

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TİTANYUM MATRİSLİ TİTANYUM KARBÜR TAKVİYELİ KOMPOZİT
ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Burak KARADUMAN**

Anabilim Dalı : Metalurji ve Malzeme Müh.

Programı : Seramik Mühendisliği

OCAK 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TİTANYUM MATRİSLİ TİTANYUM KARBÜR TAKVİYELİ KOMPOZİT
ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Burak KARADUMAN
(506081301)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 22 Aralık 2009
Tezin Savunulduğu Tarih : 27 Ocak 2010**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Hüseyin ÇİMENÖĞLU (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Eyüp Sabri KAYALI (İTÜ)
Prof. Dr. Mehmet KOZ (MÜ)**

OCAK 2010

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın her aşamasında birçok değerli büyüğümün meslektaşımın ve fedakar dostlarımın desteğini görmüş olmaktan dolayı onur duyuyorum.

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca engin deneyimleri ve yarattığı özgür fakat aynı zamanda disiplinli çalışma ortamıyla bana destek olan, çalışmamın her aşamasında fikirlerinden yararlanmamı sağlayan çok değerli hocam Prof. Dr. Hüseyin ÇİMENÖĞLU'na saygılarımla en içten teşekkürlerimi sunarım. Daima yanımda hissettiğim, deneyimlerini sırasında görüş ve önerilerinden yararlanmamı sağlayan çok kıymetli hocalarım Yrd. Doç. Dr. Murat BAYDOĞAN'a ve Prof. Dr. E.Sabri KAYALI'ya içtenlikle teşekkür ederim.

Toz karakterizasyonu, yoğunluk ölçümleri konusunda her türlü olanaktan sonuna kadar yararlanmamı sağlayan saygı değer hocam Prof. Dr. Lütfi ÖVEÇOĞLU'na ve deneyler sırasında bana yardım eden Yük. Müh. Aziz GENÇ'e sonsuz teşekkür ederim. Elektrolitik korozyon deneylerimi yapmama olanak sağlayan Prof. Dr. Servet TİMUR ve deneylerim sırasında yardımını esirgemeyen Araş. Gör. Yük. Müh. Özgenur KAHVECİÖĞLU'na da çok teşekkür ederim. XRD deneylerim sırasında yanımda olan çok sevgili arkadaşlarım Müh. Sinem ERASLAN ve Müh. Alperen SEZGİN'e teşekkürlerimi sunarım.

Tüm çalışmam boyunca hem bilimsel açıdan yardımları için, hem de arkadaşlık adına güzel şeyler paylaştığım yol arkadaşım araştırma görevlisi Yük. Müh. Mert GÜNYÜZ, Yük. Müh. Özgür ÇELİK'e ve Yük. Müh. Rıza KARADAŞ'a sonsuz teşekkürü bir borç bilirim. Laboratuvar çalışmalarım esnasında desteğini esirgemeyen ve her anlamda yardım eden sevgili arkadaşım Müh. Dilek DUMAN'a canı gönülden yanımda olduğu için teşekkür ederim. Tecrübeleriyle çalışmam boyunca destek olan Yük. Müh. Onur MEYDANOĞLU'na teşekkürler ederim. Ayrıca aynı ortamı paylaştığım Mekanik Metalurji Laboratuvarının ve İTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nün diğer çalışanlarına teşekkür ederim.

Uzun eğitim hayatım boyunca bana varlıklarıyla destek veren, sabırlarıyla üst seviyelere yükselmeme yardımcı olan, kendi çizdiğim yolda ilerlememi sağlayan sevgili AİLEM'e sonsuz teşekkürü borç bilirim.

Aralık 2009

Burak KARADUMAN
Metalurji ve Malzeme Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xiii
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ	1
2. TİTANYUM VE TİTANYUM ALAŞIMLARI.....	5
2.1. Titanyumun Genel Özellikleri.....	5
2.1.1. Saf titanyumun genel özellikleri	6
2.1.2. Ti6Al4V alaşımının genel özellikleri (Grade 23-ELI).....	9
2.1.3. Ti6Al7Nb alaşımının genel özellikleri.....	9
2.2. Saf Titanyum Üretimi.....	9
2.3. Titanyum Alaşımlarının Yapılarına Göre Sınıflandırılması.....	11
2.3.1. α alaşımları.....	11
2.3.2. $\alpha + \beta$ alaşımları.....	12
2.3.3. β alaşımları.....	14
2.4. Titanyum ve Alaşımlarının Kullanım Alanları.....	14
3. KOMPOZİT MALZEMELER.....	17
3.1. Metal Matriksli Kompozitler	18
3.2. Kompozitlerin Üretimi	20
3.2.1. Toz metalurjisi	20
3.2.1.1. Başlangıç malzemeleri.....	20
3.2.1.2. Karıştırma	21
3.2.1.3. Presleme.....	21
3.2.1.4. Sinterleme	22
3.3. Titanyum Matrisli Kompozit Malzemeler.....	24
4. TİTANYUM KARBÜR	27
4.1. Titanyum Karbürün Temel Özellikleri.....	27
4.2. Titanyum Karbür Üretim Yöntemleri.....	30
4.2.1. Karbotermal redüksiyon.....	30
4.2.2. Gaz fazı sentezi (CVD)	31
4.2.3. Kendiliğinden gerçekleşen yüksek sıcaklık sentezi (SHS)	33
4.2.4. Doğrudan karbürizasyon	34
4.3. Titanyum Karbür Kullanım Alanları.....	35
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	37
5.1. Deney Numunelerinin Hazırlanması	39
5.1.1. Kuru karıştırma	41
5.1.2. Presleme çalışmaları	41
5.1.3. Sinterleme çalışmaları.....	42

5.1.4.	Kırma-öğütme	43
5.2.	Yapısal Karakterizasyon Çalışmaları	43
5.2.1.	Yoğunluk ölçümü	43
5.2.2.	Mikroyapı karakterizasyonu	45
5.2.3.	Faz incelemeleri	45
5.2.4.	Sertlik ölçümü	46
5.2.5.	Aşınma testleri	46
5.2.6.	Korozyon dayanımının karakterizasyonu	47
6.	DENEYSEL SONUÇLAR.....	49
6.1.	XRD çalışmaları	49
6.2.	Mikroyapı çalışmaları	50
6.2.1.	Yoğunluk ve porozite ölçüm Sonuçları	52
6.2.2.	Sertlik testi sonuçları	54
6.2.3.	Aşınma testi sonuçları	54
6.2.4.	Korozyon testi sonuçları	57
7.	GENEL SONUÇLAR	59
	KAYNAKLAR.....	61
	EKLER.....	67

KISALTMALAR

- ADA** : Amerikan Dişhekimleri Birliği
CVD : Kimyasal Buhar Biriktirme
HMK : Hacim Merkezli Kübik
MMK : Metal Matrisli Kompozit
SEM :Taramalı Elektrom Mikroskobu
SHS : Kendiliğinden Geręekleřen Yüksek Sıcaklık Sentezi
SPH : Sıkı Paket Hekzagonel
TiC : Titanyum Karbür
TM : Toz Metalurjisi
XRD : X-Işını Difraksiyonu
YMK : Yüzey Merkezli Kübik

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 : Saf Titanyumun Mekanik Özellikleri.....	7
Çizelge 4.1 : Titanyum Karbürün özellikleri.....	29
Çizelge A.1 : Yoğunluk ölçüm sonuçları	75
Çizelge A.2 : Sertlik Değerleri	76
Çizelge A.3 : Aşınma Alanı Değerleri.....	79

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : a) Titanyum–Kalay b) Titanyum-Manganez c) Titanyum-Manganez d) Titanyum Molibden İkili Faz Diyagramları	6
Şekil 2.2 : CP Titanyumda Gözlenen a) Eşeksenli α Taneleri b) İğnesel α Taneleri .	8
Şekil 2.3 : HMK β Fazının SPH α Fazına Dönüşümü	9
Şekil 2.4 : Kroll Prosesi ile Sünger Titanyum Üretimi.....	10
Şekil 2.5 : Sünger Titanyumdan Titanyum Yarı Mamül Üretimi.....	11
Şekil 2.6 : α Titanyum Alaşımının a) Tavlanması, b) Hızlı Soğutma Sonrası Mikroyapısı, c) Yavaş Soğutma Sonrası Plakalı Mikroyapısı.....	12
Şekil 2.7 : $\alpha + \beta$ Titanyum Alaşımının a) Tavlanması, b) Yavaş Soğutma Sonucu Oluşan Eşeksenli Mikroyapı c) Hızlı Soğutma Sonucu Oluşan İğnems Mikroyapı	13
Şekil 3.1 : Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması.....	18
Şekil 3.2 : Geleneksel Tek Yönlü Presleme İşleminin Şematik Gösterimi.	22
Şekil 3.3 : Boyun Bölgesinde Gerçekleşen Muhtemel Sinterleme Mekanizmaları: 1)Yüzey Difüzyonu, 2) Buharlaştırma ve Yoğunlaştırma, 3) Kütle Difüzyonu, 4) Tane Sınır Difüzyonu	23
Şekil 4.1 : Titanyum karbürün kristal yapısı	27
Şekil 4.2 : Titanyum Karbür kompozisyona göre latis parametresinin değişimi	28
Şekil 4.3 : (a) Metal-Karbon oranı ve (b) Sıcaklığa göre sertlik değişimi	30
Şekil 4.4 : Gibbs serbest enerjisi diyagramı	31
Şekil 4.5 : Kimyasal Buhar Biriktirme Yöntemi	33
Şekil 4.6 : Kendiliğinden gerçekleşen yüksek sıcaklık sentezi	34
Şekil 5.1 : Reaktif sinterleme çalışmalarının akış şeması.....	37
Şekil 5.2 : Geleneksel sinterleme çalışmalarının akış şeması.....	38
Şekil 5.3 : Malvern™ Mastersizer 2000–S Partikül Boyut Ölçüm cihazı.....	39
Şekil 5.4 : (a) Titanyum ve (b) Grafit tozlarının boyut analizleri.....	40
Şekil 5.5 : (a) Titanyum ve (b) Grafit tozlarının SEM Görüntüleri	40
Şekil 5.6 : (a) Titanyum ve (b) Grafit tozlarının XRD paternleri.....	41
Şekil 5.7 : WAB TURBULA kuru karıştırıcı	41
Şekil 5.8 : Hidromode hidrolik pres.	42
Şekil 5.9 : a) Nabertherm atmosfer kontrollü fırın, b)Sinter rejimi.	42
Şekil 5.10 : a) Retsch MM400 Öğütücü, b) Çelik mekanik alaşımlama kabı ve çelik top	43
Şekil 5.11 : Yoğunluk Ölçümlerinde Kullanılan Precisa™ XB220A Tartım Cihazı.....	44
Şekil 5.12 : a)Leica marka stereo mikroskop, b)Hitachi marka masaüstü taramalı elektron mikroskobu.	45
Şekil 5.13 : X-ışınları difraksiyon ölçümü için kullanılan GBC MMA027 XRD cihazı.....	45
Şekil 5.14 : Shimadzu Mikrosertlik Cihazı.	46
Şekil 5.15 : Karşı Yüklemeli (Reciprocating) Test Cihazı	47
Şekil 5.16 : Aşınma İzinin Derinliğinin ve Genişliğinin Şematik Olarak Gösterimi	47

Şekil 6.1 : Reaktif sinterleme ile üretilen %5 TiC içeren numunenin XRD paterni..	49
Şekil 6.2 : Reaktif sinterleme ile üretilen %100 TiC numunenin XRD paterni	50
Şekil 6.3 : Sinterleme sonucu numunelerin optik mikroskop görüntüleri	51
Şekil 6.4 : Sinterleme sonucu numunelerin SEM görüntüleri	52
Şekil 6.5 : Ti matrisli TiC takviyeli kompozitlerde TiC miktarının (a) yoğunluk ve (b) porozite üzerine etkisi	53
Şekil 6.6 : Sertlik testi sonuçları	54
Şekil 6.7 : Aşınma alanı değişimi	55
Şekil 6.8 : Sürtünme Katsayısı Grafiği	55
Şekil 6.9 : Aşınma izleri optik fotoğrafları	56
Şekil 6.10 : Potansiyodinamik Polarizasyon Testi Eğrileri.....	57
Şekil A.1 : Geleneksel Sinterleme Optik Mikroskop Görüntüleri	68
Şekil A.2 : Reaktif Sinterleme Optik Mikroskop Görüntüleri.....	70
Şekil A.3 : Geleneksel Sinterleme SEM Görüntüleri	72
Şekil A.4 : Reaktif Sinterleme SEM Görüntüleri	74
Şekil A.5 : Aşınma İzi Profilleri	78
Şekil A.6 : Geleneksel Sinterleme Aşınma İzi Görüntüleri.....	81
Şekil A.7 : Reaktif Sinterleme Aşınma İzi Görüntüleri.....	83
Şekil A.8 : Sürtünme Katsayısı Grafiği	85

TİTANYUM MATRİSLİ TİTANYUM KARBÜR TAKVİYELİ KOMPOZİT ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU

ÖZET

Toz metalurjisi (T/M), çeşitli metal işleme teknolojileri arasında en farklı üretim tekniğidir. Yüksek kaliteli ve karmaşık parçaların ekonomik olarak üretilebilmesi, toz metalurjisini cazip kılmaktadır. T/M farklı boyut, şekil ve paketlenme özelliğine sahip metal tozlarını sağlam, hassas ve yüksek performanslı parçalara dönüştürür. Bu işlem; presleme ve daha sonra parçacıkların sinterleme yolu ile ısıtılma ve bağlanması basamaklarını içerir. T/M nispeten düşük enerji tüketimine, yüksek malzeme kullanımına ve düşük maliyete sahip otomatikleşmiş işlemleri verimlice kullanır. Sahip olunan bu özellikler ile T/M verimlilik, enerji ve hammadde gibi günümüz kaygılarını ortadan kaldırır. Bunların sonucu olarak, T/M konusu sürekli gelişmekte ve geleneksel metal şekillendirme operasyonlarının yerini almaktadır.

Bu çalışmada toz metalurjisi yöntemi (soğuk presleme ve sinterleme) ile titanyum karbür takviyeli titanyum matrisli kompozit üretilmesi amaçlanmıştır. Kompozit üretimi iki farklı yöntemle gerçekleştirilmiştir. Geleneksel yöntem olarak tanımlanan proseste titanyum (82 ağırlık %) ve grafit (18 ağırlık %) toz karışımından önce kütleli titanyum karbür elde edilmiş, daha sonra titanyum karbür ve titanyum toz karışımı kullanılarak titanyum matrisli kompozit üretilmiştir. İkinci yöntem ise reaktif sinterleme olarak tanımlanmıştır. Bu yöntemde titanyum (82 ağırlık %) ve grafit (18 ağırlık %) toz karışımı hazırlandıktan sonra bu karışıma titanyum tozları ilave edilerek kompozit üretimim gerçekleştirilmiştir. Geleneksel ve reaktif sinterleme teknikleri ile üretilen kompozitlerin karakterizasyonu, yoğunluk ve sertlik ölçümleri ile mikroyapı incelemeleri ile ve aşınma ve korozyon testleri ile yapılmıştır.

PRODUCTION OF TITANIUM CARBIDE REINFORCED TITANIUM MATRIX COMPOSITES VIA CONVENTIONAL POWDER METALLURGY METHOD

SUMMARY

Powder metallurgy (P/M) method is a different production technique between the various metal handling technologies. The samples which are complicated shaped and have the high quality can be produced economically via powder metallurgy. P/M transforms the metal powders which have the different dimension, shape and packing features to high performance, hard and accurate materials. There are two steps in powder metallurgy method. These steps are milling and sintering of the mixed powder. P/M is a method which has a low energy consumption, high material usage and low cost. For that reason, P/M is an ongoing method and taking the traditional metal handling methods' place.

In this study titanium carbide reinforced titanium matrix composites were produced by powder metallurgy method (i.e. cold pressing and sintering). Two different routes (namely conventional sintering and reactive sintering) were followed in fabrication of the composites. For the conventional sintering route composites were fabricated from the mixture of titanium and titanium carbide powders. Titanium carbide powders were produced via sintering of titanium (82 wt %) and graphite (18 wt %) mixture compacts as the first step of conventional sintering route. Reactive sintering route was mainly consisted of direct sintering of titanium and graphite mixtures. As the first step, titanium (82 wt %) and graphite (18 wt %) powders were mixed. As the second step, titanium powders were added to this mixture. In the scope of this thesis, composites fabricated via conventional and reactive sintering routes were characterized by density and hardness measurements, microstructural survey and wear and corrosion tests.

1. GİRİŞ

Bugünün mühendislik uygulamalarındaki yeni malzeme ihtiyacı, malzeme bilimi ve mühendisliği alanına dünya çapında gösterilen ilgi ve endüstriyel yatırımda, ulusal veya özel araştırma ve geliştirme programlarına yansısıyla ölçülebilmektedir. En büyük tasarım sınırlamalarından birinin, malzemenin kullanım sırasında gerekli yeterliliği göstermesi olduğu çok iyi bilinmektedir. Gerçekten de birçok gelişme, malzemenin daha iyi bir başkasıyla yer değiştirmesi sonucu ortaya çıkar. Sürekli olarak mükemmel malzemenin aranması, nihayet ‘kompozit’ olarak bilinen heyecan verici yeni bir sınıfın geliştirilmesi ile sonuçlanmıştır (Muscat, 1993).

Günümüz modern teknolojilerinin çoğu geleneksel metal alaşımları, seramik veya polimerik malzemeler ile karşılanamayacak pek çok özelliği bir arada istemektedirler. Özel uygulamalar için yeni malzeme türlerinin üretimi konusunda eğilim her geçen gün artmaktadır, çünkü hiçbir basit malzeme türü son 20 yılda artan gereksinimleri karşılayamamaktadır (Song ve diğerleri, 2003; Tang ve diğerleri, 2004). Kompozit malzemelerin geliştirilmesi ile modern teknolojinin gereksinimi olan malzeme kombinasyonlarına ulaşılmıştır. Bir kompozit malzeme, birbirinden farklı iki veya daha fazla malzemenin birleştirilmesi ile elde edilen yeni bir malzeme olup, bileşimindeki malzemelerin tek başına gösteremeyeceği pek çok özelliği gösterebilen ve kullanım için daha uygun olan malzemelerdir (Schwartz, 1984). Genel olarak kompozitler, yüksek dayanım ve rijitlik gösteren bir malzemenin başka bir ana malzeme tarafından çevrenmesi sonucu elde edilen malzemeler olarak tanımlanabilir (Schwartz, 1997).

Kompozit malzemeler önemli mühendislik malzemeleri haline gelmiş, özellikle denizcilik, otomotiv ve uzay endüstrisinde kullanılmak üzere tasarlanmış ve üretilmişlerdir; yüksek dayanımları, rijitlik-yoğunluk oranları ve mükemmel fiziksel özellikleri ile tercih edilmektedirler. Sonuç olarak bu endüstri alanlarında kompozit malzemelerin kullanımı teknolojilerdeki ilerlemeye önderlik etmektedir (Ahlatçı, 2000).

Kompozit malzemelerin çoğunlukla tercih edilen çelik bileşenlerin yerini almakta ve onlardan daha iyi bir performans göstermektedir. Yerini aldıkları çelik bileşenlerde %60–80 ağırlık kazancı sağlamaktadır (Akbulut, 2000). Bunun yanında, bu malzemelerdeki büyük potansiyel kompozit malzemelerin mekanik özellikleri ile ilgili çalışmalara duyulan ihtiyacı arttırmıştır (Quinta da Fonseca, 2001).

Kompozit malzemelerin sınıflandırılmasında basit bir yöntem, matriks fazı içeriklerini göz önüne alarak bunları değişik gruplara ayırmaktır. İlk sınıflandırma matriks bileşimine dayanır: Polimer Matriksli Kompozitler, Metal Matriksli kompozitler, Seramik Matriksli Kompozitler. Kompozit malzemeler ayrıca kullanılan takviye malzemesine bağlı olarak sınıflandırılabilir: Fiber takviyeli kompozitler (sürekli ve süreksiz), partikül takviyeli kompozitler (yapraksı, kesilmiş fiberler, şekilli partiküller, vb.) (Schwartz, 1984). Fakat kompozitleri sınıflandırmada en iyi sınıflandırma yöntemi örneğin partikül takviyeli metal matriksli kompozitler (PTMMK) şeklindeki, hem matriks hem de takviye elemanını belirten sınıflandırmadır. Metal matriksli kompozit (MMK), metal ana malzeme ve takviye elemanını tek bir malzemeye dönüştüren sistemdir. Bu tip bir kompozit genellikle metalik olmayan (seramik) bir takviye elemanı içerir. Bunun yanında refrakter malzemeler veya intermetalikler seramikler yerine takviye elemanı olarak kullanılabilirler (Clyne, 2001).

Metallere seramik takviyesinin yüksek sertlik ve aşınma direnci kazandırma gibi pek çok etkisi vardır (Miserez ve diğerleri, 2004). Bunun yanında MMK süneklik ve tokluk gibi metalik özellikleri, seramiklerin karakteristik özellikleri olan yüksek dayanım ile birleştirirler (Tjong, 2000). MMK'lerin mekanik özellikleri takviye elemanının ve bunun yanında matriks malzemesinin hacimsel oranına ve tipine bağlıdır (Stjernstoft, 2004). Diğer yandan sürekli fiber takviyeleri takviye fiber yönünde daha etkili bir sertlik gösterirken, partikül takviyeler maliyet açısından avantajlıdır ve kompozit malzemeye izotropik özellik kazandırır. Ek olarak ikinci tip kompozitler monolitik malzemeler için kullanılan teknolojilere benzer yöntemlerle üretilebilirler (Chawla ve diğerleri, 2001). Bunun yanında, süreksiz takviye elemanları içeren MMK'ler değişik şekillerde üretilebilmelerinden dolayı bu özellikleri ile çekici malzemelerdir (Chung, 2001).

Parçacık takviyeli MMK malzemelerin üretimleri; ingot metalürjisi (İM), toz atomizasyonu ve toz harmanlama yöntemleriyle yapılabilmektedir (Godfrey, 2000).

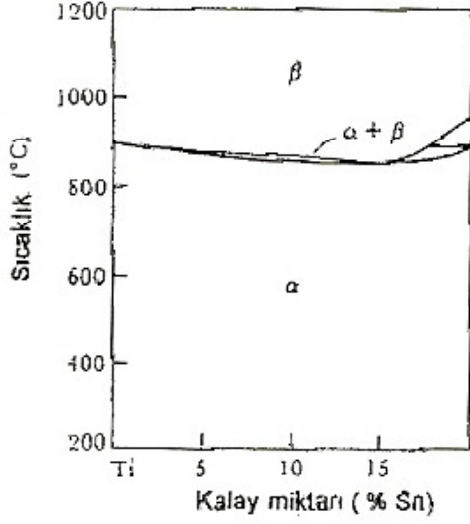
Bir kompozit malzemenin iyi performans göstermesi için ilk olarak takviye fazının homojen olarak dağılması gerekir. Takviye parçacıklarının aglomerasyonu kompozit malzemenin mekanik özelliklerini olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle parçacık boyutu, yoğunluğu ve geometrisi malzeme üretiminde önemlidir (Fogagnolo, 2002). Parçacık takviyeli titanyum matrisli kompozit (TMK) malzemeler sertlikteki artış ve aşınma direnci ile büyük çapta yapısal uygulama avantajları sunmaktadır (Godfrey ve diğerleri, 2000). Toz metalürjisi (TM) küçük ve ince parçaların, farklı yöntemlerle üretilmiş metal tozlarının presleme sonrasında sinterleme ile üretimidir. Bu yöntemde, dökümlerde olduğu gibi segregasyonlar söz konusu değildir ve takviye elemanının matris içerisinde homojen dağılımı sağlanır (Fogagnolo ve diğerleri, 2002). Takviye malzemesi seçimi uygulama ve üretim yöntemlerine ve malzemelerin fiyatına bağlı olarak değişmektedir (Sawtell ve diğerleri, 1996). Kullanılabilecek birçok takviye malzemesi olarak SiC, Al₂O₃, mika, kil, ZrO₂ ve grafit sayılabilmektedir (Kainer, 2006). Titanyum karbür kovalent bağ yapısı sayesinde gerçekten sert ve dayanıklı bir malzemedir. Bu nedenle de tribolojik uygulamalar için tasarlanan kompozitler için tercih edilirler. Ancak son yıllarda hafiflik ve yüksek sıcaklık uygulamaları gibi amaçlarla metallerin takviyesinde kullanılmaktadır (Özgün, 2008).

