F., “Döküm yoluyla alüminyum temelli parçacık takviyeli kompozit geliştirme” Doktora Tezi, **Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 20-35, (1999).
15. Ray, S., “Porosity in foundry composites, In: S. G. Fishman and A.K. Dhigra (eds.), Cost reinforced metal composites”, ASM/TMS, Comittie, **Worlds Materials Congress**, Chicago, Illionos, USA, 77-80, (1988).
16. Svatsan, T.S., Ibrahim, I.A., Mohamed F.A., Lavernia, E.J., “Processing techniques for particulate reinforced aluminium matrix composites”, **Journal of Material Science**, (26), 5965 – 5975 (1991).
17. Cöcen, Ü., Önel, K., “Metal matriksli kompozit malzemeler; özellikleri ve uygulamaları” **Metalurji**, (20), 18-21 (1996).
18. Ryshkewitch, F., Richerson, D., Oxide Ceramics, 225, **Academic Press**, (1985)
19. Olbrich, M., Dobrowsky, F., Radenthein, P., **Spinel Brics in the Cement Industry**, (2/3), 300,311 (1990).
20. Tonak, T., “Çimento döner fırınlarında kemer oluşumunu önlemek için magnezyumoksit spinel tuğla kullanılması”, **Çimento Dünyasından**, Cilt 2, Sayı 12, 1-8, (1998).
21. Ketther, P., Christof, C., MA-Spinel brick in glass furnace regenerarator, **Radex-Rundschau**, Heft 1, 3-11 (1986).
22. Rematitan, Titanium Casting System, “Instructions, **Dentaurum**, Germany, (1998).
23. Baydur, G., “Malzeme Tarihi”, Malzeme, **Milli Eğitim Bakanlığı Devlet Kitapları**, İstanbul,1-35, (1991).
24. Jaffe, R.I., Promisel, N. E., “The science technology and application of titanium”, 1st ed., Oxford, **Pergamon Pres**, 51-88, (1970)
25. Metals Handbook, American Society for Metals, 8 th ed., Ohio, **Galls Metals Parks**, (1985)
26. Büyük Larousse, Milliyet Yayınları, 22. cilt, **Milliyet Yayınları**, 11557, (1998)
27. Geis Gerstorfer, “Corrosion behaviour of titanium”, **1st information meeting on titanium in dentistry**, Geneva, Conference Abstract, 47-52 (1994)

28. **ASM Metals Handbook**, , “Properties and Selection:, Stainles steels, tool materials and special-purpose metals titanium and titanium Alloys”, 9th Edition, Volume3 352 (1997).
29. Tanrıöver, K., Taşçı A., Ağustos, Titanyum alaşımlarının ısıt işlemleri, **Makine Magazin**, 58 (1997)
30. VIII. Beş Yıllık Kalkınma Planı, **Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu**, “Sanayi hareketleri”, 1-30,629, DPT, Ankara (2001)
31. Beazley, T. M., April, “Events and trends in metal and mineral commodities”, **Journal of the Minerals Metals & Materials Society**, 45 (1996)
32. Srinivasa B. R., Jayaram, V., “Pressureless infiltration of Al–Mg based alloys into Al₂O₃ preforms: mechanisms and phenomenology” **Acta Mater**, 49: 2373–2385 (2001).
33. Chawla, K.K., “Composite Materials: Science and Engineering 2nd ed”, **Spinger-Verlag**, New York, 165-209 (1998).
34. Travitzky N.A.” Microstructure and mechanical properties of alumina/copper composites fabricated by different infiltration techniques” **Materials Letters**, 36: 114–117 (1998).
35. 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).
36. Tomsia, A.,P., Saiz, A., Foppiano, S., “Synthesis and processing of ceramicmetal composites by reactive metal penetration” , **Composites**, Part A, (30), 399-403 (1999).
37. Subramanian, R., Schneibel, J. H., “Intermettalic bonded WC-based cermets by pressureless melt infiltration”, **Intermetalics** 5, 401-408 (1997).
38. 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).
39. Becher, P. F., Kevin, P. P., “Properties of Ni₃ Al- bonded titanium carbide ceramics”, **Journal of the European Ceramic Society**, 18: 395-400 (1997).
40. Travitzky, N.A., Shlayan, A., “Microstructure and mechanical properties of Al₂O₃:Cu–O composites fabricated by pressureless infiltration technique”, **Materials Science and Engineering A**, 244: 154–160 (1998).

41. Travitzky, N.A., Gutmanas, E.Y., Claussen, N., "Mechanical properties of $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Si}$ composites fabricated by pressureless infiltration technique", ***Materials Letters***, 33: 47-50 (1997).
42. Contreras, A., Lopez, V.H., Bedolla, E., "Mg/TiC composites manufactured by pressureless melt infiltration" ***Scripta Materialia***, 51: 249–253 (2004).
43. Altinkok, N., Demira, A., Ozsert, İ., "Processing of $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiC}$ ceramic cake preforms and their liquid Al metal infiltration" ***Composites***, Part A, 34: 577–582. (2003)
44. Kevorkijian, M., "The reactive infiltration of porous ceramic media by a molten aluminum alloy", ***Composites Science and Technology***, 59: 683-686 (1999).
45. 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),
46. D'Errico, G. E., Bugliosi, S., Cuppini, D., "Erosion of ceramics and cermets", ***Journal of Materials Processing Technology***, 118: 448-453 (2001).
47. Levin, L., Frage, N., Darie M. P., "A novel approach for the preparation of B₄C-based cermets" ***International Journal of Refractory Metals & Hard Materials***, (18) 131-135 (2000).
48. 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).
49. 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).
50. 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).
51. Rozenstrauha, I., Bajare, D., Cimmins, 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).
52. 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).

53. Sezer, A., Inan, G., Yılmaz, H. R., Ramyar, K., "Utilization of a very high lime fly ash for improvement of İzmir clay" ***Building and Environment***, (2004).
54. ***ASM Metals Handbook***, Atlas of Microstructures of Industrial Alloys, Mikrostructure of Titanium and Titanium Alloys, 8 th Edition, Volume 7, 321, (1995).

ÖZGEÇMİŞ

1979 yılında Ankara’da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Ankara’da tamamladı. 2002 yılında Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü’nden mezun olduktan sonra 2003 yılında Gazi Üniversitesi Çorum Mühendislik Fakültesi’nde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. Halen aynı göreve devam etmektedir.