2. TİTANYUM VE TİTANYUM ALAŞIMLARI

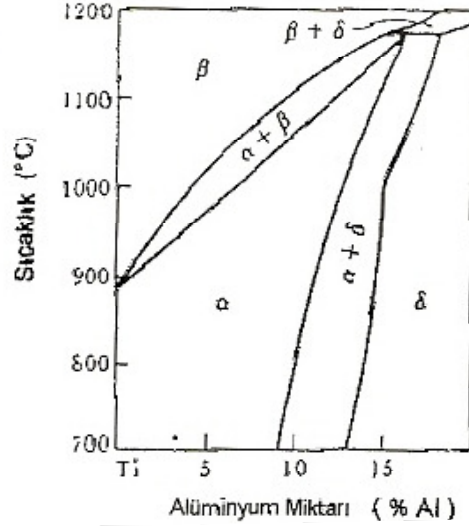
2.1. Titanyumun Genel Özellikleri

Titanyum oda sıcaklığında sıkı paket hekzagonal (SPH) kristal yapısındaki α fazı olmasına rağmen yaklaşık 885°C' de hacim merkezli kübik (HMK) yapıdaki β fazına dönüşen allotropik bir metaldir. Saf titanyum için bu sıcaklık " β dönüşüm sıcaklığı" olarak adlandırılır. Oksijen, azot ve karbon gibi α fazını kararlı hale getiren ara yer elementlerin oldukça güçlü etkisiyle yükselen bu sıcaklık; yer alan alaşım elementlerinin etkisiyle ya düşmekte ya da yükselmektedir (ASM Metals Handbook).

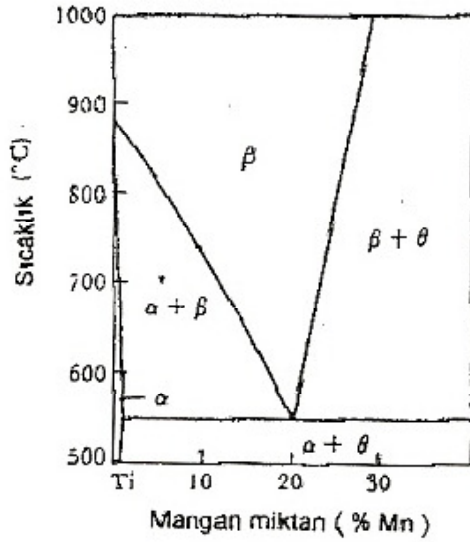
Alüminyum, galyum, germanyum, karbon, oksijen ve azot gibi alaşım elementleri titanyum kristal yapısında α fazını daha kararlı hale getirmekte ve $\alpha - \beta$ dönüşüm sıcaklığını yükseltmektedir, iki grup element ise β fazını kararlı hale getirerek dönüşüm sıcaklığını düşürmektedir. Bunlardan ilki izomorf gruptur. Bu grup β fazı içinde tamamen çözünebilen tantal, molibden, vanadyum ve kolombiyum elementlerinden oluşmaktadır. İkinci grup ise titanyumla ötektoid alaşımlar yapan elementlerdir. Ötektoid sıcaklığı saf titanyumun dönüşüm sıcaklığının 333°C kadar altındadır. Manganez, demir, krom, kobalt, nikel, bakır ve silisyum gibi elementler ötektoid grubun içerisinde yer almaktadır (Degarmo ve diğerleri, 1984). Bu elementler α fazında düşük çözünürlüğe sahiptirler ve dönüşüm sıcaklığını düşürmektedirler. Gerek β fazını kararlı hale getirmek için, gerekse yüksek sıcaklıktaki kullanımlarda görülen metaller arası bileşiklerin oluşumunu azaltmak ya da önlemek için, bu β -izomorf grup elementleri alaşım içine katılmalıdır. Şekil 2.1'de β -izomorf grup elementlerinden molibdenin, ötektoid gruptan manganezin ve alfa fazını kararlaştıran kalay ile alüminyumun, titanyum ile oluşturdukları ikili faz diyagramları görülmektedir (ASM Metals Handbook).



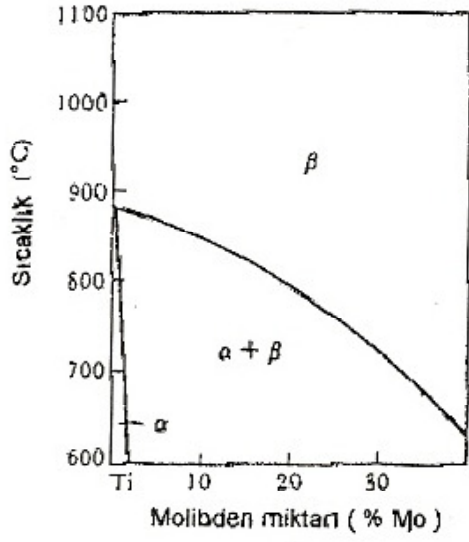
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 2.1 : a) Titanyum-Kalay b) Titanyum-Manganez c) Titanyum-Manganez d) Titanyum Molibden İkili Faz Diyagramları (Askeland, 1994)

2.1.1. Saf titanyumun genel özellikleri

Ticari saflıktaki titanyum, yüksek mukavemet gerektirmeyen fakat şekillendirilebilme ve korozyon direnci gereken uygulamalarda 1950’li yıllardan beri kullanılmaktadır. Uçak ve uzay sanayisinde çelikten hafif alüminyumdan daha yüksek ısı direnci özelliklerine sahip bir metal kullanıma ihtiyaç duyulmasından dolayı üretimi yıllar geçtikçe artmaktadır. Bununla beraber, yüksek korozyon direnci ve iyi kaynaklanabilmeye ihtiyaç duyulduğunda ticari saflıktaki titanyum çok yararlı bir metaldir.

Ticari saflıktaki titanyum birkaç farklı kalitede bulunmaktadır. Bu kaliteler içerdiği karbon, hidrojen, demir, azot ve oksijen miktarına göre sınıflandırılabilir. Ticari saflıktaki titanyum genel olarak 1000 ppm oksijen ile demir, azot ve karbon empürileri içermektedir. Çünkü az miktardaki safsızlıklar bile mekanik özellikleri son derece önemli bir şekilde etkilemektedirler. Tablo 2.1’de ticari saflıktaki titanyumun mekanik özellikleri verilmiştir (Boyer ve diğerleri, 1994).

CP-Ti genellikle yüksek mukavemet gerektirmeyen ancak korozyon direncinin ön planda olduğu uygulamalarda tercih edilir. Akma mukavemeti Tablo 2.1’den de anlaşıldığı gibi 170 MPa ile 480 MPa arasında değişmektedir. İçindeki oksijen ve demir en önemli katkı elementleri olup, oksijen ve demir içeriği arttıkça CP-Ti’ nin çekme ve akma mukavemetleri de artmaktadır (ASM Metal Handbook).

Çizelge 2.1 : Saf Titanyumun Mekanik Özellikleri (ASM Metals Handbook)

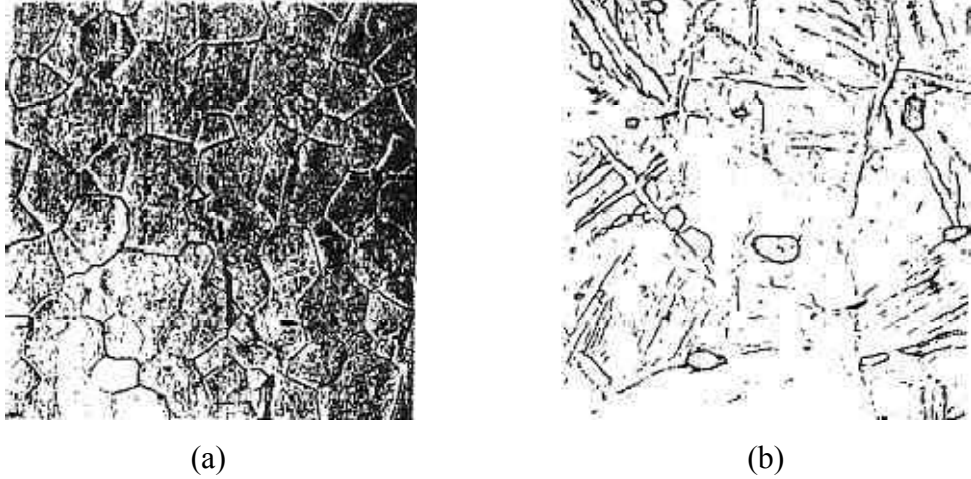
ASTM Standardı	Akma Muk. (MPa)	Çekme Muk. (MPa)	Dönüşüm Sıcaklıkları		Katkı Elementleri (mak % ağırlıkça)					
			Alfa	Beta	N	C	H	Fe	O	Pd
Sınıf 1	170	240	888	880	0,03	0,1	0,015	0,2	0,18	0
Sınıf 2	280	340	913	890	0,03	0,1	0,015	0,3	0,25	0
Sınıf 3	380	450	920	900	0,05	0,1	0,015	0,3	0,35	0
Sınıf 4	480	550	950	905	0,05	0,1	0,015	0,5	0,4	0
Sınıf 7	280	340	913	890	0,05	0,1	0,015	0,5	0,25	0,2

Grade 2 titanyum, 280 MPa akma mukavemetine, iyi derecede bir sünekliğe ve şekillenebilme özelliğine sahiptir. Bu akma mukavemeti değeri tavlanmış ostenitik paslanmaz çeliğin değerleriyle kıyaslanabilecek düzeydedir. Yüksek şekillenebilme ve az sayıda arayer atomu içerdiğinden gelişmiş korozyon direncine sahiptir. Ayrıca iyi darbe özelliklerine sahip olup, deniz suyu ve atmosferik korozyona ve erozyona karşı mükemmel direnç göstermektedir. Grade 2 sürekli hizmet altında 425 °C, aralıklı hizmet altında ise 540 °C’ye kadar kullanılabilir (Boyer ve diğerleri, 1994; ASM Metals Handbook).

Titanyum Grade 2’nin genel olarak kullanıldığı yerler kimyasal, denizcilik ve benzeri uygulamalardır. Uçak sanayisinde ise egzoz borularında, gaz türbinlerinde ve sıcak hava kanallarında kullanılmaktadır (Boyer ve diğerleri, 1994).

Oda sıcaklığındaki alaşımsız titanyumun % 100 oranında alfa (α) içermektedir. Katkı elementleri ve özellikle de demir miktarı arttıkça, tane sınırlarında küçük fakat artan oranlarda fosfor elementine rastlanmaktadır. CP titanyumun tavlanmış durumdaki

mikroyapısı, eşeksenli veya iğnesel yapıdadır. İğnesel α fazının oluşumu, β fazından α fazına dönüşüm sırasında uygulanan soğuma hızına bağlı olarak değişmektedir. İğnesel α plakaların genişliği soğutma hızı arttıkça azalmaktadır. Mikroyapıdaki eşeksenli α fazı ise yeniden kristalleşme tavlaması sonucu ortaya çıkmaktadır. Mikroyapıda iğnesel α fazının görülmesi, malzemenin β dönüşüm sıcaklığı üzerine dek ısıtıldığını da göstermektedir. Şekil 2.2’ de CP titanyumda gözlenen iğnesel ve eşeksenli mikro yapılar verilmektedir (ASM Metals Handbook).

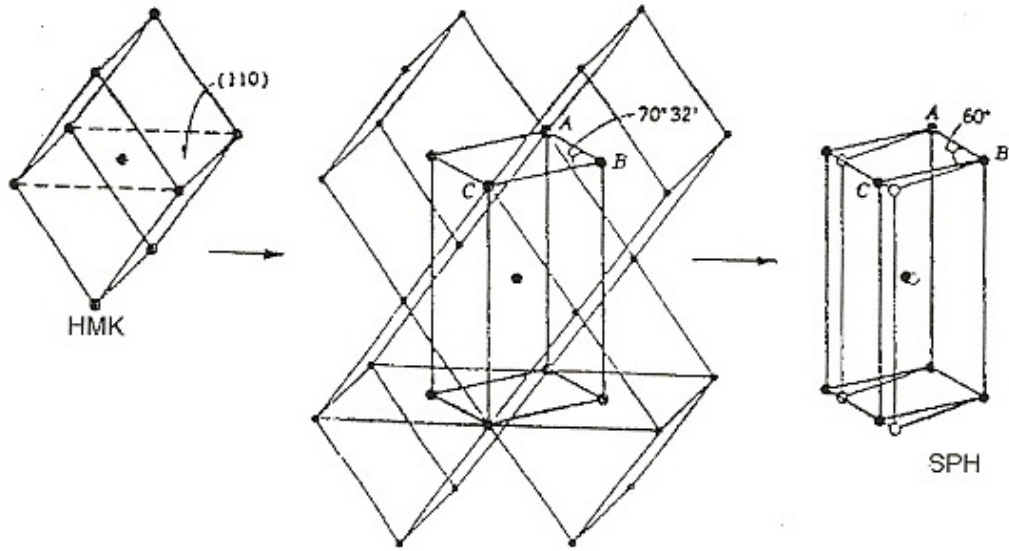


Şekil 2.2 : CP Titanyumda Gözlenen a) Eşeksenli α Taneleri b) İğnesel α Taneleri (ASM Metals Handbook)

Şekil 2.2’ den de anlaşılacağı gibi farklı mikroyapıdaki alaşımlar farklı mekanik özellikler göstermektedir. Eşeksenli tane yapısına sahip alaşımların sünekliği ve mukavemeti yüksek olup, plastik şekil değiştirmeye ve gerilmeli korozyon çatlamasına karşı yüksek mukavemet göstermektedir. İğnesel tane yapısına sahip alaşımların ise sürünme direnci kırılma tokluğu çok yüksektir (Tanrıöver ve diğerleri, 1997).

β fazındaki alaşım hızlı soğutma uygulanarak oda sıcaklığına indirilirse β fazının α fazına dönüşümü engellenebilmekte ve oda sıcaklığında mikroyapıda β fazı da bulunabilmektedir. Ancak CP-Ti soğutma hızı ne olursa olsun α fazının oluşumunu engellemek mümkün değildir.

Bu değişim esnasında kimyasal bileşim değişmemekte fakat HMK β fazının SPH α fazına dönüşümü meydana gelmektedir. Şekil 2.3’te bu dönüşüm şematik olarak verilmektedir (Brooks, 1986).



Şekil 2.3 : HfK β Fazının SPH α Fazına Dönüşümü (Brooks, 1986)

2.1.2. Ti6Al4V alaşımının genel özellikleri (Grade 23-ELI)

Günümüz de bu alaşım en çok kullanılan titanyum alaşımı olup yıllık tonajın %50'sini kaplamaktadır. Hiçbir titanyum alaşımı bu baskın durumu zorlayamamaktadır. Uçak ve uzay sanayisinde bu alaşımın yıllık miktarının %80'ini kullanmaktadır. Bunu %3 ile medikal protez uygulamaları izlemektedir. Otomotiv, denizcilik ve kimya endüstrileri de bu orandan pay almaktadırlar (Boyer ve diğerleri, 1994).

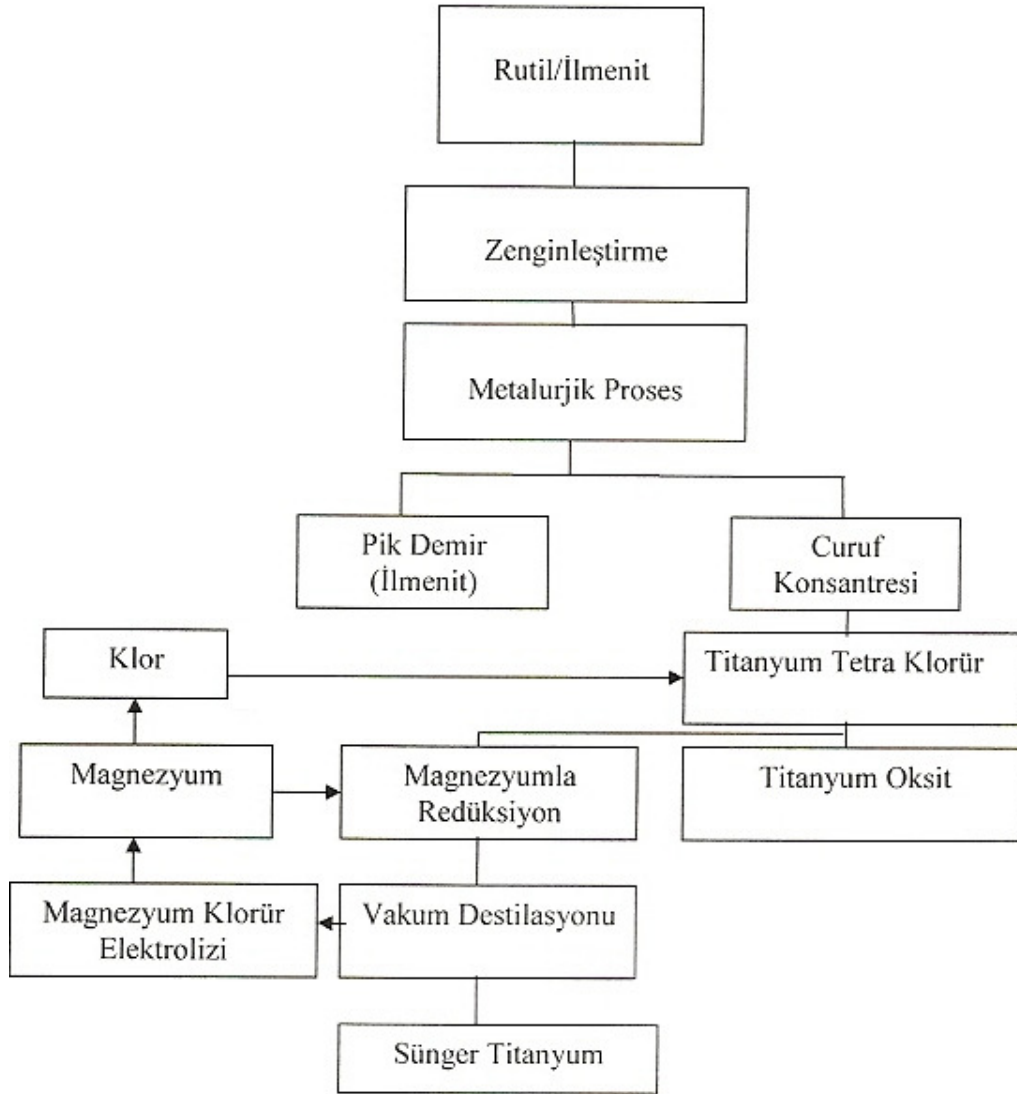
2.1.3. Ti6Al7Nb alaşımının genel özellikleri

Cerrahi implantlar için mükemmel biyouyumlulukta bu titanyum alaşımı ayrıca yüksek mukavemet değerlerine de sahiptir. Özellikle kalça protezleri için uyuk bileşeni olarak geliştirilmiş bir alaşımdır. Ti6Al4V alaşımı ile aynı mekaniksel özelliklere sahiptir (Boyer ve diğerleri, 1994).

2.2. Saf Titanyum Üretimi

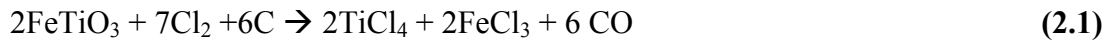
Günümüzde metalik titanyumun ticari olarak üretilmesinde kullanılan metot Kroll prosesidir. Kroll prosesi ile titanyum süngeri elde edilmektedir. Bu süreçte cevher zenginleştirme işlemleri ile hazırlanan rutil ve/veya ilmenit mineralleri kullanılmaktadır. İlmenit cevherinin kullanıldığı üretimlerde cevher hazırlamada açığa çıkan demir pik demir olarak alınırken, TiO_2 cürufu Kroll prosesinde

kullanılmaktadır. Şekil 2.4’de Kroll prosesi ile Sünger titanyum üretimi görülmektedir (Brutte ve diğerleri, 2001).

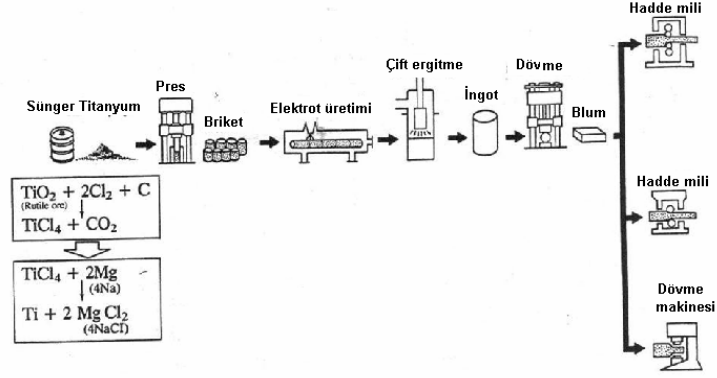


Şekil 2.4 : Kroll Prosesi ile Sünger Titanyum Üretimi (Brutte ve diğerleri, 2001)

Kroll prosesinde ilk olarak rutil/ilmenit mineralleri 900°C’ de klor gazıyla reaksiyona girerek $TiCl_4$ elde edilmektedir. Daha sonra $TiCl_4$ Kroll reaktöründe argon atmosferinde sıvı magnezyum reaksiyona girerek metalik titanyuma indirgenmektedir. Denklem 2.1 ve 2.2’de ilmenit için klorlama reaksiyonu ve saf titanyumun üretiminde gerçekleşen reaksiyon görülmektedir (Brutte ve diğerleri, 2001).



Elde edilen ürün gözenekli yapıya sahip olması dolayısıyla sünger titanyum olarak adlandırılmaktadır. Kroll prosesinde sıvı $MgCl_2$ periyodik olarak reaktörden alınmakta ve elektroliz yoluyla magnezyum geri dönüşümü sağlanmaktadır. Sünger titanyum üretiminden çeşitli ergitme işlemleri yapılan ergitme işlemleri ile titanyum Şekil 2.5’de verilen proses akış seması ile ingot üretilmektedir.



Şekil 2.5 : Sünger Titanyumdan Titanyum Yarı Mamül Üretimi (Url 1)

2.3. Titanyum Alaşımlarının Yapılarına Göre Sınıflandırılması

Titanyum alaşımları, α , $\alpha + \beta$ alaşımları ve β alaşımları olmak üzere başlıca 3 grupta incelenmektedir. α alaşımları yapılarında yalnızca alfa fazını, β alaşımları mikroyapısında büyük ölçüde β fazını bulunmakta, $\alpha + \beta$ alaşımları ise oda sıcaklığında her iki fazı da bünyesinde barındırmaktadır. Eğer alaşım yapısında β fazından alfa fazı içeriyorsa bu tür alaşımlara “near alpha” alaşımları denilmektedir (Brutte ve diğerleri, 2001).

2.3.1. α alaşımları

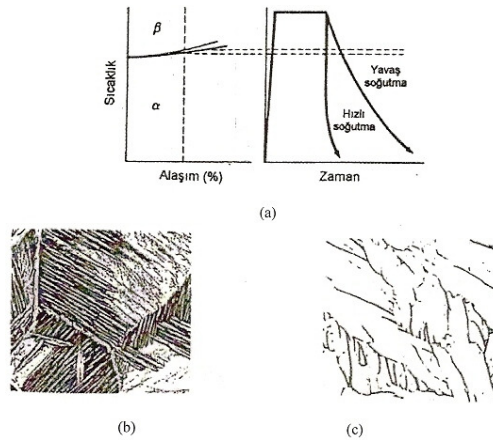
α alaşımları yapısında alüminyum, kalay veya zirkonyum bulundurduğunda daha çok yüksek sıcaklık uygulamalarında ya da çok düşük sıcaklık ortamlarında tercih edilmektedir. α fazınca zengin olan alaşımlar, yapısında β fazının bulunduran alaşımlara göre yüksek sıcaklıklarda sürünmeye karşı genellikle daha dayanıklıdır. α alaşımları yapısında eser miktarda ara yer atomu içerdiğinde, çok düşük sıcaklıklarda dahi sünekliğini ve tokluğunu sürdürmektedir (ASM Metals Handbook).

α alaşımları, kararlı olduklarından $\alpha + \beta$ alaşımları ve β alaşımlarının aksine ısıtım işlemi ile sertleştirilememektedir. Ancak soğuk deformasyondan kaynaklanan kalıntı gerilmeleri gidermek için yeniden kristalleşme tavlama veya sadece tavlama işlemi uygulanmaktadır. Dövme sırasında yüzey ve/veya göbek çatlakları oluşmaktadır.

Bunun nedeni alfa alaşımlarının dövülebilme kabiliyetinin çok düşük olmasıdır. Ayrıca alfa alaşımlarında dövme sıcaklığı aralığı $\alpha + \beta$ alaşımları veya β alaşımlarından daha dardır. Bu alaşımlara dövme işleminde deformasyon miktarının daha küçük seçilmesi ve malzemenin sık sık tavlama işlemine tabi tutulması gerekmektedir (ASM Metals Handbook).

Soğutma hızı α alaşımlarının mikroyapısında tavlama sonrası farklılık oluşmasına neden olmaktadır. Şekil 2.6'dan da açıkça görüldüğü gibi malzemeyi hızlı soğutmak iğnemi α 'nın, fırında soğutmak ise plakalı α 'nın, hakim olduğu bir mikroyapıya neden olmaktadır (Askeland, 1994).

Ti5Al2.5Sn tek fazlı yapıya sahip α alaşımına örnek olarak gösterilebilmektedir. Bu alaşım, oda sıcaklığında ve 300°C'ye kadar olan sıcaklıklarda yüksek çekme ve sürünme dayanımı gösterirken aynı zamanda yüksek şekillendirilebilme kabiliyetine de sahiptir (Ezugwu ve diğerleri, 1997).



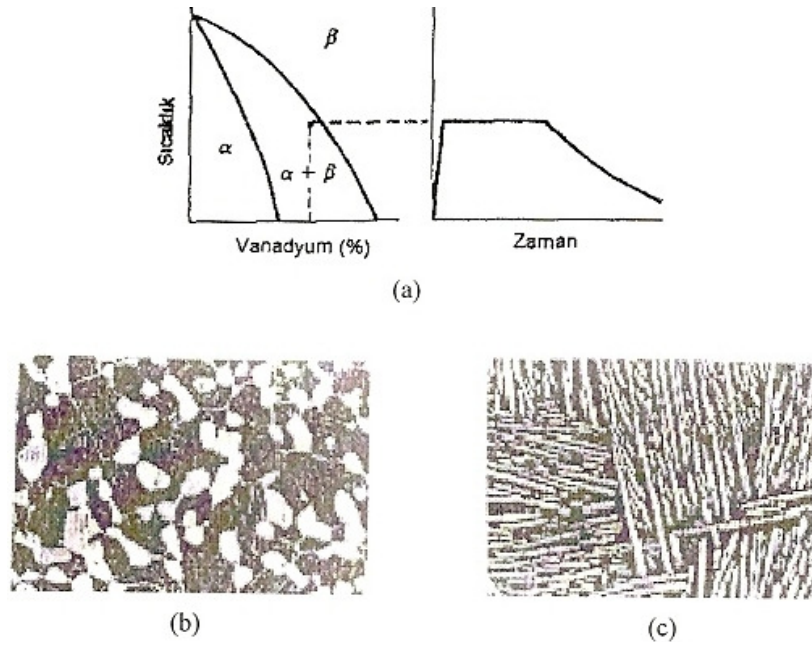
Şekil 2.6 : α Titanyum Alaşımının a) Tavlama, b) Hızlı Soğutma Sonrası Mikroyapısı, c) Yavaş Soğutma Sonrası Plakalı Mikroyapısı (ASM Metals Handbook; Askeland, 1994)

Ti8Al5Zr0.5Mo0.25Si gibi alaşımlar ise süper alfa veya α' ya yakın alaşımlar olarak adlandırılmaktadır. Bu tür alaşımlarda α fazı çok kararlı bir yapıya sahip olmakla birlikte β fazı yapıda sınırlı ölçüde kararlıdır. Bu alaşımlar 400–520 °C'ye kadar olan sıcaklıklarda yüksek mukavemet gerektiren uygulamalarda kullanılabilir (Url 2).

2.3.2. $\alpha + \beta$ alaşımları

Bu tür alaşımlarda α ve β fazlarının kararlılığını artıran bir ya da daha çok kararlı hale getirici alaşım elementleri yapıda mevcuttur. Bu elementlerin ilavesi ile yapılan

alaşımlandırmada α ve β ile oda sıcaklığında kararlı hale getirilmektedir. Mikroyapı α ve β fazlarının bileşimi seklindedir. Bu alaşımlar yüksek süneklik, homojenlik ve yüksek mukavemetlerini tavlama sonrasında dahi koruyabilmektedir. Yapılan işlemlerle Şekil 2.7 (a)'da verildiği gibi küçük miktarlarda α taneleri oluşturmak ve β fazında tane büyümesini önlemek için, β dönüşüm sıcaklığının hemen altına çıkılmaktadır. Bu noktadan yavaş soğuma uygulandığında mikroyapıda Şekil 2.7 (b)'de görülen eşeksenli taneler; hızlı soğutma ile Şekil 2.7 (c)'de görülen iğnemsî taneler oluşmaktadır (Askeland, 1994).



Şekil 2.7 : $\alpha + \beta$ Titanyum Alaşımının a) Tavlınması, b) Yavaş Soğutma Sonucu Oluşan Eşeksenli Mikroyapı c) Hızlı Soğutma Sonucu Oluşan İğnemsî Mikroyapı (ASM Metals Handbook; Askeland, 1994)

En çok kullanılan $\alpha + \beta$ alaşımlarından Ti6Al4V ile Ti4Al2Sn4Mo0.5Si alaşımlarıdır. Sadece Ti6Al4V alaşımı toplam titanyum üretiminin % 50 'inden fazlasını oluşturmaktadır. Bu alaşımlarda ısıtım işlem uygulaması ile yüksek mukavemet değerleri elde edilmektedir. Bu nedenle $\alpha + \beta$ alaşımları 350 – 400°C arasındaki sıcaklıklarda ve özellikle yüksek mukavemet gerektiren uygulamalarda kullanılabilmektedir (Askeland, 1994).

Mukavemet artışı için, alaşım ilk olarak yarı kararlı doymuş hale getirilmek üzere çözeltiye alma sıcaklığından hızla soğutulmakta ve daha sonra yaklaşık 500 °C'de yaslandırılmaktadır. Bu sırada mikroyapıdaki aşırı doymuş α ve β fazları çözünerek yapıya homojen bir şekilde dağılmakta ve sertlik artmaktadır (Askeland, 1994).

2.3.3. β alaşımları

β alaşımlarında bileşimlerinde önemli miktarda β fazını kararlı hale getirici alaşım elementleri bulunmaktadır. β alaşımları yüksek sertleştirilebilme kabiliyetine, dövülebilirliğe, soğuk şekillendirilebilme kabiliyetine ve de yüksek yoğunluğa sahip olduğundan diğer titanyum alaşımlarından bu açıdan farklılık göstermektedir. Bu alaşımlara örnek olarak Ti10V2Fe3Al, Ti15V3Cr3Al3Sn, Ti3Al8V6Cr4Mo4Zr verilebilmektedir (Boyer ve diğerleri, 1994; Askeland, 1994).

β alaşımları kararsız alaşımlardır. Bu alaşımları sertleştirmek için α fazının β matrisi içinde çökeltirme sertleştirilmesi ile çökeltmesi gerekmektedir. Ayrıca yapısında molibden bulunması yüksek kırılma tokluğuna ve korozyona karşı direncini artırmaktadır.

β alaşımlarının islenebilirlik kabiliyeti $\alpha + \beta$ alaşımlarına göre yüksek olmakla birlikte ısıtılma işlem prosesinde uygulanması mümkündür (Tanrıöver ve diğerleri, 1997).

2.4. Titanyum ve Alaşımlarının Kullanım Alanları

Günümüzde titanyum ve alaşımlarının, medikal ve dişçilik uygulamalarında ciddi bir artış görülmektedir. Geleneksel titanyum alaşımlarının kullanım alanı uzay, uçak ve deniz sanayi alanlarında yoğunlaşmıştır. Titanyum ve alaşımları yüksek mukavemeti, yüksek elastisite modülü, düşük özgül ağırlığı, yüksek termal dayanıklılığı ve yüksek korozyona direnci nedeni ile yukarıda da bahsedildiği gibi pek çok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır (Url 2).

Titanyumun implant olarak 25 yıldan beri kullanılmaktadır. Kemik içinde kullanılan implantlar çubuk ve bıçak biçiminde olabilmekle birlikte saf veya alaşımlı titanyum alaşımlarından üretilmektedir. Titanyum alaşımlarında implant yüzeyinde kullanım esnasında inert bir oksit tabakası meydana gelmektedir. Bu tabaka insan vücudundaki fizyolojik sıvının, proteinin, sert ve yumuşak dokunun metal yüzeyini çok iyi bir biçimde yapışmasının sağlamaktadır. Canlı dokunun ve implantın statik ve fonksiyonel olarak birleşmesi osseointegrasyon olarak adlandırılmaktadır (Url 2).

Titanyumun biyomalzeme olarak kullanılmasının diğer bir nedeni biyouyumlu bir implant malzeme olmasıdır. Amerikan Dişhekimleri Birliği (ADA)'nin bilimsel işler konseyi, 1996 yılında kemik içi implantların kısmi ve total dişsizliklerdeki tedavi seçeneğine karşı tutumunu güncelleştirmiş ve yaptıkları

Çalışmada kemik içi implantlarda saf titanyum veya titanyum alaşımlarında yapılan malzemelerde olmak üzere kullanımının yalnız dikkatlice seçilmiş hastaların tedavisinde, ilgili fayda ve riskler tam olarak hastayla tartışıldıktan sonra uygulanabileceği bildirilmiştir. Ayrıca kemik içi implant tedavisi uygulanması gerektiğinde, titanyum ve alaşımları, biyouyumluluk ve klinik başarılarından dolayı tavsiye edilmiştir (Url 2).

Günümüzde titanyum ve alaşımları protez eklem, kurn köprü ve parsiyel protez, cerrahi splint, damar stentler ve bağlayıcıları, dental implant, mutfak eşyaları, son yıllarda çıkan titanyum kaplı meme protezleri ve yüzük yapımı gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Gökdemir, 2005).

3. KOMPOZİT MALZEMELER

Kompozit malzemeler açıkça birbirinden farklı malzemelerin bir kombinasyon yapılarak karıştırılması ile her bir malzemenin en iyi özelliklerinin bir araya geldiği yeni malzemelerdir (Meier, 1994). Kompozit malzeme bileşeni olarak iki kategori vardır: matriks ve takviye (Schwartz, 1984).

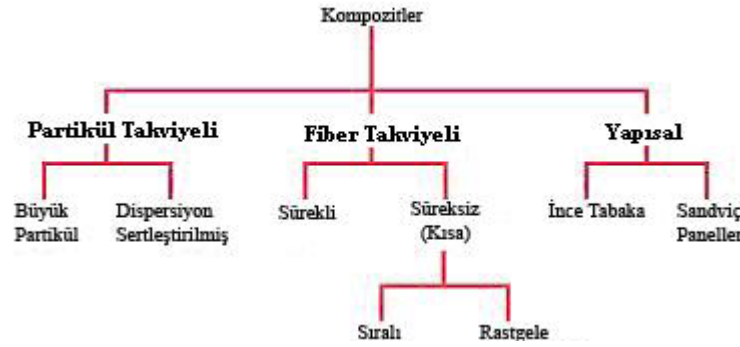
Matriks, kompozit malzemelerde çeşitli önemli fonksiyonlar sağlar. Örneğin matriks malzemesi takviye malzemelerini çevreler ve izafi pozisyonlarında kalmaları için onları destekler. Yükün takviyelere iletilmesini sağlar. Sünek matrikslerde kompozite oldukça büyük tokluk değerleri kazandırır ve çatlakların ilerlemesini engeller (Baron, 1998).

Takviye malzemeleri ise özel mekanik ve fiziksel özelliklerini, matriks özelliklerini geliştirmek amacıyla ortaya çıkartırlar. Bu sinerji, yalnız başına iken bulunmayan malzeme özellikleri üretir. Bulunabilecek matriks ve takviye malzemesinin çeşitliliği nedeniyle ortaya çıkartılabilecek tasarımlar inanılmazdır (Mazumdar, 2001).

Kompozit malzeme üretimi ile sağlanan bazı özellikler genel olarak şöyle sıralanabilir: yüksek dayanım, yüksek rijitlik, yüksek yorulma dayanımı, mükemmel aşınma direnci, yüksek sıcaklık kapasitesi, iyi korozyon direnci, iyi termal ve ısı iletkenliği, düşük ağırlık, çekicilik ve estetik görünüm, vb.. Bütün bu özellikler aynı zamanda oluşmaz ve herhangi bir uygulama için böyle bir gereksinime ihtiyaç da yoktur. Belirtilen bu özellikler için gerekli şartlar, uygun matriks ve takviye eleman çifti, üretim tekniği, optimizasyonu, bileşenlerin mukavemet özellikleri ve diğer faktörler göz önüne alınarak üretim yapılırsa istenilen özelliği elde etmek mümkündür (Şahin, 2000).

Kompozit malzemelerin dezavantajları ise; yüksek hammadde ve işleme maliyeti, değişken özelliklerde olası zayıflıklar, düşük tokluk, geri dönüşümünün olmaması, birleştirmede görülen zorluklar, analiz ve yapımındaki zorluklardır (Büyükuncu, 2000).

Üç çeşit kompozit malzeme grubu bulunmaktadır. Bunlar takviye elemanlarına göre Şekil 3.1’ de görüldüğü gibi gruplanabilirler:



Şekil 3.1 : Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması (Url 4).

Bu üç tip takviye elemanlı kompozit plastik, metal veya seramik matriks içinde olabilir (Şahin, 2000).

3.1. Metal Matriksli Kompozitler

Metal matriksli kompozitler (MMK) mevcut malzemelerin kullanıma uygun olmadığı yüksek sıcaklıklarda kullanılmak üzere tasarlanmış bir ileri malzeme grubudur (Hunda ve diğerleri, 1995). Geliştirilmiş mukavemeti, direngenlik ve yüksek sıcaklık performansı nedeniyle MMK, monolitik metallerden daha fazla maliyetli olmalarına rağmen uzay endüstrisi uygulamaları için önemli malzemelerdir. MMK’ nin levha şeklinde üretimi, döküm ve TM dahil olmak üzere birçok üretim yöntemi vardır (Subaşı, 2005).

Kompozitler değişik fazların ana özelliklerinin birleşimidir. Bu büyük gelişme sayesinde artık bir elementin istenilen avantajlı özelliklerini alıp başka elementin avantajlı özelliklerine ekleyebilmek, istenmeyen özellikleri dahil etmemek mümkündür (Subaşı, 2005). Matriks olarak sünek bir metal kullanılırken, takviye olarak intermetalik bileşikler, oksit, karbür ve nitrürler gibi özgül rijitliği ve dayanımı, aşınma direnci, sürünme dayanımı ve boyutsal kararlılığı gibi özellikleri geliştirecek malzemeler kullanılır (Akbulut, 2000). MMK metallerle karşılaştırıldığında birçok avantajı vardır; bu avantajlar yüksek mukavemet, elastik modül, elektriksel ve termal iletkenlik, korozyon direnci, yüksek sıcaklıklarda kararlılık, düşük yoğunluk, termal şok ve sıcaklık değişimlerine hassaslık olarak sıralanabilir (Subaşı, 2005; İbrahim ve diğerleri, 1991). Bu malzemelerin

dezavantajları olarak ise düşük yorulma direnci, karmaşık ve pahalı üretim teknikleri sayılabilir (Ahlatçı, 2003).

MMK'lerin uygulama alanları sadece uzay sanayi değildir, otomotiv sanayinde de oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Makine tasarımı, spor malzemeleri ve diğer malzemeler yanında rijitlik ve hafiflik ile birlikte iyi yorulma direnci sağlaması için otomobil buji kolları, alüminyum oksit takviyeli alüminyum kompozitlerden basınçlı döküm tekniği ile yapılmış ve yüksek sıcaklık özelliklerinin çok iyi olduğu tespit edildiğinden otomotiv sanayinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Uçak kanatları panelleri içinde fiber SiC takviyeli alüminyum kompozitten üretilmiş ve %20–40 arasında hafiflik sağlanmaktadır. MMK ile de uçak iskeletleri ve gövdenin yapımında benzer ağırlık azalmaları elde edilmektedir (Şahin, 2000).

İntermetalikler, iki veya daha fazla metalin birbiriyle karıştırılıp farklı kombinasyonlarda şekillendiği, belli oranda katı fazda oluşumu gerçekleştiren ve başlangıç elementlerinden farklı özellik gösteren bileşimlerdir (Url 5).

Saf elementler ve katı eriyiklerde, atomlar birbirine metalik bağ ile bağlanır. İntermetalik bileşenlerde kimyasal bağlanma, atomların birbirine doğada kovalent olacak şekilde gerçekleşir. Bu da kristal yapıda, kimyasal, mekanik ve elektriksel özelliklerde yenilikler sunar (Url 5).

İntermetalikler yeni ve önemli bir malzeme grubudur. Bunlar genellikle kristal yapıları başlangıç elementlerinden farklı olan metalik bileşimlerdir. Birbirine benzemeyen atomların (Ti-Al vs.) yaptığı bağlar, birbirine benzeyen atomların (Ti-Ti, Al-Al vs.) yaptığı bağlardan daha kuvvetlidir. Kristal yapılarında düzenli atom dizilişi gösterirler ve bu özelliklerine göre metaller ve seramikler arasında orta bir kısımda yer alırlar. Bu konuda derinlemesine araştırmalar, yüksek sıcaklık uygulamalarında, özellikle de jet motorlarında servis sıcaklığını artırmak ve ağırlığı düşürmek amacıyla en önemli alternatif olacağı görüşüyle 1970'li yılların ortalarında başlamıştır (Url 6).

En önemli intermetalik bileşenlerden biri yüksek sıcaklık dayanımı ve düşük yoğunluğu ile γ -Ti-Al bazlı alaşımlardır. Bu bileşenin kullanım yerine örnek NASA'nın uzay mekiğindeki motor parçaları ve türbin kanatlarıdır. Önemli özellikleri, düşük yoğunluk ($\sim 3,8\text{g/cm}^3$), yüksek dayanım, yüksek direngenlik ve yüksek sıcaklıkta iyi oksidasyon direnci ve sürünme dayanımı. Ancak düşük

süneklik ve kırılma direnci Ti-Al intermetaliklerinin kullanım alanını daraltmaktadır. γ -Ti-Al; γ and α 2-Ti3Al gibi iki fazın lamelar yapısından dolayı “mikrolaminat” olarak adlandırılırlar ve yapısal kompozitler gibi mekanik özellik gösterirler. Bunun yanı sıra seramik kompozitler ve intermetalikler aynı kategoriye alınabilirler (Url 6).

İntermetalikler, süperalaşımlar ve yüksek sıcaklık uygulamaları için paslanmaz çeliğin yerini alabilecek çok yüksek potansiyele sahiptirler. Bunun yanı sıra en önemli özellikleri artan sıcaklıkla kullanılabilirlikleri ve düşük bakım harcamalarıdır (Url 6).

3.2. Kompozitlerin Üretimi

3.2.1. Toz metalurjisi

Daha önce de bahsedildiği gibi, MMK üretimi için çoğunlukla kullanılan yöntem toz metalurjisidir (Subaşı, 2005; Askeland, 1984). Prosesin temelinde, karıştırılmış veya ön alaşımlanmış tozlar bir kalıba doldurulur, istenilen şekilde sıkıştırılır ve daha sonra preslenen bu tozlar atmosfer kontrollü bir fırında, toz partiküllerini bağlayan mekanik bağların metalurjik bağlara dönüşmesi için sinterlenir (Newkirk ve diğerleri, 2004).

TM prosesinin birçok avantajı vardır. İlk olarak ergime ve döküm olmadığından diğer birçok yöntemle göre ekonomiktir. İkincisi ise MMK’lerin üretimi, TM karıştırma tekniği ile döküm yönteminde olduğundan genellikle daha kolaydır (İbrahim ve diğerleri, 1991).

Ayrıca karmaşık şekilli ürünler son işleme prosesleri olmaksızın kolaylıkla üretilebilmektedir. Yatak ve filtre gibi gözenekli ürünler de TM yöntemiyle daha iyi özelliklere sahip olabilmektedir. Bunlara ek olarak, uzay uygulamaları gibi kritik uygulamalarda kullanılan, mükemmel özelliklere sahip tam yoğunluk ürünleri de TM yöntemiyle üretilmişlerdir (Büyükuncu, 2000).

3.2.1.1. Başlangıç malzemeleri

TM başlangıç malzemesinin, prosesin başarısında çok önemli bir rolü vardır. Tozların kimyası ve saflığının yanı sıra, partikül boyutu, boyut dağılımı, partiküllerin yüzey dokusu kadar partikül şekli gibi ilgili başka sorunlar da vardır (Newkirk,

2004). MMK göz önüne alındığında mekanik davranış, kimyasal kararlılık, termal uyumsuzluk ve maliyet son ürünün başarısında belirgin rol oynayan diğer faktörlerdir (Liu ve diğerleri, 1994).

3.2.1.2. Karıştırma

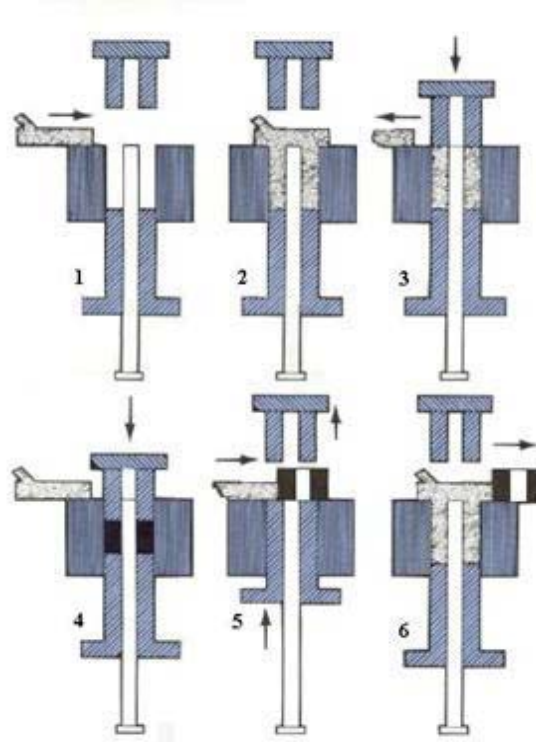
Uygun malzeme seçimi sağlandıktan sonraki aşama bu malzemeleri karıştırmaktır. Bu basamak çok önemlidir çünkü TM nihai ürünlerinin mekanik özelliklerini oldukça önemli biçimde etkiler, takviye partiküllerinin nihai dağılımını ve sıkıştırılmış toz numunelerin gözenekliliğini kontrol eder. Ancak segregasyon ve kümelenme gibi günümüzün karıştırma veya harmanlama metodlarıyla ilgili bazı problemler vardır. Bu problemlerin sebepleri metal tozu ve takviye partikülleri arasındaki farklı akış karakteristiklerini ve partiküllerin yüzey enerjilerini azaltmak amacıyla aglomere olma eğilimini içerir. Farklı boyuttaki partiküllerin segregasyon davranışları incelendiğinde büyük partiküllerin yukarı çıktıkları görülmektedir, çünkü küçük partiküller aralarındaki boşlukları doldururken büyük partiküller yukarı doğru hareket ederler. Ayrıca aynı boyuttaki partiküller ve metal tozları arasındaki farklı yoğunlukların etkisi de oldukça önemlidir. Ağır partiküller dibe çökerken hafif olanlar yukarı doğru hareket ederler. ‘Mekanik Alaşımlama (MA)’ tekniğiyle ise bu ayrılma ve kümelenme problemlerinin üstesinden gelmek mümkündür (Liu ve diğerleri, 1994).

3.2.1.3. Presleme

Karıştırma işleminden sonraki basamak, toz karışımının sıkıştırılmış numuneler oluşturmak üzere preslenmesidir (Liu ve diğerleri, 1994). Bu aşama, TM prosesinde en kritik basamaklardan birisidir çünkü tozun yoğunluğunu ve yoğunluğun tüm üründe homojen dağılımını düzenler. Nihai özellikler yoğunlukla değişir, homojen özellikler de homojen yoğunluk gerektirir (Newkirk ve diğerleri, 2004). Presleme prosesi aşağıda listelenen ana görevlere sahiptir:

- i. Tozları istenilen şekilde birleştirmek,
- ii. Sinterlemeden kaynaklanan boyutsal değişimleri de göz önüne alarak, mümkün olabildiğince istenilen nihai boyutları göstermek,
- iii. İstenilen gözeneklilik miktarını vermek (Upadhyaya, 2000).

Geleneksel sıkıştırma metodlarında basınç genellikle tek yönde uygulanarak düzensiz bir dağılım hatta yetersiz yoğunluklarla sonuçlanmıştır (Rodriguez ve diğerleri, 1997). Çoğunlukla, mekanik ve hidrolik presler ve rijit kalıplar kullanılmıştır (Newkirk ve diğerleri, 2004).



Şekil 3.2 : Geleneksel Tek Yönlü Presleme İşleminin Şematik Gösterimi (Url 7).

Sıkıştırılmış numunelerin kalitesini daha iyi kontrol edebilmek için soğuk, ılık ve sıcak olmak üzere izostatik presleme teknikleri geliştirilmiştir (Rodriguez ve diğerleri, 1997). Şekil 3.2’ te tek yönlü izostatik presleme işleminin basamakları şematik olarak görülmektedir.

3.2.1.4. Sinterleme

Sıkıştırılmış numuneler uygun şekilde hazırlandıktan sonra sinterlenirler. Sinterleme, termal enerji uygulanarak metal ve seramik tozlarından yoğunluk-kontrollü malzemeler ve bileşenler elde edilmesinde kullanılan bir prosestir (Kang, 2005). Bu proseste kılcal kuvvetlerin etkisindeki atomik difüzyon sayesinde, taneli malzemedeki partiküller arası gözenekler yok sayılırlar (Chen ve diğerleri, 2000).

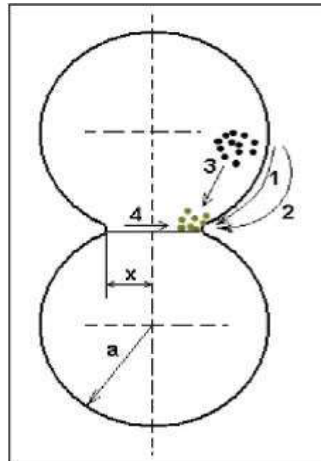
Temelde, sinterleme prosesi iki tipte incelenebilir;

1. Katı hal sinterlemesi
2. Sıvı faz sinterlemesi

Sıvı faz sinterlemesi, sinterleme sırasında sıkıştırılmış tozun içerisinde bir sıvı faz bulunmasıyla gerçekleşirken katı hal sinterlemesi, sinterleme sıcaklığında sıkıştırılmış tozun tamamen katı halde yoğunlaşmasıyla meydana gelir (Kang, 2005).

Katı hal sinterlemesi ana metalin ergime noktasının altındaki bir sıcaklığa sahip fırın içerisinde, korumalı atmosfer altında gerçekleştirilir. Proses yüzey alanında azalmaya, sıkıştırılmış malzemenin dayanımında artışa ve genellikle sıkıştırılmış numunede büzölmeye neden olur. Yüksek sıcaklıkta uzun süre sinterleme, gözenek sayısını azaltırken gözenek şekillerini de daha düzgün bir hale getirir. Aynı zamanda, tane büyümesi de beklenebilir (Upadhyaya, 2000).

Sinterleme prosesi esas olarak yüksek sıcaklıkla harekete geçirilmiş atomik hareketin sonucudur. Başlangıç gerinimleri, yüzey alanı ve preslenmiş numunenin eğriligi sinterlemeden sorumlu atomik hareketleri tetikler. Şekil 3.3' te farklı atomik hareket paternleri görölmektedir.



Şekil 3.3 : Boyun Bölgesinde Gerçekleşen Muhtemel Sinterleme Mekanizmaları: 1)Yüzey Difüzyonu, 2) Buharlaşma ve Yoğunlaşma, 3) Kütle Difüzyonu, 4) Tane Sınır Difüzyonu (Kurt, 2000).

Sinterleme kinetikleri genellikle preslenmiş yoğunluk, malzeme, partikül boyutu, sinterleme atmosferi ve sıcaklığı kapsayan muhtelif parametrelerle belirlenir. Başarılı yoğunlaştırma için doğru izotermal sinterleme sıcaklığının seçimi önemlidir. Yüksek sıcaklıklar hızlı yoğunlaşma sağlarken bununla birlikte kabalaşma hızının da artmasına neden olmaktadır. Bu artan kabalaşma hızı, büyük taneler arasında sıkıştırılmış gözeneklerle anormal tane büyümesine sebep olabilmektedir. Sonuç olarak yoğunlaşma daha hızlı ilerlemesine rağmen nihai yoğunluk sınırlanabilir (Upadhyaya, 2000).

Sinterlenebilirlik ve mikroyapıyı etkileyen değişkenler malzeme ve proses değişkenleri olmak üzere iki ana başlık altında sıralanabilirler. Ham malzemelere bağlı olan toz malzemenin şekli, boyutu, boyut dağılımı ve aglomerasyonu, malzemenin kimyasına bağlı kompozisyon, safsızlık, homojenlik, vb. özellikler ile sinterleme koşullarına bağlı olan proses değişkenleri olarak sıcaklık, süre, basınç, atmosfer, ısıtma ve soğutma hızı, vb. sayılabilmektedir (Kang, 2005). Tüm bu nedenler düşünüldüğünde, sinterleme farklı değişkenleri olan karışık bir prosestir ve bir sinterleme prosesi tasarlanırken tüm değişkenler göz önüne alınmalıdır.

3.3. Titanyum Matrisli Kompozit Malzemeler

Liu ve diğerleri elemental titanyum ve grafit tozlarından mekanik alaşımlama titanyum karbür üretmişlerdir. Titanyum karbür oluşurken ekzotermik bir reaksiyon gerçekleşmektedir (Liu ve diğerleri, 1994).

Zhu ve diğerleri toz metalurjisi tekniğiyle hacimce %15 titanyum karbür takviyeli Ti6Al4V matrisli kompozitin mukavemet ve sürünme direncinin Ti6Al4V dan daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir (Zhu ve diğerleri, 1998).

Kim ve diğerleri poroz titanyum içerisinden metan gazı geçirerek titanyum - titanyum karbür kompoziti üretmişlerdir. Reaksiyonun süresi arttıkça oluşan titanyum karbür miktarı artmaktadır. Sinterleme sıcaklığı arttıkça yoğunluk artmaktadır (Kim ve diğerleri, 1999).

El-Eskandarany yüksek enerjili mekanik alaşımlama yöntemiyle nanokristalin Ti₄₄C₅₆ tozu üretmiştir. 22 ks süre ile yapılan mekanik alaşımlama ile NaCl yapısında tek faz Ti₄₄C₅₆ üretilmiştir bu nanokristalin taneler 40 nm çapındadır (El-Eskandarany, 2000).

Licheri ve diğerleri kendiliğinden gerçekleşen yanma sentezi (self propogating combustion sentesis) yöntemi ile titanyum matrisli titanyum karbür takviyeli kompozit üretmişlerdir. kompozit üretiminde destekleyici olarak politetraflüroetilen eklenmesi durumunda başarılı olunmuştur. Bu yöntem ile titanyum karbür - titanyum kompozitinde titanyum metali % 0-25 oranında değişmiştir (Licheri ve diğerleri, 2003).

Silva ve diğerleri Ti6Al4V matrisi % 10 oranında titanyum karbür tozu ile harmanlayıp soğuk izostatik presleyip vakumda sinterlemişler ve daha sonra argon

atmosferin de sıcak izostatik pres uygulamışlardır. Kompozitin mikroyapısında tabakalı α ve intergranüler β fazları görülmüştür ve titanyum karbür belli bir düzen içerisinde dağılmamıştır. Kompozitin sertliği 40 ± 1 olarak ölçülmüştür. Bu kompozitin çekme ve kırılma tokluğu özelliklerini inceleyen araştırmacılar, kırılmanın sünek karakterde olduğunu belirlemişlerdir (Silva ve diğerleri, 2005).

Xu ve diğerleri ark ergitme tekniğiyle titanyum, bor oksit, bor karbür ve yitriyum arasındaki kimyasal reaksiyonları kullanarak titanyum matrisi titanyum borür, titanyum karbür ve yitriyum oksit ile takviye etmişlerdir. Titanyum borür, titanyum karbür ve yitriyum oksit matris içerisinde düzgün olarak dağılmışlardır. Mikroyapıda titanyum karbür partikülleri yarı eş eksenli ve çubuk şeklinde, titanyum borür partikülleri iğne şeklinde büyümüştür. Yitriyum oksit ise yitriyum miktarı % 0,6 yarı eş eksenli % 1,8 olduğunda ise dentritik formda büyümektedir (Xu ve diğerleri, 2005).

Ma ve diğerleri hacimce 1% titanyum karbür içeren titanyum alaşımlı matrise sahip kompozitin mikroyapısına dövme ve ısıt işlemin etkini incelemişlerdir. Bu araştırmacılara göre matristeki karbon katı çözeltisi β dönüş sıcaklığını arttırmaktadır. α fazı içerisindeki titanyum karbür partikülleri dislokasyon hareketlerini engellemektedir (Ma ve diğerleri, 2006).

Wang ve diğerleri değişik oranlarda titanyum karbür içeren Ti6Al4V alaşımını lazer yöntemiyle üretmişlerdir. Özellikle % 24 ten daha yüksek oranda titanyum karbür içeren kompozitlerde aşınma direncinde önemli bir artış elde etmişlerdir (Wang ve diğerleri, 2006).

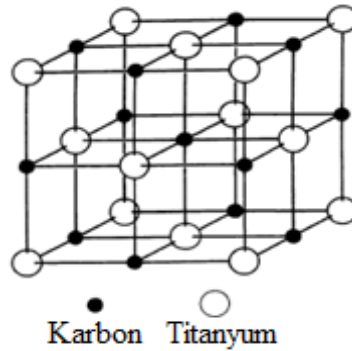
Ni ve diğerleri titanyum ve bor karbür tozlarını karıştırıp sıcak pres ile reaktif sinterleme yaparak titanyum matrisli titanyum borür ve titanyum karbür takviyeli kompozit üretmişlerdir. Titanyum karbür genel olarak $(101)_{TiB}$ ve $(101_)_{TiB}$ düzlemlerinde büyümüştür nadiren de $(100)_{TiB}$ düzleminde yer almaktadır (Ni ve diğerleri, 2007).

4. TİTANYUM KARBÜR

Titanyum karbür, TiC, ilk olarak Moissan tarafından elektrik ark fırınında gerçekleştirilmiştir. Isıtılmış tel üzerinden TiCl_4 gazı geçirilerek düşük miktarlarda üretilmiştir. 1887 gibi erken yıllarda TiC titanyumdan ayrı olduğu dökme demir taşıyıcı olarak kullanılmıştır. Shimer hidroklorik asit ilişkisi üzerine çalışması vardır. Moissan TiO_2 tozlarından elektrik ark fırını ile TiC üretimini gerçekleştirmiştir. Bu TiC çok düşük safiyettedir, fakat bu yöntem günümüzde kullanılan üretim yöntemlerinin temelini oluşturmaktadır. Yüksek kalitede üretim için saf karbon ve titanyum veya titanyum oksit kullanılmıştır (Habashi, 1997).

4.1. Titanyum Karbürün Temel Özellikleri

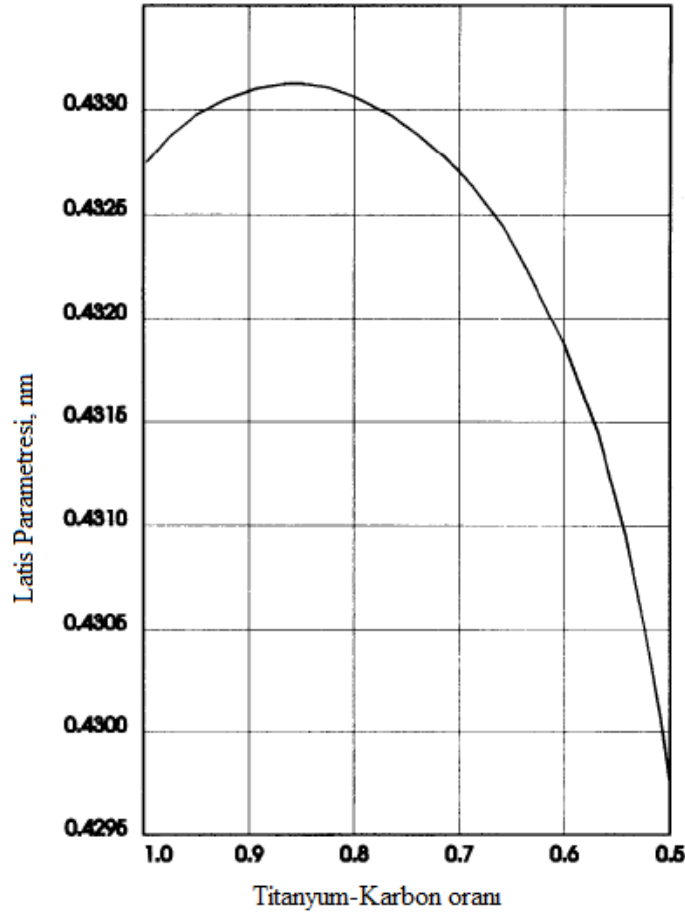
Titanyum karbür, IV. Grup elementi olan titanyuma ara yer atomu olarak karbon yerleşmesiyle oluşmaktadır. Diğer IV. Grup karbürlerinde olduğu gibi titanyum karbürde de düşük karbon/titanyum atomik yarıçap oranına sahiptir. Düşük sıcaklıkta HSP ve yüksek sıcaklıkta HMK olan titanyum yapı içerisine karbonlar girdiği zaman yapı YMK yapıya dönüşmektedir. Oluşan yapı NaCl yapısı adını almaktadır (Şekil 4.1) (Pierson, 1996).



Şekil 4.1 : Titanyum karbürün kristal yapısı

Saf titanyum metalinin metal-metal bağları arasındaki boşluk 0,2934 nm (koordinasyon sayısı = 12) iken atomlara arasına karbon atomları yerleştikten sonra % 4,46 artışla metal-metal arasındaki boşluk 0,3065 nm'ye çıkmaktadır (Pierson, 1996).

Karbon atomu boşluklarının konsantrasyonu yüksek olduğunda, metal latisi içerisinde uzun mesafeli düzende oldukları görülür. Bazı durumlarda bu düzenin etkisi yapı fiziksel özelliklerinde dikkate alınabilir, fakat oluşum mekanizması hala bilinmemektedir (Pierson, 1992; Neckel, 1983; Sundgren, 1986).



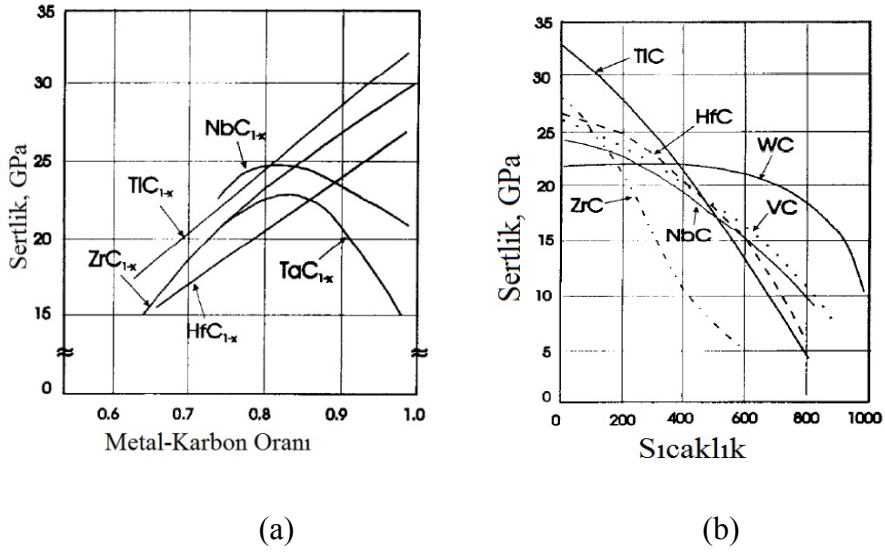
Şekil 4.2 : Titanyum Karbür kompozisyona göre latis parametresinin değişimi

Geçiş elementinin karbürü olan titanyum karbür, iyonik kovalent ve metalik bağlar içermektedir. Metalik bağ içermesinden dolayı yüksek termal iletkenliğe ve yüksek elektrik iletkenliğine sahiptir. Alaşımlardaki gibi sabit olmayan bileşime sahiptir. Kovalent bağ içermesi titanyum karbürün yüksek sertlik, yüksek bağ enerjisi ve yüksek ergime noktasına sahip olmasını sağlamaktadır. Yüksek elektron enerji seviyeside iyonik bağlara sahip olmasının sonucudur (Pierson, 1996).

Çizelge 4.1 : Titanyum Karbürün özellikleri (Pierson, 1996)

	TİTANYUM KARBÜR
Yapısı	YMK, B1, NaCl
Latis parametresi	0,4328 nm
Uzay grubu	Fm3m
Pearson sembolü	cF8
Kompozisyon	TiC _{0,43} -TiC _{0,99}
Molekül ağırlığı	59,91 g/mol
Renk	Gümüş gri
Sürtünme katsayısı %50 nem iş çeliği	0,25
Oksidasyon direnci	800°C de havada yavaş
Kimyasal direnci	HNO ₃ , HF ve halojenlerle tepkimeye girmektedir
Karbon titanyum atomik yarıçap oranı	0,526
Yoğunluk	4,91 g/cm ³
Ergime noktası	3067
Bağ enerjisi (eV)	14,66
Karbon ve titanyum arasındaki elektronegativite farkı	1,0
Karbon-titanyum bağ uzunluğu	0,2158 nm
Kovalent bağ yarıçapı toplamı	0,2227
Termal iletkenlik, 20°C	21,0 W/mK
Özgül ısı	33,8 J/mole.K
Termal genleşme	7,4 x 10 ⁻⁶ /°C
Elektrik direnci	68 µΩ.cm
Vickers sertliği	28-35 GPa
Young modülü	410-510
Kayma modülü	186
Poisson oranı	0,191

Titanyum karbürün sertliği Şekil 4.3'te görüldüğü gibi sıcaklığa bağlı olarak hızla düşmektedir. Diğer 4. Grup karbürlere göre titanyum karbür metal-karbon oranı arttıkça lineer olarak artmaktadır (Holleck, 1986; Campbell ve diğerleri, 1967; Sarin, 1981).



Şekil 4.3 : (a) Metal-Karbon oranı ve (b) Sıcaklığa göre sertlik değişimi (Pierson, 1996)

4.2. Titanyum Karbür Üretim Yöntemleri

4.2.1. Karbotermal Redüksiyon

Titanyum dioksidin karbon ile karbotermal redüksiyonu ile üretimi en çok kullanılan TiC üretim yöntemidir. Karbotermal redüksiyon yöntemi ile ucuz hammaddeler kullanılarak büyük miktarlarda toz üretimi yapılmaktadır. Üretim aşağıda belirtilen reaksiyon ile 1700 - 2100°C sıcaklık aralığında gerçekleştirilir (Froes, 1984).



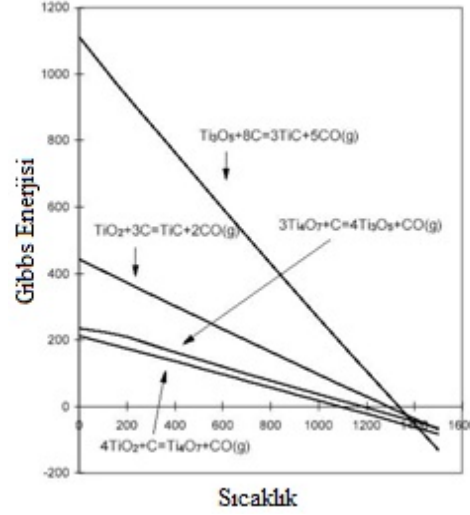
Bu reaksiyon için teorik termodinamik reaksiyon sıcaklığı 1289°C' dir. Ticari olarak bu proseste titanyum dioksit ile siyah karbon karıştırılarak kullanılır. Fakat fiziksel karıştırma işlemi ile reaktanlar arasındaki temas alanı sınırlı kalmaktadır. 10 – 24 saat arasında reaksiyon süresinin arttırılması reaksiyona girmemiş karbon ve TiO_2 içeren, geniş tane boyutu dağılımı olan ve partikül aglomerasyonu görülen tozlardan TiC üretiminde etkilidir (Goetzel, 1984).

Bu reaksiyon çoğu zaman titanyumun çeşitli oksitlerinin (Ti_4O_7 , Ti_3O_5 , Ti_2O_3 , TiO) oluşumu ile sonuçlanabilir. Bunun sebebi reaktanlar arası temasın yeterli gelmemesi ve reaksiyona giren karbon miktarının az olması olabilir. Bu durumlar söz konusu olduğunda aşağıdaki reaksiyonlar gerçekleşir (Weimer, 1997).





Bu reaksiyonlar Şekil 4.4'te gösterilen Gibbs serbest enerji diyagramına dayanarak oluşmaktadır (Weimer, 1997).



Şekil 4.4 : Gibbs serbest enerjisi diyagramı (Weimer, 1997)

Karbotermal redüksiyonla üretim yönteminin bazı dezavantajları vardır. Reaktanlar arası sınırlı temas alanı ve düzensiz karbon dağılımı gibi kinetik sınırlamalar nedeniyle reaksiyon termodinamik başlangıç sıcaklığından daha yüksek sıcaklıklarda gerçekleşebilir. Fakat bu sınırlamalar ve yüksek sıcaklıktan ötürü prosesin sonucunda tane büyümesi, tane aglomerasyonu, düzgün olmayan tane şekli ve reaksiyona girmemiş karbon ve TiO_2 görülebilir. Proses uzun süreli bir proses olduğundan enerji tüketimi çok olan bir üretim şeklidir (Weimer, 1997).

4.2.2. Gaz fazı sentezi (Kimyasal Buhar Biriktirme – CVD)

Gaz fazından çöktürme yöntemi en saf refrakter karbür, nitrür ve borürlerinin üretimine olanak sağlar. Bu yöntemde metal halojenleri; CO ve hidrokarbonlar, yüksek ergime noktalı bir metal filamanının sıcak yüzeyindeki hidrojen, sert metaller veya karbon ile gaz karışımının eş zamanlı reaksiyonu ve ayrışması işlemlerini kapsamaktadır. Bu yüksek ergimeli metaller tungsten, platin, iridyum, molibden, tantal, niyobyum olabilir. Bu yöntem ile küçük miktarlarda numune üretilebilmekte olup fiziksel muayene numuneleri için uygundur. CVD yöntemi ile üretilen başlıca kaplamalar;

1. Karbürler, (özellikle TiC, kromkarbür, refrakter metallerinin karbürleri),
2. Nitrürler, (TiN ve silisyumnitrür),
3. Borürler, (TiB₂, nikelborür, demirborür),
4. Oksitler (özellikle alüminyumoksit)'dir (Schwarzkopf ve Kieffer, 1953).

Bu kaplama türleri endüstride yaygın kullanım alanı bulmuştur. Günümüzde farklı CVD kaplama kombinasyonları söz konusudur. Bu kombinasyonlar;

1. karışık (modifiye edilmiş) kaplama tabakaları Ti(C,N), vb.
2. çok katmanlı tabakalar TiC/Al₂O₃-TiC/TiN/Al₂O₃
3. dubleks kaplamalar (nitrürleme+karbür kaplama)

şeklinde. Çok katmanlı kaplamalar özellikle aşınmaya dayanıklı kesme uçlarında başarıyla kullanılmaktadır (Douglas, 2001).

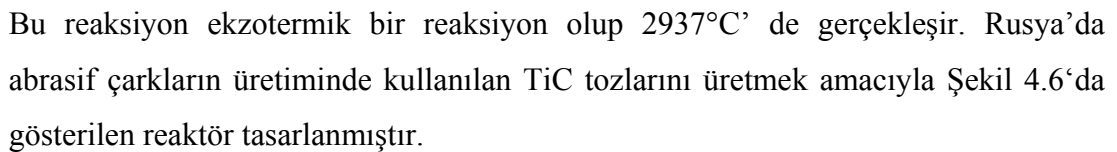
Gaz fazından çöktürme yöntemiyle karbürler sıcak tel üzerinde saf ve yoğun formda elde edilirler. TiC'ün gaz fazından çöktürme reaksiyonu titanyum tetraklorür, hidrojen gazı ve karbon arasında gerçekleşmekte olup aşağıdaki şekildedir (Douglas, 2001).

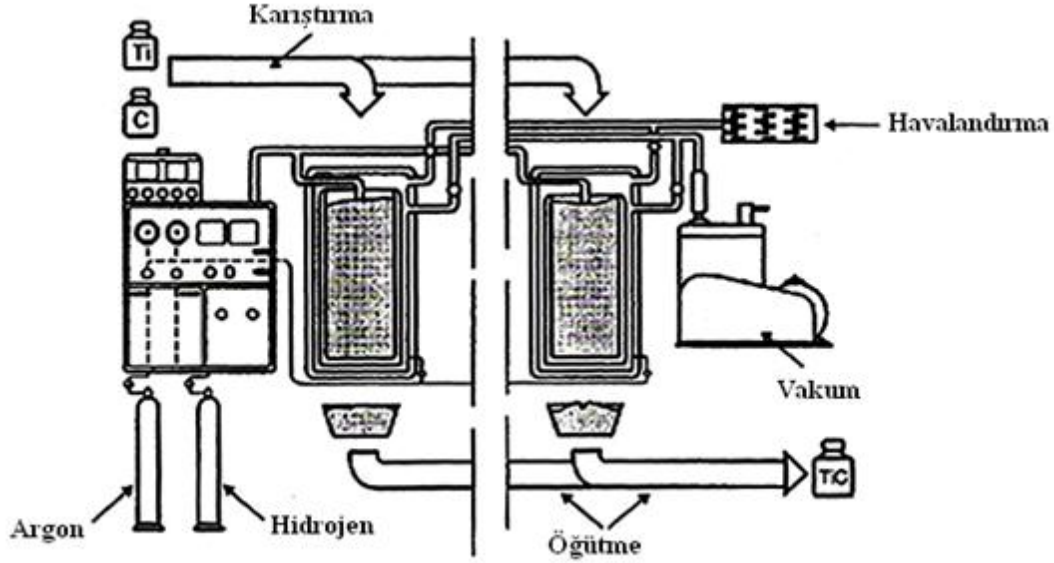


Burgers ve Basart, TiCl₄ ve H₂ karışımından karbon tel üzerine TiC çöktürmeyi başarmışlardır. 1800 - 2400°C arasındaki çöktürme sıcaklığında karbon çözünür ve karbürler kılcal damarlar şeklinde oluşurlar. Telin sıcaklığı sadece karbür oluşum hızını belirlemez ayrıca karbür tabakası içindeki karbon ve metalin difüzyon hızını da belirlemekle birlikte klorür gazının dağılımını ve çöken metal miktarını da kontrol eder. Yüksek tel sıcaklıklarında, difüzyon hızı çökme hızından daha hızlı olabilir ve tüm karbon bitine kadar çöken metal karbürize olabilir. Düşük tel sıcaklıklarında metalin çökmesi karbür oluşumundan hızlı olabilir ve karbon tel kullanılmadan metal çökebilir veya karbür içinde çözünebilir. Çöktürülen karbürler yüksek vakum altında ısıtılarak ve çöken metalin buharlaştırılmasıyla saflaştırılabilmektedir. Bu üretim yöntemi pahalı bir yöntem olmamasına karşın hem TiCl₄'ün hem de HCl' nin korozif olmasından ötürü koroziftir (Douglas, 2001).



Ti ve C arasındaki yanma reaksiyonu, yanma sentezleri arasında en çok çalışılan konudur. Bunun sebebi TiC' ün değerli bir refrakter ve aşındırıcı malzemesi olmasıdır. Ti ile C arasında aşağıda gösterilen reaksiyon gerçekleşir (Weimer, 1997).





Şekil 4.6 : Kendiliğinden gerçekleşen yüksek sıcaklık sentezi (Weimer, 1997)

Reaktör temel olarak vakum ve gaz kaynaklarına bağlı su çekmeli paslanmaz çelik bir tanktan oluşmaktadır. Reaksiyona girecek malzemeler poroz refrakter tanklar içine yüklenir. Poroz olmasının sebebi yanma süreci sırasında oluşan gazların serbest bırakılmasını sağlamaktır. Güvenlik amacıyla reaktörün içindeki basınç sürekli kontrol edilmektedir. Gaz oluşumu ve açığa çıkan sıcaklıktan ötürü artan basınç bu yolla azaltılabilmektedir. Sistemin ateşleme bölümü güç kaynağına bağlı tungsten bobinden oluşmaktadır. Genelde 20kg kapasiteli reaktörler kullanılmakta olup sentez işlemi yaklaşık 60 – 90sn, reaktörün soğuması da 1.5 – 2 saat sürmektedir. Üretim hızı reaktör başına saatte yaklaşık 10kg kadardır (Weimer, 1997).

Çoğu uygulamada kullanılan toz miktarı hesaplanırken teorik orana (Ağ. %20.05C - %79.95Ti) çok yakın değerler kullanılır. Eğer kullanılan Ti, oksijen içeriyorsa karbotermal redüksiyon ile oksitin yakılmasını sağlamak amacıyla sisteme teorik orandan daha fazla ilave karbon ilave edilmelidir (Munir ve Anselmi, 1989; Merzhanov, 1990).

4.2.4. Doğrudan Karbürizasyon

En temel TiC üretim yöntemi doğrudan karbürizasyon ile titanyumdan elde etmektir.



Ti ve C tozları başlangıç malzemesi olarak kullanılır ve proses 2500 – 3000 °C te gerçekleşir. Prosesin temeli gazların kullanımına dayanır. Bu gazlar tarafından

yapılan yüksek basınç Ti ve C arasındaki tepkime hızlandırır. Bu reaksiyonlarında bazı limitleri vardır. Öncelikle saf Ti tozları oldukça pahalıdır. Bu reaksiyonların gerçekleşme süresi 5-20 saat arasındadır. Bu proses tane büyümesine sebep olmaktadır ve bu işlemten sonra kırma işlemi gerekmektedir (Holt ve Munir, 1986).

4.3. Titanyum Karbür Kullanım Alanları

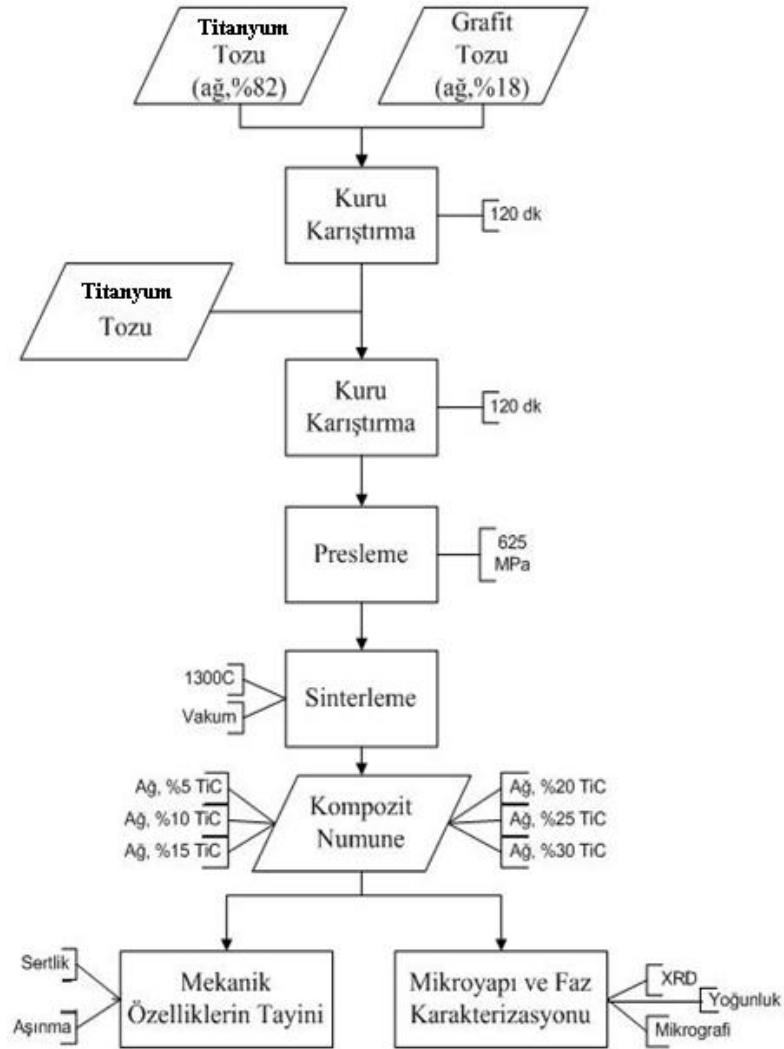
Titanyum karbür yüksek dayanım, rijitlik ve aşınma direnci ile çok yüksek serliğe sahiptir. Düşük sürtünme katsayısına sahiptir ve soğuk kaynağa dirençlidir. Yüksek sıcaklıklarda stabilitesi fazladır. Bu özelliklerinden dolayı endüstride kesme ve aşındırma aletlerinde tungsten karbürün yanında ikincil karbür olarak kullanılmaktadır. Aşınma direnci ve diğer mekanik özelliklerinden ötürü kaplamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Kullanım alanlarının başlıcaları:

1. Semente karbürlerde ikincil karbür olarak
2. Kesme ve freze aletlerinde
3. Bilya ve rulman kaplamalarında
4. Ektrüzyon ve spray tabancası uçlarında
5. Kimya endüstrisinde pompa şaftlarında, ekleme parçalarında ve besleme vidalarındaki kaplamalarda
6. Uzay araçlarında vakum altında katı veya sıvı yağlayıcı olarak
7. Yoğurma ve döküm kalıpları kaplamada
8. Füzyon enerji kaynakları ve yüksek voltaj pilleri plakalarında

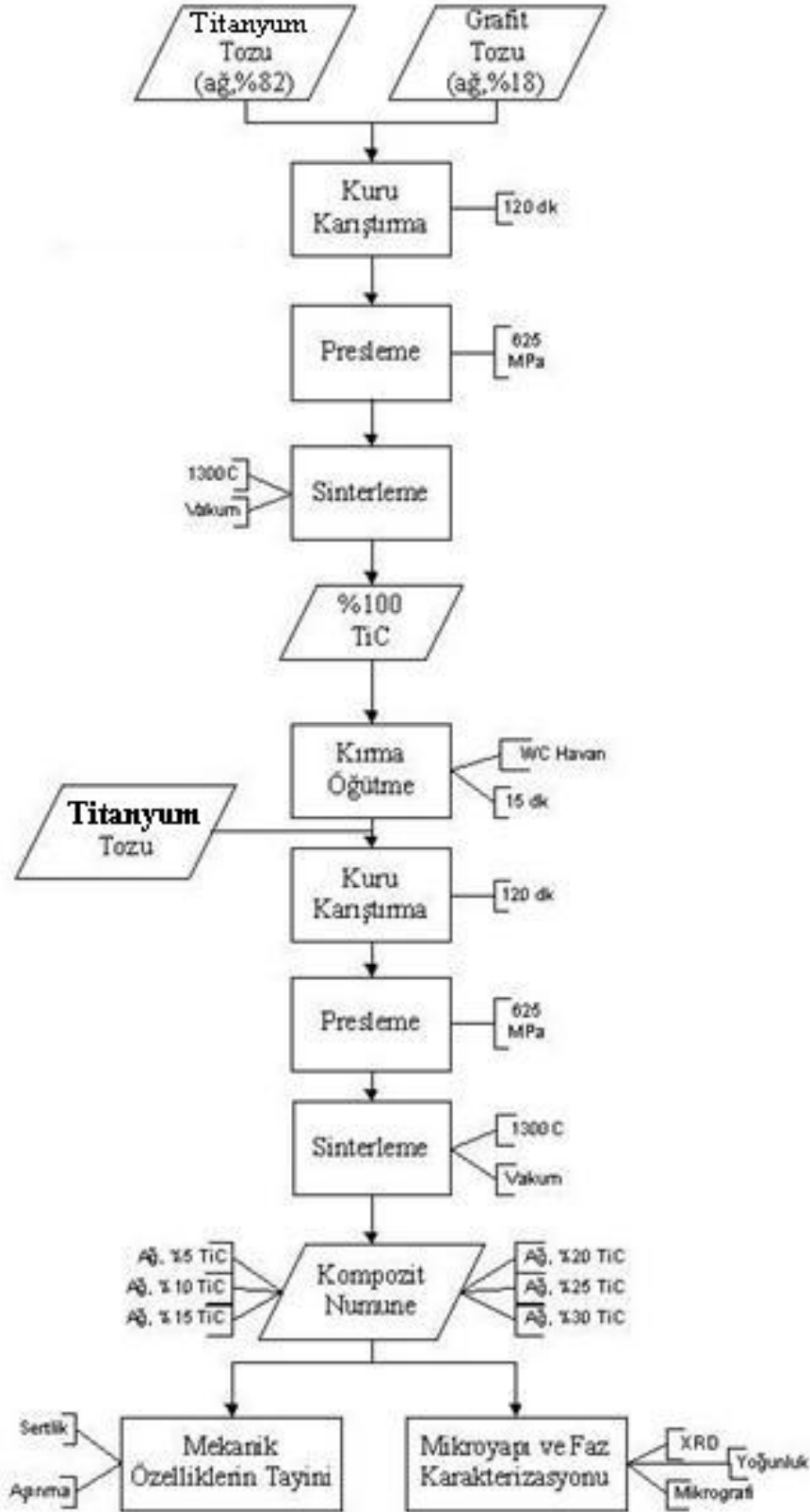
kullanılmaktadır (Boving ve diğerleri, 1987; Abstract of phase I Awards, 1993; Mullendore ve diğerleri, 1981).

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Yapılan çalışmada, hazırlanan titanyum tozları ile grafit tozları kuru karıştırma tekniğiyle karıştırılmış ve karışma sonrası preslenip sinterlenmiştir. Tozların partikül boyutu ve faz analizi ile sinterleme sonrası elde edilen numunelerin yoğunluğu, porozitesi, faz analizi ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Deneysel çalışmada reaktif sinterleme (Şekil 5.1) ve geleneksel sinterleme (Şekil 5.2) olmak üzere 2 farklı üretim yöntemi kullanılmıştır.



Şekil 5.1 : Reaktif Sinterleme Çalışmalarının Akış Şeması.



Şekil 5.2 : Geleneksel Sinterleme Çalışmalarının Akış Şeması.

5.1. Deney Numunelerinin Hazırlanması

Öncelikle deneysel çalışmalarda kullanılacak tozların karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Ticari saf titanyum ve grafit tozlarının partikül boyut analizi yapılmıştır. Ayrıca titanyum ve grafit tozlarının X-ışınları difraksiyon çalışmaları ile faz analizi yapılmıştır. Toz karışımları sinterleme sonrasında ağırlıkça %5, %10, %15, %20, %25, %30 ve %100 titanyum karbür içermesi içerecek şekilde hazırlanmışlardır.

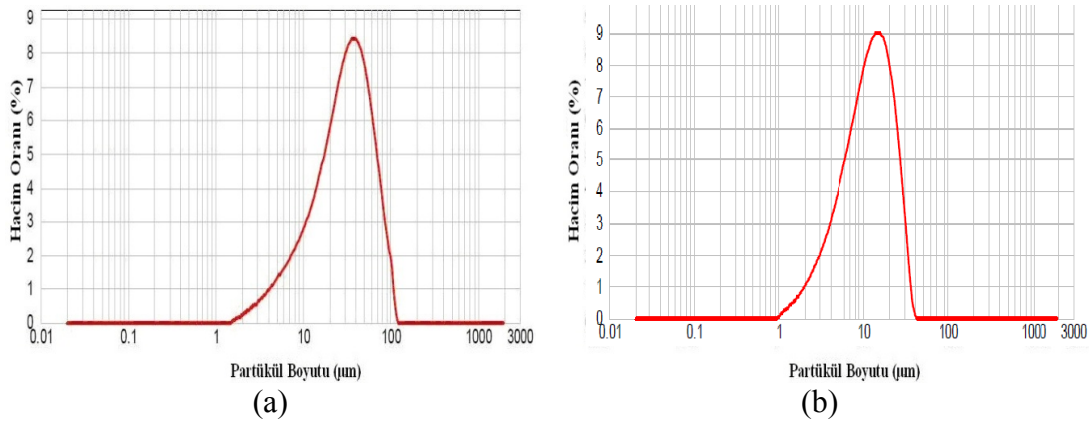
Toz boyut dağılımı, lazer kırınımlı boyut analiz cihazı Malvern Mastersizer 2000–S kullanımıyla gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.3’ da görülen bu cihazda 20 nm ile 2 mm arasındaki tozların kuru ve yaş olarak boyut analizi yapılabilmektedir. Analiz tekniği hareketli bir sıvı içerisinde asılı halde duran parçacıkların kırınım prensibine dayanmaktadır. Analiz sırasında parçacıklar, devir daim yapan bir sıvı ırmağı içerisine yerleştirilmiş lazer ışınından geçmektedirler. Etkileşim sonucunda saçılan ışık şiddeti, sisteme yerleştirilmiş dedektörler vasıtasıyla tespit edilmektedir. Bu saçılma parçacığın asılı durduğu ortam içerisindeki yansıma indeksine, ışığın dalga boyuna, parçacık büyüklüğüne ve şekline bağlıdır. Detektörler tarafından tespit edilen sinyal, matematiksel algoritmalar kullanılarak parça büyüklük dağılımına dönüştürülür. Bu uygulamada aglomerasyonun ve çökelmenin önüne geçmek için toz parçacıkları ölçüm sırasında sürekli mekanik ve ultrasonik olarak karıştırılmaktadır.

Analizler sırasında arka arkaya yapılan üç ölçüm sonucunda standart sapmanın %5’ten az olması esas teşkil etmiştir. Yapılan çalışmada sıvı ortam olarak tozlar için saf su kullanılmıştır. Ölçüm öncesi cam beher içerisine az miktarda saf su ölçümü yapılacak toz malzeme eklenerek ultrasonik banyo içerisinde bekletilmiştir. Bu şekilde saf su içerisinde homojen şekilde dağılan tozlar partikül boyut ölçümü için hazır hale getirilmiştir.

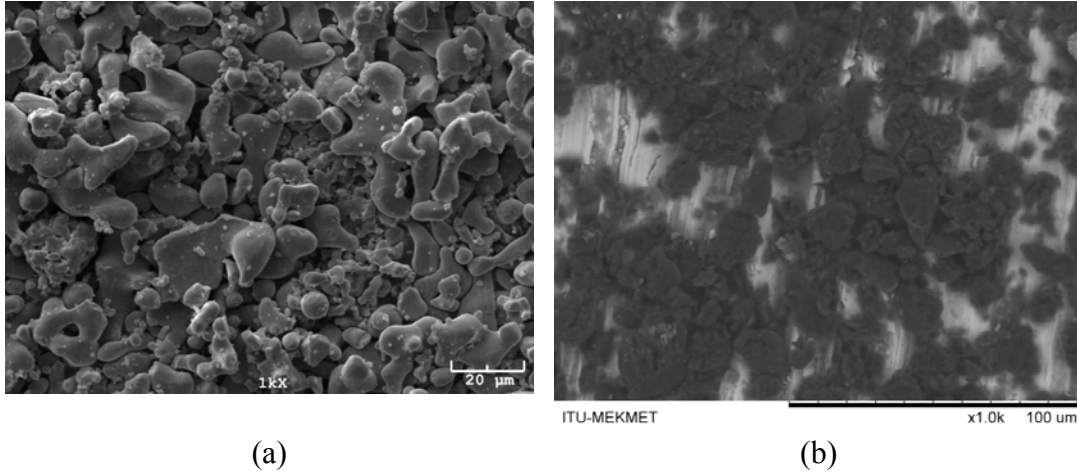


Şekil 5.3 : Malvern™ Mastersizer 2000–S Partikül Boyut Ölçüm Cihazı.

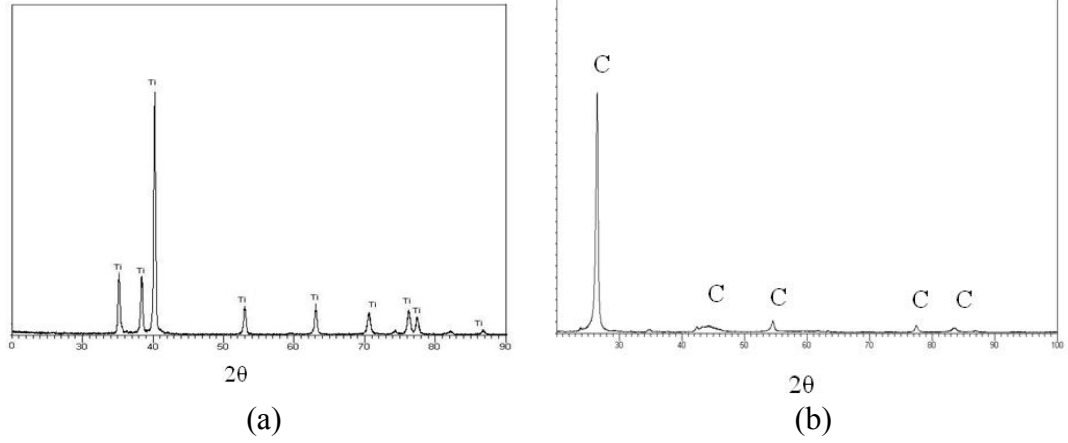
Çalışmada kullanılan elementel titanyum ve grafit tozlarının boyut analiz sonucu Şekil 5.4'te verilmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılacak titanyum tozlarının ortalama boyutunun 40 μm , grafit tozlarının ise 15 μm olduğu görülmektedir. SEM analizi sonucu elde edilen görüntülerden titanyum tozlarının küresel yapıya ve grafit tozlarının da köşeli yapıya sahip olduğu görülmüştür (Şekil 5.5). Tozların Şekil 5.6'da görülen XRD çalışmaları sonucunda, deneysel çalışmalarda kullanılan titanyum ve grafit tozlarının saf oldukları belirlenmiştir.



Şekil 5.4 : (a) Titanyum ve (b) Grafit Tozlarının Boyut Analizleri.



Şekil 5.5 : (a) Titanyum ve (b) Grafit Tozlarının SEM Görüntüleri



Şekil 5.6 : (a) Titanyum ve (b) Grafit Tozlarının XRD Paternleri

5.1.1. Kuru karıştırma

Kuru karıştırma işlemi, Şekil 5.7’ de görülen sabit hızla eksantrik dönme hareketi yapan kavanoz içinde, tozların homojen bir şekilde karışımını sağlamak amacıyla numunelerin iki saat karıştırılması ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.7 : WAB TURBULA Kuru Karıştırıcı

5.1.2. Presleme çalışmaları

Kuru karıştırma yöntemleri ile hazırlanmış olan tozlar 650MPa basınç altında oda sıcaklığında 20mm silindir şeklinde soğuk pres yöntemiyle preslenmişlerdir. Presleme işlemi Şekil 5.8’te görülen 25 ton kapasiteli Hidromode marka hidrolik tek eksenli pres makinesi ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.8 : Hidromode Hidrolik Pres.

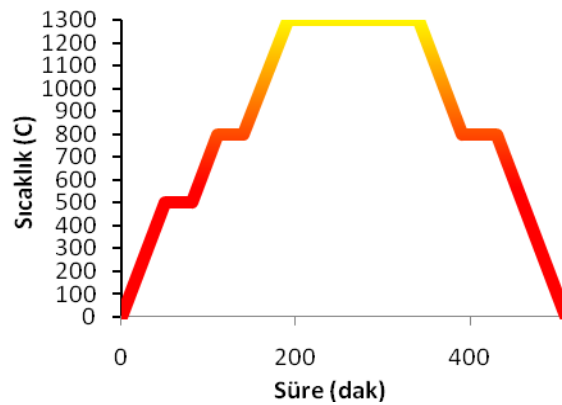
5.1.3. Sinterleme çalışmaları

Titanyum ve grafit, yüksek sıcaklıklarda oksijene ve hidrojene afinitesi yüksek olan elementlerdir. Bundan dolayı, yüksek sıcaklık uygulamalarında inert bir atmosfere gerek duyulur ya da vakumda çalışılır. Bu nedenle titanyum matrisli titanyum karbür üretimi için uygun sinterleme şartlarını seçmek önemlidir.

Bu çalışmada sinterleme işlemleri için fırın öncelikle argon gazıyla süpürme işlemine tabi tutulmuştur. Sinterleme 10^{-1} bar basınç altında $1300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de 150 dakika süre ile gerçekleştirilmiştir. Isıtma ve soğutma $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{dak}$ hızla yapılmıştır. Çatlak oluşumunu ve distorsiyonu engellemek amacıyla ısıtma sırasında $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de soğutma sırasında ise $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de 30 dakika süre ile bekletilmiştir. Sinterleme işlemi için Şekil 5.9a'daki Nabertherm atmosfer kontrollü fırın kullanılmıştır. Sinterleme işlemi Şekil 5.9b'deki prosedüre göre yapılmıştır.



(a)



(b)

Şekil 5.9 : a) Nabertherm Atmosfer Kontrollü Fırın, b)Sinter Rejimi.

5.1.4. Kırma-öğütme

Reaktif sinterleme sonucu üretilen %100 titanyum karbür numune WC mekanik alaşımlama kabı içerisinde öğütülmüştür. Şekil 5.10a’ da 25 Hz frekans ile sadece yatay ekseninde gidip gelme işlemi yapan Retsch MM400 öğütme cihazı görülmektedir. Bu hız eksantrik hareket yapan diğer öğütücülerle kıyaslandığında 1500 rpm hızında çalışmaktadır. Öğütme işleminde kullanılan WC topun çapı 20 mm, kuru ortamda ve 15 dk süre ile gerçekleştirilmiştir. Öğütme işlemi öncesi top ve kabın iç yüzeyi izopropil ve etil alkol kullanılarak temizlenmiştir.



(a)



(b)

Şekil 5.10 : a) Retsch MM400 Öğütücü, b) Çelik Mekanik Alaşımlama Kabı ve Çelik Top

5.2. Yapısal Karakterizasyon Çalışmaları

Tozların karıştırılması sonrasında sinterlenmesi ile hazırlanan numunelerin karakterizasyonuna yönelik yapılan çalışmalar; fazların analizi için XRD (X-Ray Diffraction), yoğunluk ölçümü ve poroziteyi hesaplamak için Archimed yoğunluk testi, elektrik iletkenliği testi, porların dağılımı ve görünümü için optik mikroskop ve SEM analizleri ve mekanik özelliklerin incelenmesi için sertlik testidir.

5.2.1. Yoğunluk ölçümü

Arşimet prensibinde yoğunluğu bilinen bir sıvıdan yola çıkarak katı bir cismin yoğunluğu hesaplanır. Yoğunluk hesabı, ölçüm sırasında, suyun veya kullanılan sıvının kaldırma kuvvetinden yararlanılarak bulunur.

Sinterlenmiş numunelerin yoğunluk ölçümleri basit bir yöntem olan hacim-kütle arasındaki ilişki kullanılarak hesaplanmıştır. Bu yöntemle yoğunluk ölçümü, sıvının yer değiştirmesi ile Arşimet (Archimedes) prensibine dayanmaktadır. Numune ilk olarak havada, sonra sıvı içerisinde tartılmıştır. Daha sonra havadaki kütle, iki sonucun farkına bölünmüş ve sıvının yoğunluğu ile çarpılmıştır. Bu çalışmada numunelerin oksidasyon riski nedeniyle ölçüm yapılan sıvı olarak etil alkol kullanılmıştır. Şekil 5.11’ de, yoğunluk ölçümünde kullanılan tartım cihazı görülmektedir.



Şekil 5.11 : Yoğunluk Ölçümlerinde Kullanılan Precisa™ XB220A Tartım Cihazı.

Arşimet prensibine göre, kaldırma kuvveti $F = V \text{ (cisim)} \times d \text{ (sıvı)}$ denkleminde bulunur. Yapılan ölçümde kullanılan etil alkolün yoğunluğu 0.79 g/cm^3 ’tür. Bu nedenle,

$$F = V.d_1 \quad (5.1)$$

$$F = G_h - G_s \quad (5.2)$$

$$D_2 = \frac{m}{V} = \frac{G_H}{G_H - G_S} = x d_1 \quad (5.3)$$

Burada,

F: Kaldırma kuvveti

V: Hacim

d_1 : Etil alkolün yoğunluğu ($0,79 \text{ gr/cm}^3$)

d_2 : Numune yoğunluğu

G_H : Cismin havadaki ağırlığı

G_S : Cismin sıvıdaki ağırlığı

5.2.2. Mikroyapı karakterizasyonu

Yüzey incelemeleri Leica 6000 marka optik mikroskop (Şekil 5.12a)ve Hitachi 1000 marka masaüstü taramalı elektron mikroskobu (Şekil 5.12b) ile gerçekleştirilmiştir. Mikroskop incelemelerinden önce, numuneler standart metalografik yöntemlerle zımparalanıp parlatıldıktan sonra etil alkol ile temizlenmiştir.



(a)

(b)

Şekil 5.12 : a)Leica Marka Stereo Mikroskop, b)Hitachi Marka Masaüstü Taramalı Elektron Mikroskobu.

5.2.3. Faz incelemeleri

Mikro yapısal gelişim X-ışınları difraksiyon tekniği (XRD) ile incelenmiştir. X-ışınları difraksiyon çalışmaları numune hazırlanmadan önce tozlarda ve orijinal durumdaki numunelerde GBC marka MMA 027 model cihazında (Şekil 5.13) yapılmıştır. XRD çalışmaları $\text{CuK}\alpha$ (35kV, 28.8mA) ışıması altında $2^\circ/\text{dakika}$ hız ile $20-90^\circ$ aralığında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.13 : X-İşınları Difraksiyon Ölçümü İçin Kullanılan GBC MMA027 XRD Cihazı.

5.2.4. Sertlik ölçümü

Üretilen malzemenin sertliğini belirlemek amacıyla, numunelerin yüzeyi standart metalografik yöntemlerle zımparalanıp parlatıldıktan sonra, sertlik ölçümüne hazır hale getirilmiştir. Sertlik testleri Shimadzu marka HMV-2 model mikro sertlik cihazında (Şekil 5.14) 200 gram yük altında Vickers cinsinden gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.14 : Shimadzu Mikrosertlik Cihazı.

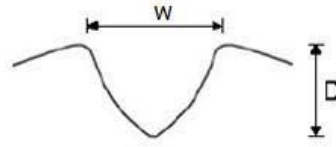
5.2.5. Aşınma testleri

Aşınma testleri karşı yüklemeli (reciprocating) aşınma cihazı (5.15) ile yapılmıştır. Aşınma testinde aşındırıcı top olarak alümina top kullanılmıştır. Alümina sertliği yaklaşık 1500 Vickers olan çok sert bir malzemedir. Bu aşındırıcı top, numune yüzeyinde ileri geri hareketler yaparak yüzeyde bir aşınma izi oluşturmaktadır.

Hazırlanan deney programı çerçevesinde 10N'luk dikey yük kullanılmıştır. Aşınma süresi tüm testler için sabit tutulmuş ve 5000 çevrim olarak belirlenmiştir. 5000 çevrimin süre olarak karşılığı 83 dakikadır. Aşınma testlerinde kontrol edilen diğer önemli parametreler ise nem ve sıcaklık kontrolüdür. Aşınma testlerinin yapıldığı ortam nem ve sıcaklık kontrollü bir ortamdır ve nem $\% 35 \pm 5$, sıcaklık 20 ± 5 derece aralığında değişmektedir. Numunelerin aşınma iz alanları (A), iz genişlik (W) ve derinliği (D) Veeco marka profilometre ile ölçüldükten sonra hesaplanmıştır. Aşınma izinin şematik görünümü Şekil 5.16'da verilmiştir.



Şekil 5.15 : Karşı Yüklemeli (Reciprocating) Test Cihazı



Şekil 5.16 : Aşınma İzinin Derinliğinin ve Genişliğinin Şematik Olarak Gösterimi

$$V = \frac{\pi}{4} L.W.D \quad (5.4)$$

V: Aşınma hacmi

L: Aşınma izinin uzunluğu (10 mm)

W: Aşınma izinin genişliği

D: Aşınma izinin derinliği olarak tanımlanmıştır.

5.2.6. Korozyon dayanımının karakterizasyonu

Sinterlenen numunelerin elektrokimyasal davranışları Gamry PC4/750 Potansiyostat/Galvanostat Model P600 kullanılarak anodik potansiyodinamik polarizasyon yöntemine göre belirlenmiştir. Ayrıca referans olması için bir tane işlem görmemiş numune de korozyon deneylerine tabii tutulmuştur. Elektrolitik korozyon deneyleri izotonik serum (% 0.9 NaCl Çözeltisi) içerisinde oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.

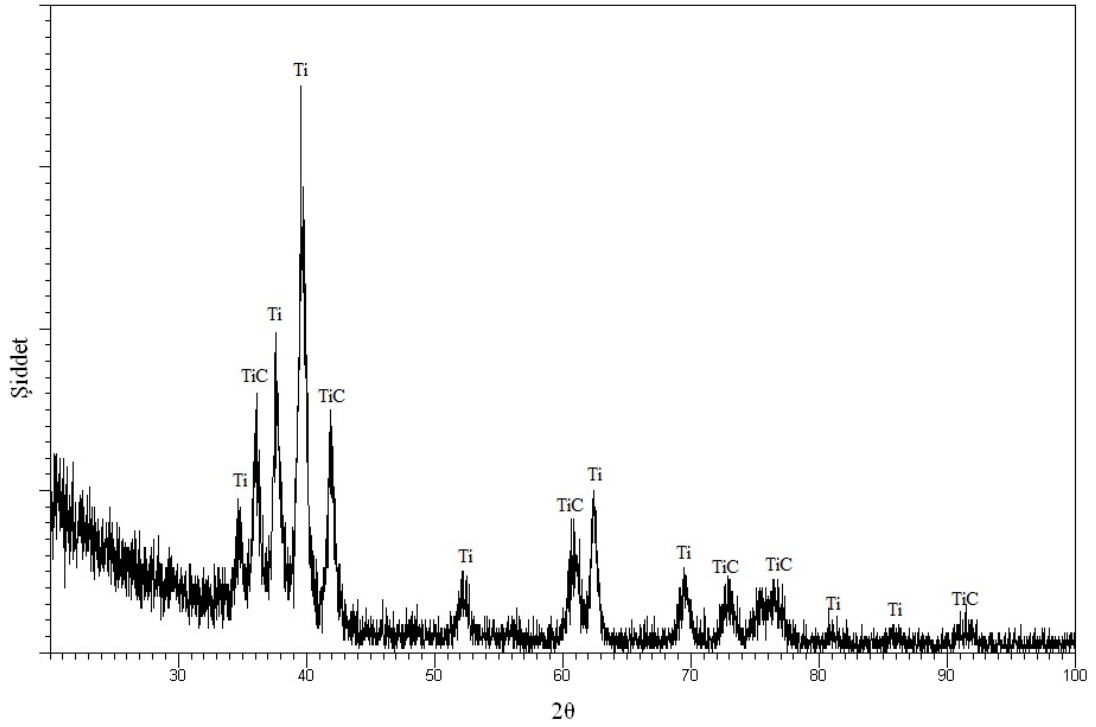
Referans elektrot olarak kalomel ($E = 0,241V$ standart hidrojen elektroduna göre), karşıt elektrot olarak ise yüzey alanı 4 cm^2 olan platin levha kullanılmıştır. Deney başlamadan önce çözelti içerisindeki serbest oksijeni gidermek amacı ile sistemden 1 saat süreyle azot gazı geçirilmiştir. Ölçüm başlamadan önce 300 s süre ile 1 mV/s

hızla tarama yapılarak yüzeyin dengeye gelmesi sağlanmıştır. Deney başladıktan sonra tarama, 0.5 mV/s tarama hızında gerçekleştirilmiştir. Açık devre potansiyeline göre tarama aralığı $-0.5 / 2.5$ V olarak belirlenmiştir ve tarama sırasında potansiyel değişimine bağlı olarak değişen akım kaydedilmiştir.

6. DENEYSEL SONUÇLAR

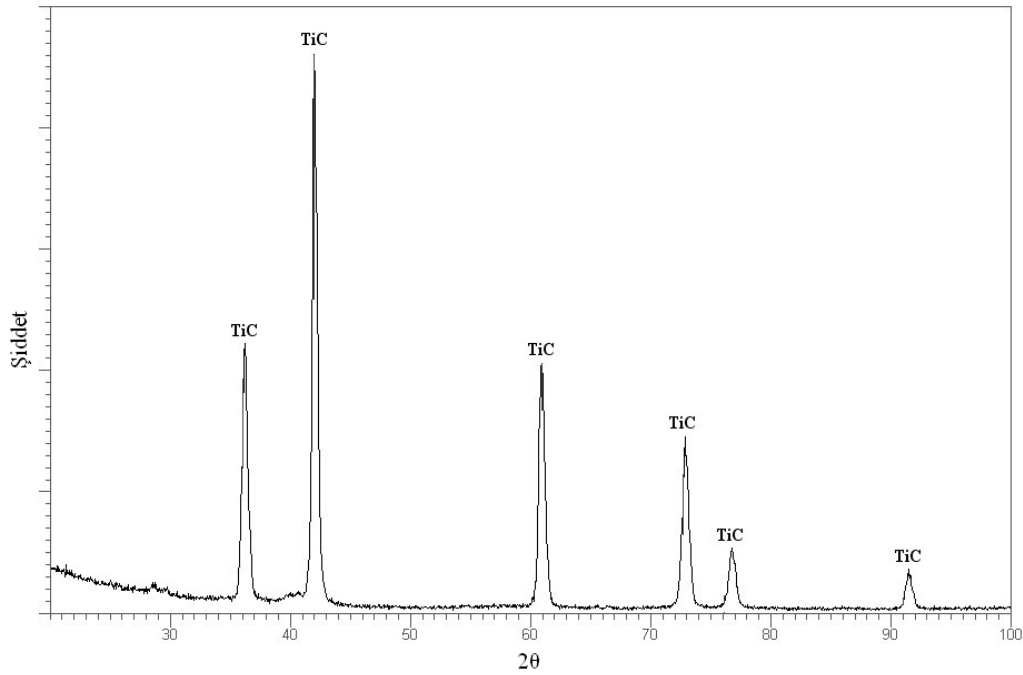
6.1. XRD çalışmaları

Numuneler hazırlandıktan içerisindeki faz oluşumunu belirlemek için XRD çalışması yapılmıştır. Reaktif sinterleme üretilen %5 Titanyum karbür içeren numunenin XRD paterni Şekil 6.1’de verilmektedir. Beklenildiği gibi XRD paterninde titanyum ve titanyum karbür fazları görülmektedir. XRD sonucu numune içerisinde grafit kalmadığı belirlenmiştir buda sinterleme işlemi için uygulanan sıcaklık ve sürenin yeterli olduğunu göstermektedir.



Şekil 6.1 : Reaktif Sinterleme ile Üretilen %5 TiC İçeren Numunenin XRD Paterni

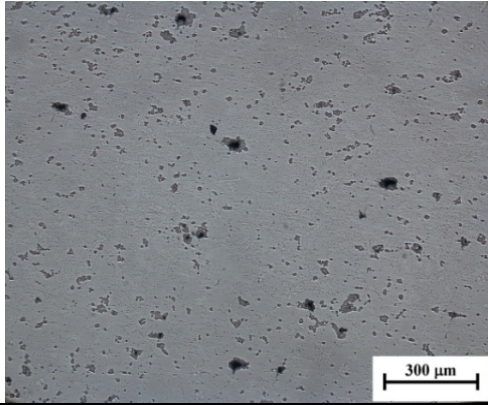
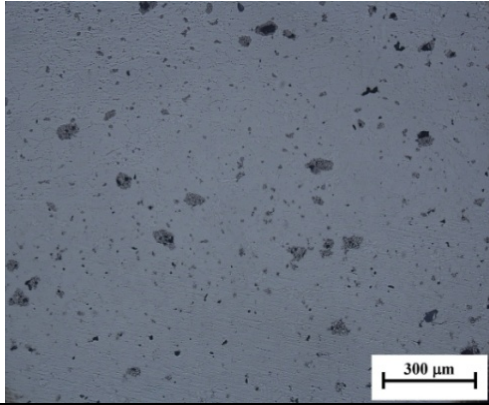
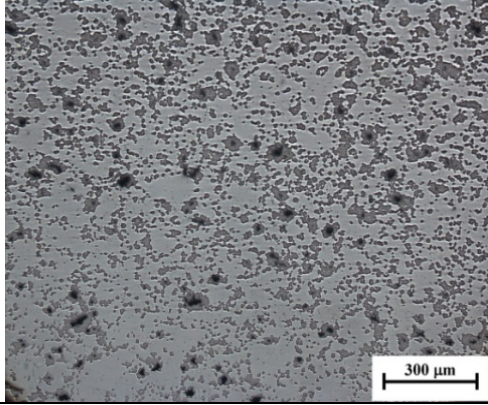
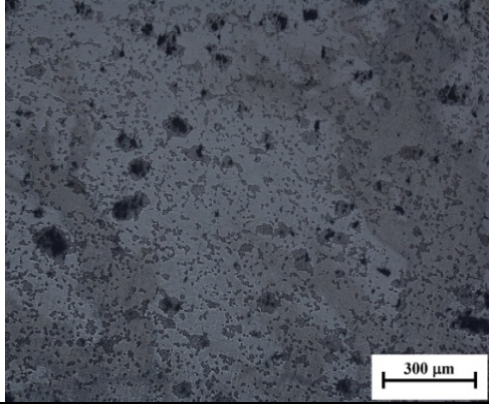
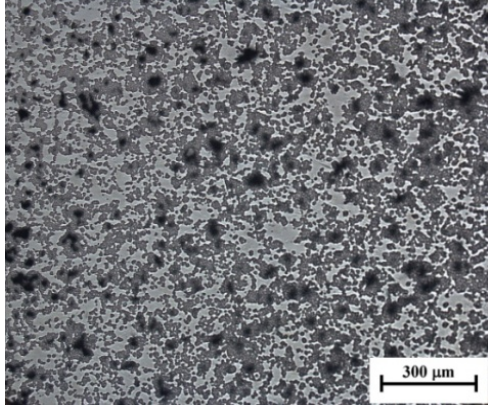
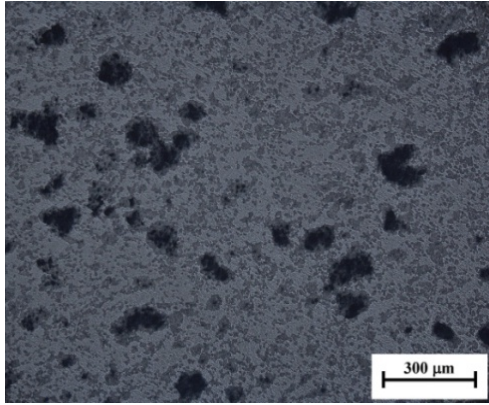
Reaktif sinterleme ile üretilen %100 Titanyum karbür olan numunenin XRD paterni Şekil 6.2’de verilmektedir. Karıştırılan oranlar sonucunda uygulanan sinterleme sonucu %100 titanyum karbür oluştuğu belirlenmiştir. Üretilen titanyum karbür kırılıp tekrar titanyum tozu içerisine katılmak için uygun görülmüştür.



Şekil 6.2 : Reaktif Sinterleme ile Üretilen %100 TiC Numunenin XRD Paterni

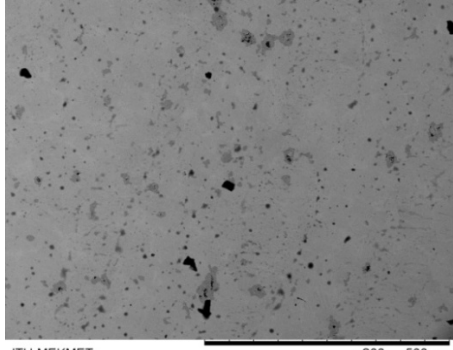
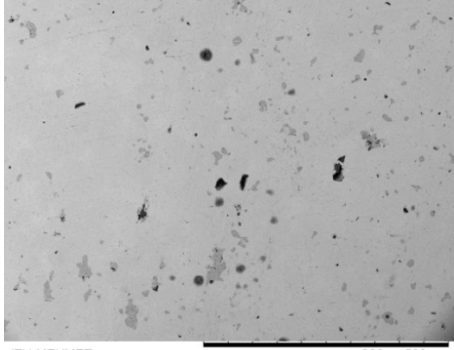
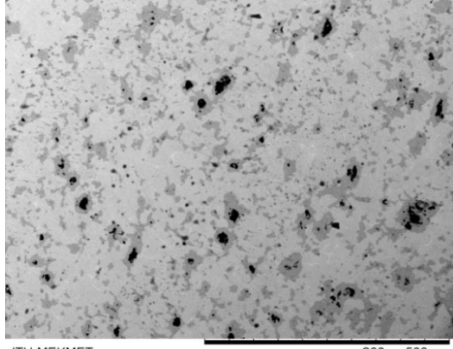
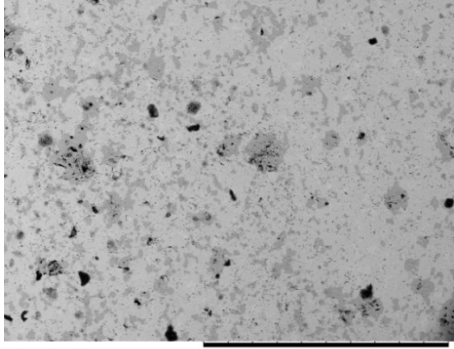
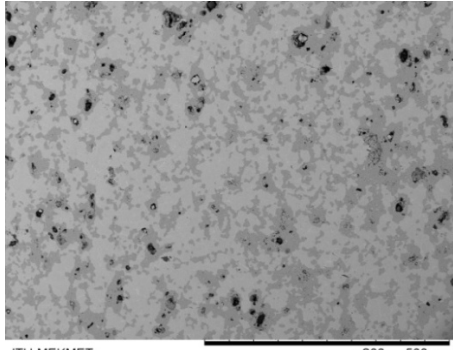
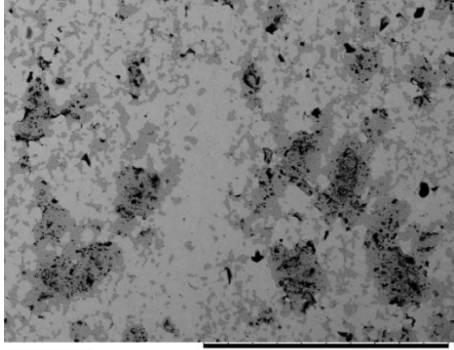
6.2. Mikroyapı Çalışmaları

Numuneler hazırlandıktan sonra uygun metalografik işlemler ile yüzeyi hazırlanan numunelerdeki titanyum içerisindeki titanyum karbür oluşumu ve dağılımını incelemek amacıyla optik mikroskop fotoğrafları çekilmiştir. Şekil 6.3'teki optik mikroskop fotoğraflarından görüldüğü üzere titanyum içerisine eklenen grafit miktarına bağlı olarak yapıda oluşan titanyum karbür miktarı artmaktadır ancak bunun yanında porozite miktarı da artmaktadır. Şekil 6.3'deki optik mikroskop görüntülerinin bütün bileşimlerdeki ve daha büyük büyütmelerdeki görünümü EK A.3 ve EK A.4'de verilmiştir. Şekil 6.4'deki SEM görüntülerinin bütün bileşimlerdeki ve daha büyük büyütmelerdeki görünümü EK A.1 ve EK A.2'de verilmiştir. Titanyum karbürün oluşum esnasında atom yarıçapı 0,091 nm olan karbon atomları atom yarıçapı 0.147 nm olan hekzagonal yapıdaki titanyum kafes içerisine girerler. Bu oluşum sonrasında kristal yapı kübik cF8 kristal yapısına dönüşür. Bu yapı içerisinde karbon atomları oktahedral boşluklara yerleşmektedir (Url 8). Buna bağlı olarak karbonların titanyum içerisine difüzyonundan sonra geride boşluklar bırakmaktadır. Mikroyapı fotoğraflarından da görüldüğü gibi titanyum karbürler boşlukların etrafında yer almaktadır.

TiC	Reaktif Sinterleme	Geleneksel Sinterleme
5%		
15%		
30%		

Şekil 6.3 : Sinterleme Sonucu Numunelerin Optik Mikroskop Görüntüleri

Reaktif sinterleme yöntemi sonucu üretilen numunelerde geleneksel sinterleme yöntemine göre daha küçük boyutlu ve daha fazla porozite görülmektedir. Numunelerin mikro yapılarına ait SEM fotoğrafları Şekil 6.4’de verilmiştir.

TiC	Reaktif Sinterleme	Geleneksel Sinterleme
5%		
15%		
30%		

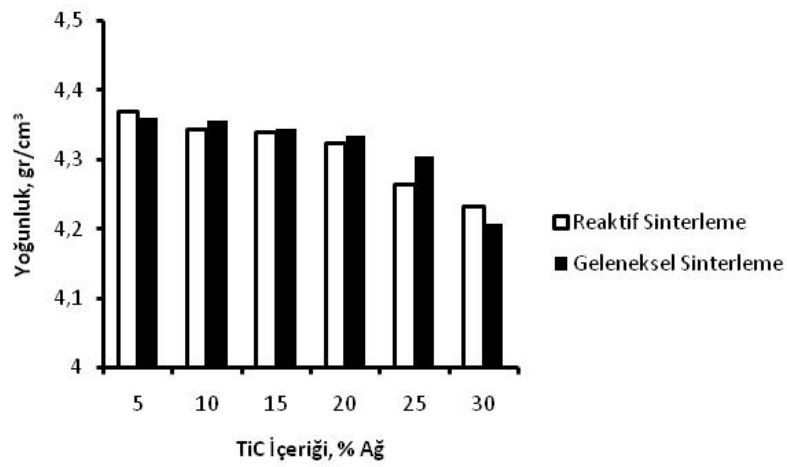
Şekil 6.4 : Sinterleme Sonucu Numunelerin SEM Görüntüleri

% 5, 10, 15, 20, 25, 30 ve 100 titanyum karbür olan numunelerin optik mikroskop ve SEM görüntüleri EK A.1 EK A.2 EK A.3 ve EK A.4’te yer almaktadır.

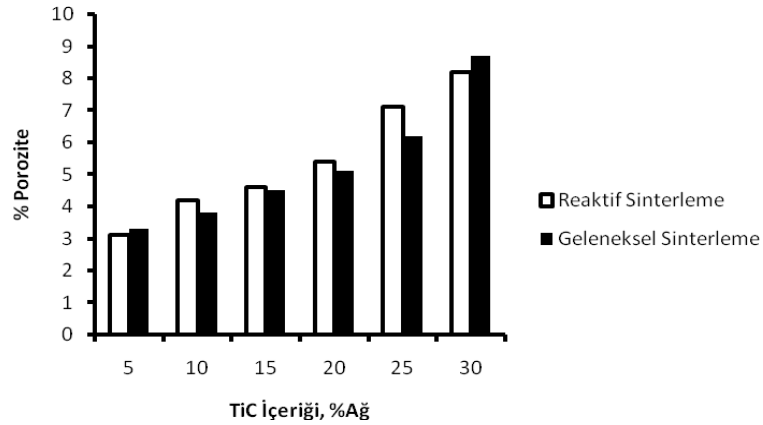
6.2.1. Yoğunluk ve porozite ölçüm sonuçları

Numunelerin yoğunluğunu belirlemek için önce havada, ardından etil alkol içinde tartımı yapılmış ve $d_c = m/V = G_H/(G_H - G_S)$ formülü ile yoğunlukları hesaplanmıştır. Hesaplanan yoğunluk değerlerinin teorik yoğunluklarına oranıyla da göreceli yoğunluk ve porozite miktarı hesaplanmıştır (EK A.11).

Şekil 6.5'te numunelerin içerdiği TiC miktarının artması ile yoğunluğun düştüğü ve porozitenin arttığı görülmektedir. Reaktif sinterleme ile üretilen numunelerde titanyum içerisine konulan karbon miktarı arttıkça yoğunluğun düştüğü belirlenmiştir. Teorik yoğunluğun artmasına karşın hesaplanan yoğunluğun düşmesi porozite oluşumundan kaynaklanmaktadır. Geleneksel sinterleme yöntemi ile üretilen numunelerde titanyum içerisine konulan titanyum karbür miktarı ile artan poroziteye bağlı olarak yoğunluk azalmaktadır. Şekil 6.6'da reaktif sinterleme ile üretilen numuneler ile geleneksel yöntemle üretilen numuneler arasında belirgin bir yoğunluk farkı olmadığı tespit edilmiştir.



(a)

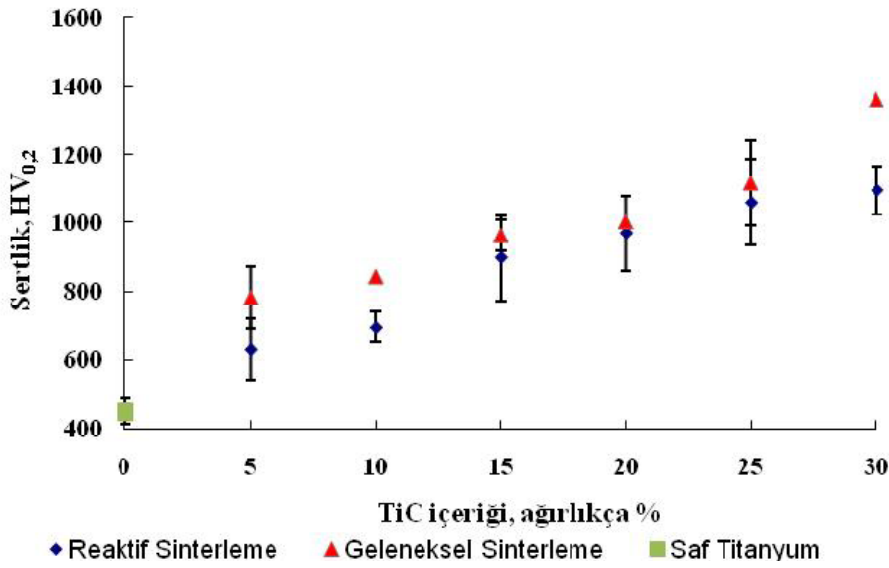


(b)

Şekil 6.5 : Ti Matrisli TiC Takviyeli Kompozitlerde TiC Miktarının (a) Yoğunluk ve (b) Porozite Üzerine Etkisi

6.2.2. Sertlik Testi Sonuçları

İncelenen malzemelerin sertlikleri EK A.8’de verilmiştir. Saf titanyumdan başlayarak matris içerisine ilave edilen titanyum karbür miktarı ile sertlik artışı Şekil 6.6’da verilmiştir. Numunelerin içerisinde oluşan titanyum karbür miktarı artmasına bağlı olarak sertlik değerleri de artmaktadır. Reaktif sinterleme ile üretilen numuneler göre geleneksel yöntemle üretilen numunelerde daha yüksek sertliğe erişilmiştir. Reaktif sinterleme yöntemiyle üretilen %100 titanyum karbürün sertliği yüksek porozite oranından dolayı alınamamıştır.



Şekil 6.6 : Sertlik Testi Sonuçları

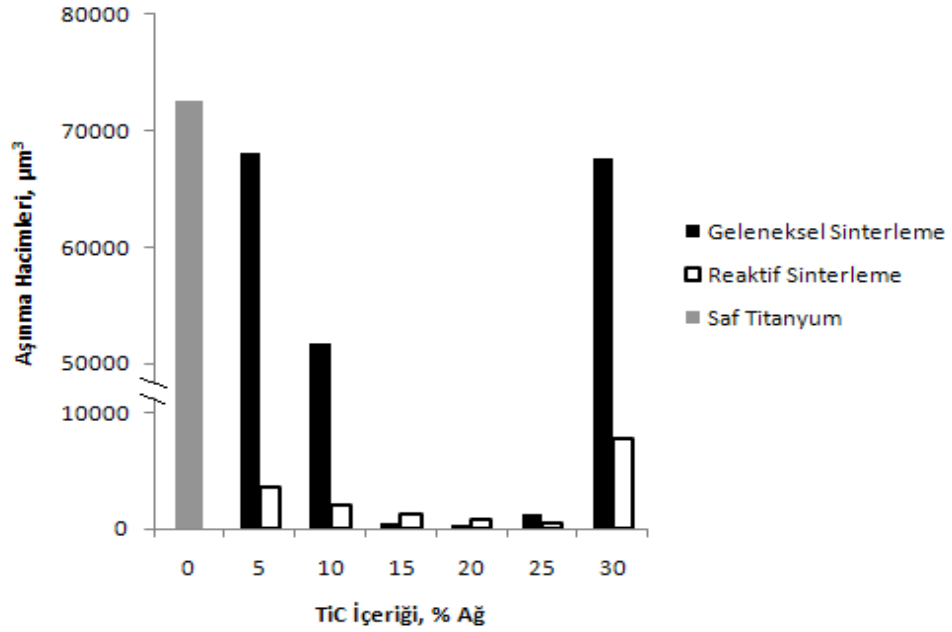
6.2.3. Aşınma Testi Sonuçları

Aşınma deneylerinden elde edilen aşınma iz profilleri ve aşınma alanları sırası ile EK A.10 ve EK A.9’da verilmiştir. Saf titanyum tozundan üretilen ve mikroyapısında TiC içermeyen numunede en yüksek aşınma iz alanı elde edilmiştir. Bu malzeme referans alınarak, diğer malzemelerin aşınma iz oranları;

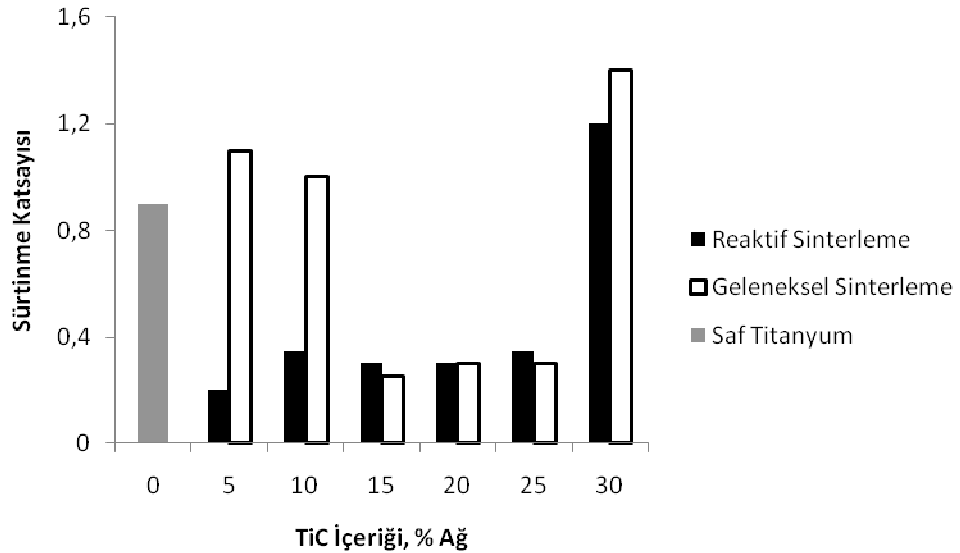
$$\% \text{Aşınma Oranı} = (\text{Her hangi bir malzemenin iz alanı}) / (\text{Saf Titanyumun iz alanı}) \times 100$$

eşitliği ile hesaplanmıştır. Şekil 6.7’de görüldüğü gibi titanyum matris içerisindeki titanyum karbür miktarı arttıkça aşınma oranın azalmakta aşınma direnci artmaktadır. Hacminin küçüldüğü aşınma direncinin arttığı belirlenmiştir. Düşük titanyum karbür içeriğine sahip numunelerde geleneksel sinterleme ile üretilenler reaktif sinterleme ile üretilene göre daha fazla aşınma izi hacmi elde edilmiştir. Şekil 6. 11’e bakıldığında geleneksel sinterleme ile üretilen numunelerin aşınma izlerinde

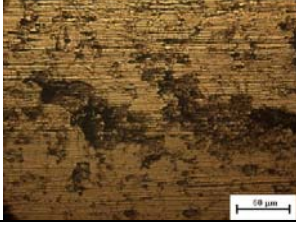
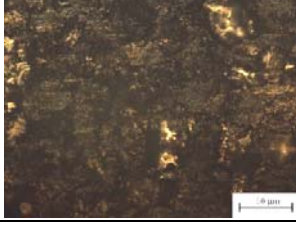
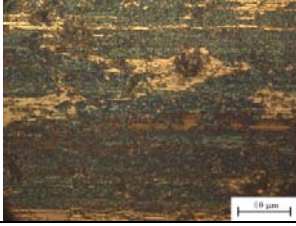
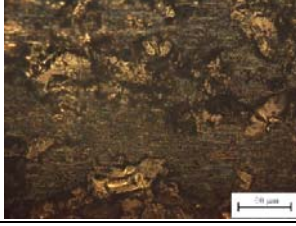
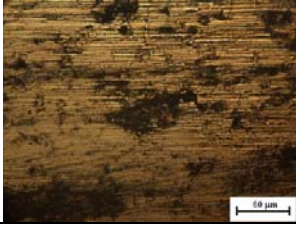
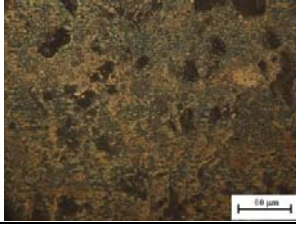
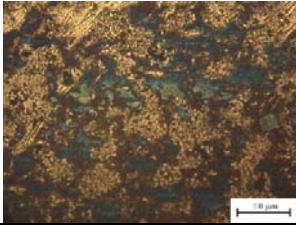
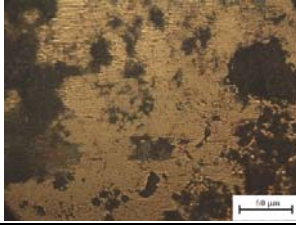
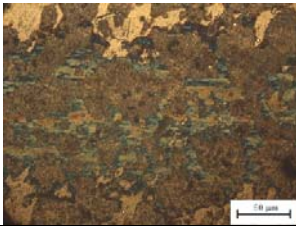
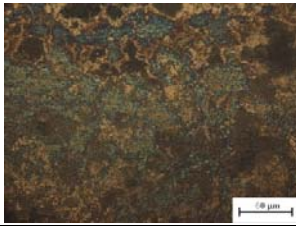
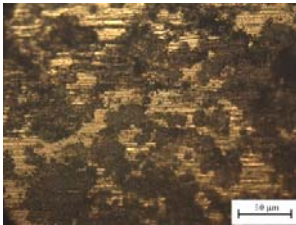
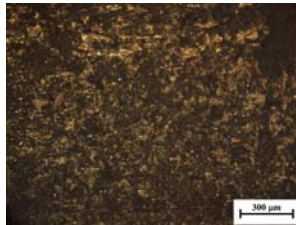
titanyum karbürlerin koptuğu görülmektedir. Aşınma izlerinin daha küçük büyütmelerdeki görüntüleri Ek A.5 ve Ek A.6 da görülmektedir. Bunun sebebi reaktif sinterleme ile üretilen numunelerdeki titanyum karbürlerin bağlanması kimyasal yolla gerçekleşmiştir fakat geleneksel üretim yönteminde bağlanma fiziksel olarak gerçekleşmektedir. %15, % 20 ve %25 titanyum karbür içeriğine sahip numunelerde belirgin bir fark gözlenmemiştir.



Şekil 6.7 : Aşınma Alanı Değişimi



Şekil 6.8 : Sürtünme Katsayısı Grafiği

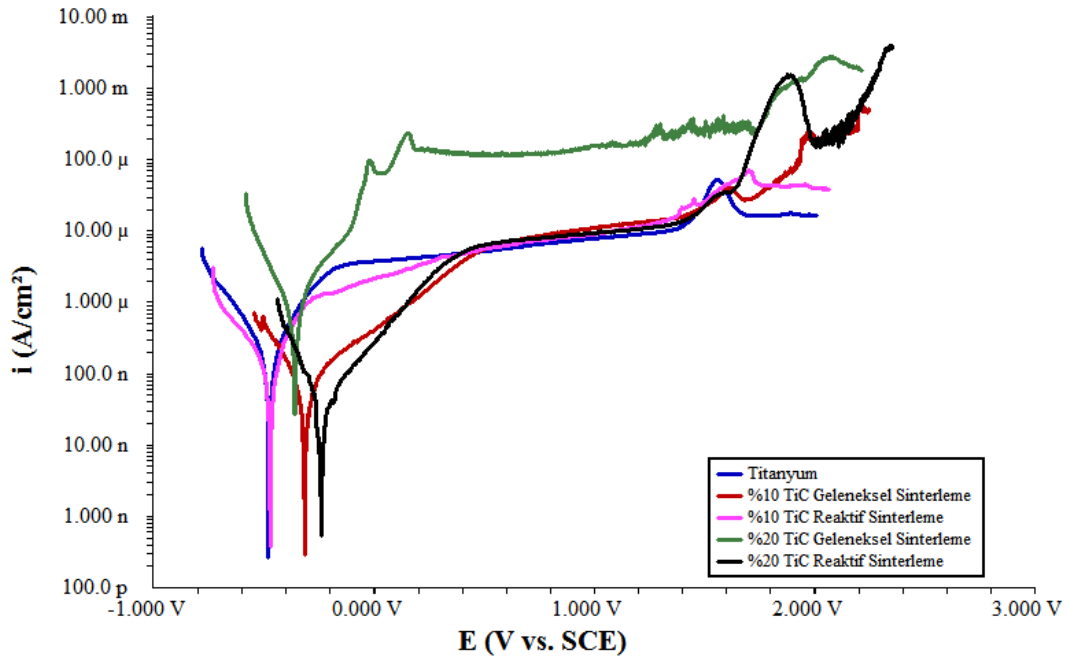
TiC İçeriği	Reaktif Sinterleme	Geleneksel Sinterleme
% 5		
% 10		
% 15		
% 20		
% 25		
% 30		

Şekil 6.9 : Aşınma izleri optik fotoğrafları

Aşıma deneyleri sırasında elde edilen sürtünme katsayısı grafikleri, EK A.7’de verilmiştir. Bu grafiklerden elde edilen karalı durum sürtünme katsayısının TiC miktarı ile değişimi Şekil 6.8’de görülmektedir.

6.2.4. Korozyon Testi Sonuçları

Titanyum ve iki farklı yöntemle üretilen %10 ve %20 titanyum karbür içeren titanyum matrisli kompozitlerin akım yoğunluğunun potansiyel değişime göre bağlı olarak gösterdiği potansiyodinamik anodik polarizasyon eğrileri Şekil 6.10’da verilmiştir. Elektrolitik korozyon davranışı incelenen numuneler içerisinde en yüksek korozyon potansiyelini ($E_{cor} = -0,255$ V) ve aynı zamanda birim alan başına geçen en düşük korozyon akım değerini ($i_{cor} = 2,5 \times 10^{-9}$) reaktif sinterleme ile üretilen %20 titanyum karbür içeren kompozit numunenin gösterdiği belirlenmiştir.



Şekil 6.10 : Potansiyodinamik Polarizasyon Testi Eğrileri

7. GENEL SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında titanyum ve grafit tozlarından başlayarak reaktif sinterleme ve geleneksel sinterleme teknikleri ile titanyum matrisli titanyum karbür takviyeli kompozit üretimi yapılmıştır. Reaktif sinteleme tekniğinde önce ağırlıkça %72 titanyum tozu ile %18 grafit tozu karıştırılmış ve bu toz karışımına farklı oranlarda titanyum tozu ilave edilmiştir. Geleneksel sinterleme tekniğinde ise önce %72 titanyum tozu ile %18 grafit tozundan %100 TiC üretilmiş ve bu titanyum karbür tozu farklı oranlarda titanyum tozuna ilave edilmiştir. Çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

1. Titanyum matrisli kompozitin mikroyapısında bulunan titanyum karbür miktarında artışı, mikroyapıda oluşan porozite miktarını artırırken kompozitin yoğunluğunu düşürmüştür. Genel olarak reaktif sinterleme ile üretilen kompozitlerin porozite içeriği geleneksel sinterleme yöntemle üretilen kompozitlerden daha fazladır.
2. Kompozitin sertlik değerleri titanyum karbür miktarına bağlı olarak artmaktadır. Geleneksel sinterleme yöntemi ile üretilen numunelerin reaktif sinterleme ile üretilen numunelere göre sertliği daha fazla olmaktadır.
3. Titanyum matris içerisindeki titanyum karbür miktarı attıkça malzemelerin aşınma dirençlerinin arttığı görülmüştür. Genel olarak reaktif sinterleme ile üretilen kompozitler geleneksel sinterleme ile üretilen kompozitlere göre daha yüksek aşınma direnci sergilemiştir.
4. Yapılan deneylerin sonucunda reaktif sinterleme ile üretilen %10 titanyum karbür içeren kompozitte yoğunluk, sertlik ve aşınma direnci açısından optimum sonuçlar elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Ahlatçı, H.**, 2003. Alüminyum-Silisyum Karbür Kompozitlerin Mekanik Özelliklerine ve Aşınma Davranışına Takviye Boyutunun ve Matriks Bileşiminin Etkisi, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Akbulut H.**, 2000. Alümina Fiber Takviyeli Al-Si Metal Matriksli Kompozitlerin Üretimi ve Mikroyapı-Özellik İlişkilerinin İncelenmesi, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Askeland, D.R.**, 1984. The Science and Engineering of Materials, Brooks/Cole Engineering Division, CA.
- Askeland, D.R.**, 1994. The Science and Engineering of Materials, VNR International, USA.
- ASM Metals Handbook**, 8. Edition, Volume 7 Atlas of Microstructures of Industrial Alloy, Microstructure of Titanium and Titanium Alloys, 321.
- ASM Metals Handbook**, 9. Edition, Volume 3 Properties and Selection : Stainless Steels, Tool Materials and Species-Purpose Metals Titanium and Titanium Alloys, 352.
- Baron, R.P.**, 1998. The processing and characterization of sintered metal reinforced aluminum matrix composites.
- Biçer, A. B.**, 2009. Toz metalurjisi yöntemiyle poroz alüminyum, titanyum intermetalik kompozitlerinin üretimi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Boving, H. J., and Hintermann, H. E.**, 1987. Properties and Performance of Chemical Vapor Deposited TiC-Coated Ball Bearing Components, *Thin Solid Films*, 153:253-266.
- Boyer, R., Welsch, G., and Collings, E.W.**, 1994. Materials Properties Handbook: Titanium Alloys, Asm International, Ohio.
- Brooks, C.R.**, 1986. Heat Treatment, Structures and Properties of Nonferrous Alloys, ASM International, Ohio.
- Brunette, D.M., Tengwall, B., Textor, M., and Thomsen, P.**, 2001. Titanium in Medicine, Springer Verlag, Heidelberg.
- Büyükuncu, G.**, 2000. B₄C/SiC Kompozitlerinin Üretimi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Campbell, I. E., and Sherwood, E. M.**, 1967. High-Temperature Materials and Technology, John Wiley & Sons, New York.
- Chawla, N. and Shen, Y.L.**, 2001. Mechanical behavior of particle reinforced metal matrix composites, *Advanced Engineering Materials*, **3**, 357-370.

- Chen, I.W. and Wang, X.H.**, 2000. Sintering dense nanocrystalline ceramics without final-stage grain growth, *Nature*, **404**, 168-171.
- Chung, D.D.L.**, 2001. Materials for thermal conduction, *Applied Thermal Engineering*, **21**, 1593-1605.
- Clyne, T.W.**, 2001. Metal matrix composites: matrices and processing, in *Encyclopaedia of Materials: Science and Technology*, Ed. Mortensen, A., Elsevier.
- Degarmo, E.P., Black, J.T., and Kohser, R.A.**, 1984. Materials and Process in Manufacturing, Macmillan Publishing Company, New York.
- Douglas E. Wolfe**, 2001. Synthesis and characterization of TiC, TiBCN, TiB₂/TiC and TiC/CrC multilayer coatings by reactive and ion beam assisted, electron beam-physical vapor deposition (EB-PVD), The Pennsylvania State University.
- El-Eskandarany, M.S.**, 2000. Structure and properties of nanocrystalline TiC full-density bulk alloy consolidated from mechanically reacted powders, *Journal of Alloys and Compounds*, **305** 225-238.
- Ezugwu, E.O., and Wang, Z.M.**, August 1997. Titanium Alloys and Their Machinability, *Journal Of Materials Processing Technology*, 262.
- Fogagnolo, J.B., Velasco, F., Robert, M.H., and Torralba, J.M.** 2002. Effect of Mechanical Alloying on the Aluminium Matrix Composite Powders, *Mater Sci. Forum*, **342**, pp. 131-143.
- Froes, F.H.**, 1984. Production of Titanium Powder, in *Metals Handbooks*, 9th edition, Vol 7, p.164.
- Godfrey, T.M.T., Wisbey, A., Goodwin, P.S., Bagnall, K., Ward-Close, C.M.** 2000. Microstructure and Tensile Properties of Mechanically Alloyed Ti-6Al-4V with Boron Additions, *Materials Sci. And Eng. U.K.*, Vol. **282**, pp. 240-250.
- Goetzel, G.C.**, 1984. *Cermets*, *Metals Handbooks*, 9th edition, **7**, p.806.
- Gökdemir, Y.**, 2005. Saf titanyum ve Ti6Al4V alaşımının yüksek sıcaklıkta oksidasyon davranışı, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Günyüz, M.**, 2007. Titanyum alaşımlarının mikroark oksidasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Habashi, F.**, 1997. Handbook of Extractive Metallurgy, Germany.
- Holleck, H.**, 1986. Material Selection for Hard Coatings, *J. Vuc. Sci. Technol.*, A4 (6).
- Holt, J.B. and Munir Z.A.**, 1986. Combustion Synthesis of Titanium carbide: Theory and Experiment, *Journal of Material Science*, **21**, p.251-259.
- Huda, M.D., ve Hashmi, M.S.J.**, 1995. Application of aluminium MMCs; *Key Engineering Materials*, **104-107**, 37-64.
- Ibrahim, I.A., Mohamed, F.A. and Lavernia, E.J.**, 1991. Particulate reinforced MMCs-a review, *Journal. of Materials. Science.*, **26**, 1137-1156.

- Kainer, K.U.**, 2006. Metal matrix composites-custom made materials for automotive and aerospace engineering, Wiley VCH-Verlag GmbH, Weinheim.
- Kang, S.J.L.**, 2005. Sintering: Densification, Grain Growth and Microstructure, Elsevier.
- Kim, Y.J, Chung, H., Kang, S.J.L.**, 2001. In situ formation of titanium carbide in titanium powder compacts by gas- solid reaction, *Composites: Part A* **32** 731-738.
- Kurt, A.O.**, 2000. Toz Metalurjisi ders notları, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- Licheri, R., Orrù R., Caoa, G.**,2004. Chemically-activated combustion synthesis of TiC–Ti composites, *Materials Science and Engineering A* **367** 185–197.
- Liu, Y.B., Lim, S.C., Lu, L. and Lai, M.O.**, 1994. Recent development in the fabrication of metal matrix particulate composites using powder metallurgy techniques. *Journal of Materials Science*, **29**, 1999-2007.
- Lui, Z.G., Guo, J.T., Ye, L.L., Li, G.G., Hu, Z.Q.**, 1994. *Formation of mechanism of TiC by mechanical alloying*, American Institute of Physics.
- Ma, F., Lua, W., Qin. J., Zhang D., Jib, B.**, 2007. *Effect of forging and heat treatment on the microstructure of in situ TiC/Ti-1100 composites*, Journal of Alloys and Compounds **428** 332–337.
- Mazumdar, S.**, 2001. Composites manufacturing: materials, product and process engineering, CRS press: Boca Raton, Florida.
- Merzhanov, A.G.**, 1990. Self propagating high temperature synthesis: twenty years of search and findings, *Combustion and Plasma Synthesis of High temperature materials*, VCH Publishers, New York.
- Miserez, A., Müller, R., Rossoll, A., Weber, L. and Mortensen, A.**, 2004. Particle reinforced metals of high ceramic content, *Materials Science and Engineering A*, **387-389**, 822-831.
- Mullendore, A. W., Whitley, J. B., and Mattox, D. M.**, 1981. Thermal Fatigue, Testing of Coatings for Fusion Reactor Applications, Thin Solid Films, **83**:79-85.
- Muscat, D.**, 1993. Titanium carbide/Aluminum composites by melt infiltration, *PhD Thesis*, McGill University, Montreal, Canada.
- Neckel, A.**, 1983. Recent Investigations on the Electronic Structure of the 4th and 5th Group Transition Metal Monocarbides, Mononitrides, and Monoxides, *International Journal of Quantum Chemistry*, **23**, pp. 1317-1353.
- Newkirk, J.W. and Kosher, R.A.**, 2004. Designing with powder metallurgy alloys, in *Handbook of Mechanical Alloy Design*, Eds. Totten, G.E., Xie, L. and Funatani, K, M. Dekker, Newyork.
- Ni, D.R., Geng, L., Zhang,J., Zheng, Z.Z.**, 2008. TEM characterization of symbiosis structure of in situ TiC and TiB prepared by reactive processing of Ti–B₄C, *Materials Letters*, **62**, 686–688.

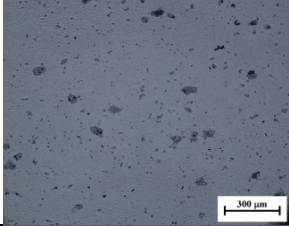
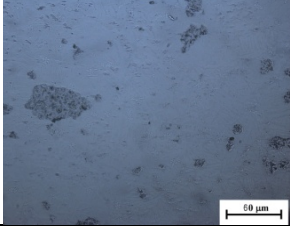
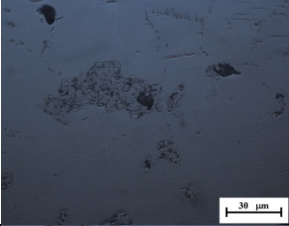
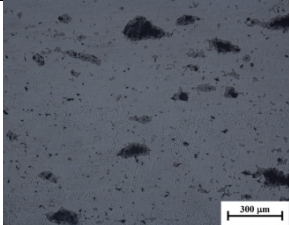
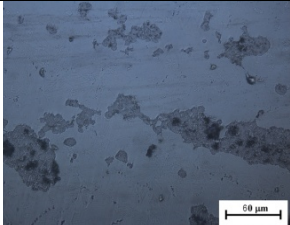
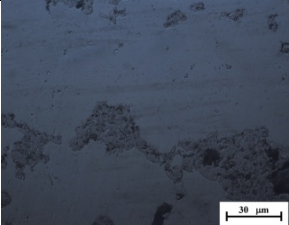
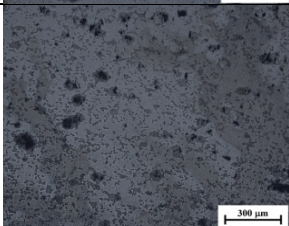
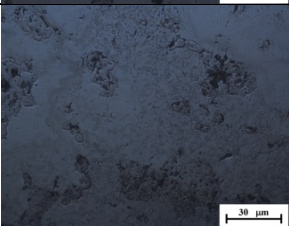
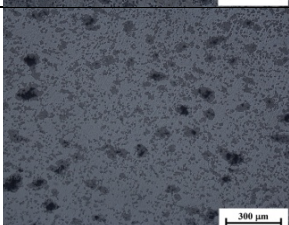
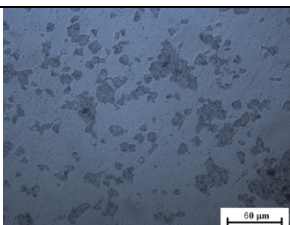
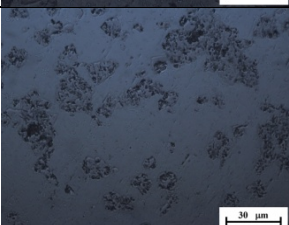
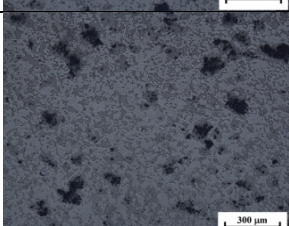
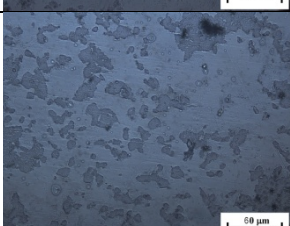
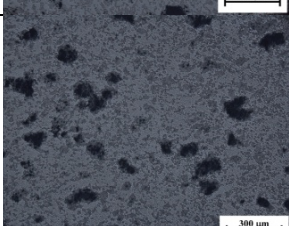
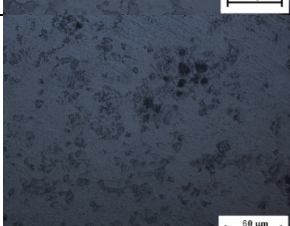
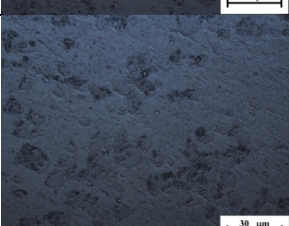
- Özgün, E. C.**, 2008. Mekanik alaşımlama yöntemiyle sentezlenen Al-TiC ve Al-Ti-C toz ve sinter kompozitlerin mikroyapısal ve fiziksel karakterizasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Pierson, H. O.**, 1993. Handbook of Carbon, Graphite, Diamond and Fullerenes, Noyes Publications, Park Ridge, NJ.
- Pierson, H. O.**, 1996. Handbook of Refractory Carbides and Nitrides: Properties Characteristics, Processing and Applications, Noyes Publications, Park Ridge, NJ.
- Quinta da Fonseca, J., Cochrane, R.F., Daymond, M.R., Mummery, P.M. and Young, R.M.K.**, 2001. Microyielding effects in high-volume fraction MMCs, *Advanced Engineering Materials*, **3**, 913-916.
- Rodriguez, J.A., Gallardo, J.M., Herrera, E.J.**, 1997. *Journal of Materials Science*, **32**, 3535-3539. 78.
- Rohatgi, P.**, 1991. Cast-aluminum-matrix composites for automotive applications, *Journal of Materials*, **43**, 10-15.
- Sarin, V. K.**, 1981. Cemented Carbide Cutting Tools, in Advances in Powder Technology, (G. Y. Chin. ed.), ASM Materials Science Seminar, ASM, Metals Park, OH.
- Sawtell, R.R., Hunt, W.H., Rodjom J., Hilinski, E.J. and Milson, J.H.**, 1996. Method of producing structural metal matrix composite products from a blend of powders, US Patent 5 561 829.
- Schwartz, M.M.**, 1984. Composite Materials Handbook, McGraw-Hill, Newyork.
- Schwartz, M.M.**, 1997. Composite Materials-Vol.2.
- Schwarzkopf, P. and Kieffer, R.**, 1953. *Refractory Hard Metals - Borides, Carbides, Nitrides and Silicides*, Macmillan, New York.
- Sıcakyüz, Ö.**, 2007. Titanyum ve titanyum alaşımlarının anodik oksidasyon davranışı ve karakterizasyonu, *Y.Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Silva A.A.M, Santos J.F., Strohaecker T.R.**, 2005. Microstructural and mechanical characterisation of a Ti6Al4V/TiC/10p composite processed by the BE-CHIP method, *Composites Science and Technology*, **65** 1749–1755.
- Song, G.M., Zhou, Y. and Wang, Y.J.**, 2003. Effect of carbide articles on the ablation properties of tungsten composites, *Materials Characterization*, **50**, 293–303.
- Stjernstoft, T.**, 2004. Machining of some difficult-to-cut materials with rotary cutting tools, *PhD Thesis*, K.T.H., Stockholm.
- Subaşı, E.**, 2005. MA Yöntemiyle W esaslı toz malzemelerin sentezlenmesi ve sinterleme davranışları, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Sundgren, J.** 1986. TiN, Atomic Arrangement and Electronic Structure, *American Institute. of Physics Conf Series No. 149*, New York.

- Şahin, Y.**, 2000. Kompozit malzemelere giriş, Gazi Kitabevi, Ankara.
- Tang, H.G., Ma, X.F., Zhao, W., Yan, X.W., Yan, J.M. and Zhu, C.J.**, 2004. Crystallization of mechanically alloyed amorphous W-Mg alloy under high pressure, *Solid State Communications*, **129**, 147-150.
- Tanrıöver, K., ve Taşçı, A.**, Ağustos 1997. Titanyum Alaşımlarının Isıl İşlemi, Makine Magazin, 58.
- Tjong, S.C. and Ma, Z.Y.**, 2000. Microstructural and mechanical characteristics of in situ metal matrix composites, *Materials Science and Engineering*, **29**, 49-113.
- Upadhyaya, G.S.**, 2000. Sintered Metallic and Ceramic Materials: Preparation, Properties, and Applications, Wiley, New York.
- Url-1** <http://www.msm.cam.ac.uk/phase-trans/2005/L7-Ti-slides_web.ppt>, alındığı tarih 23.09.2009.
- Url-2** <<http://www.ido.org.tr/default.asp?ID=702>>, alındığı tarih 05.10.2009.
- Url-3** <http://www.totaljoints.info/Titanium_Wear_Shaft.jpg>, alındığı tarih 05.10.2009.
- Url-4** <<http://www.rocw.raifoundation.org>>, alındığı tarih 21.10.2009.
- Url-5** <<http://www.emtworldwide.com/article.aspx?ArticleID=8519>>, alındığı tarih 23.10.2009.
- Url-6** <<http://www.kmm-vin.com/Research/Intermetallics/tabid/66/Default.aspx>>, alındığı tarih 23.10.2009.
- Url-7** <http://www.turktoz.gazi.edu.tr/en_makale_files/image018.jpg>, alındığı tarih 25.10.2009.
- Url-8** <<http://www.infoplease.com/periodictable.php?id=22>>, alındığı tarih 29.11.2009.
- Wang, F., Mei, J., Jiang, H., Wu, X.**, 2006. *Laser fabrication of Ti6Al4V/TiC composites using simultaneous powder and wire feed*, Materials Science and Engineering A 445–446 (2007) 461–466.
- Weimer, A.W.**, 1997. *Carbide, Nitride and Boride Materials Synthesis and Processing*, p.333, Chapman and Hall, London.
- Xu, D., Lu, W.J., Yang, Z.F., Qin, J.N., Zhang, D.**, 2005. In situ technique for synthesizing multiple ceramic particulates reinforced titanium matrix composites (TiB + TiC + Y₂O₃)/Ti, *Journal of Alloys and Compounds*, **400**, 216–221.
- Zhu S.J., Mukherji D., Chen W., Lu Y.X., Wang Z.G., Wahi R.P.**, 1998. Steady state creep behaviour of TiC particulate reinforced Ti–6Al–4V composite, *Materials Science and Engineering*, **A256**, 301–307.

EKLER

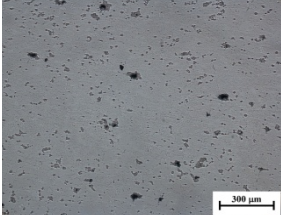
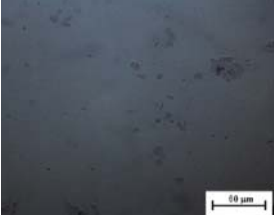
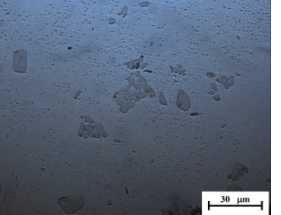
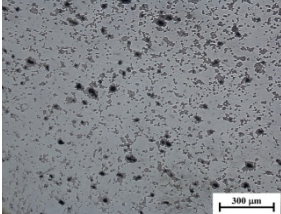
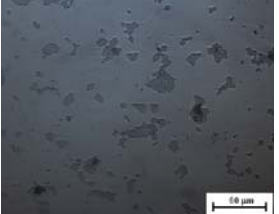
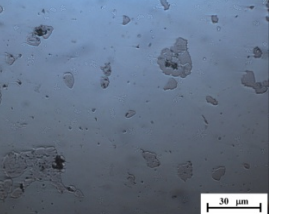
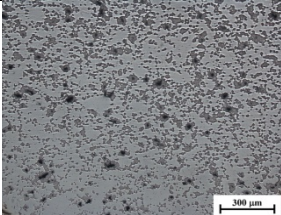
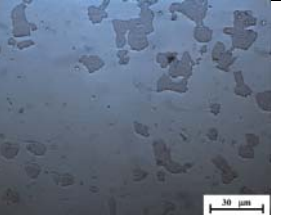
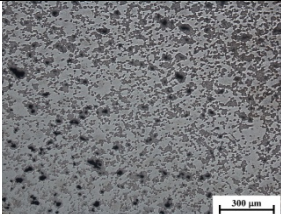
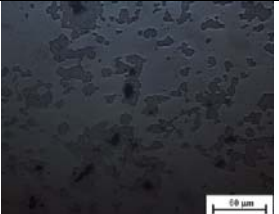
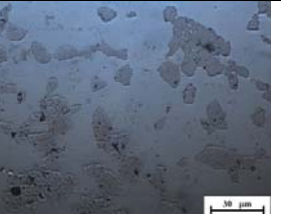
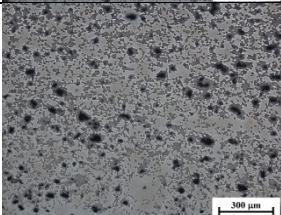
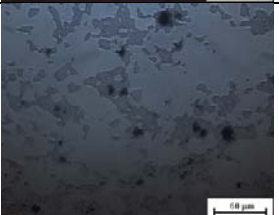
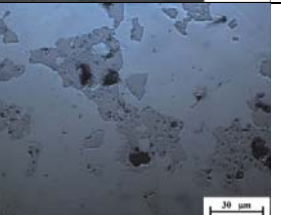
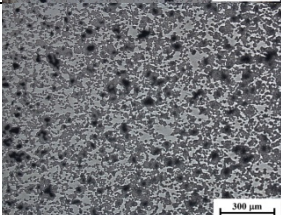
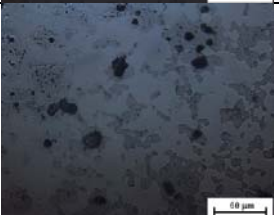
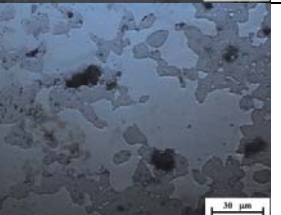
- EK A.1** : Geleneksel Sinterleme Optik Mikroskop Görüntüleri
- EK A.2** : Reaktif Sinterleme Optik Mikroskop Görüntüleri
- EK A.3** : Geleneksel Sinterleme SEM Görüntüleri
- EK A.4** : Reaktif Sinterleme SEM Görüntüleri
- EK A.5** : Yoğunluk Ölçümü Sonuçları
- EK A.6** : Sertlik Değerleri
- EK A.7** : Aşınma İzi Profilleri
- EK A.8** : Aşınma Alanı Değerleri
- EK A.9** : Geleneksel Sinterleme Aşınma İzi Görüntüleri
- EK A.10** : Reaktif Sinterleme Aşınma İzi Görüntüleri
- EK A.11** : Sürtünme Katsayısı Grafiği

EK A.1

TiC İçeriği	Geleneksel Sinterleme		
% 5			
% 10			
% 15			
% 20			
% 25			
% 30			

Şekil A.1 : Geleneksel Sinterleme Optik Mikroskop Görüntüleri

EK A.2

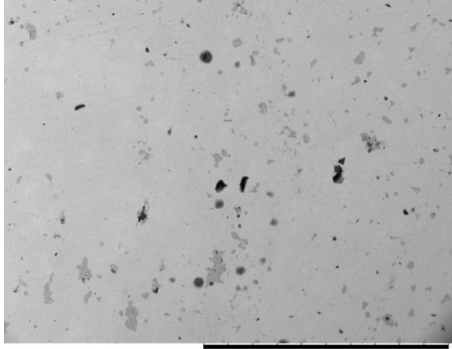
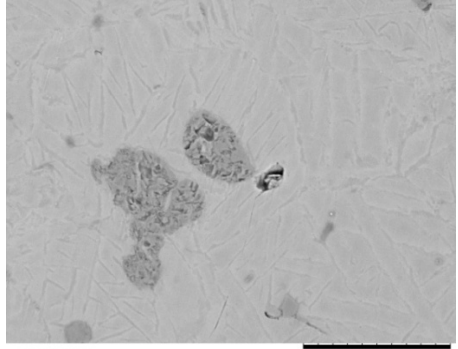
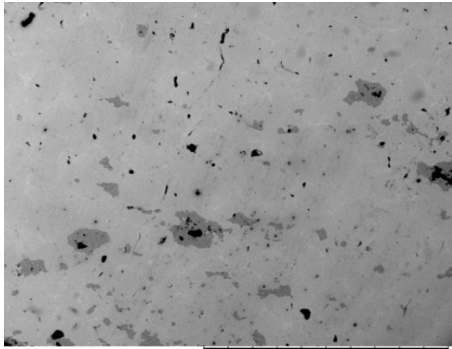
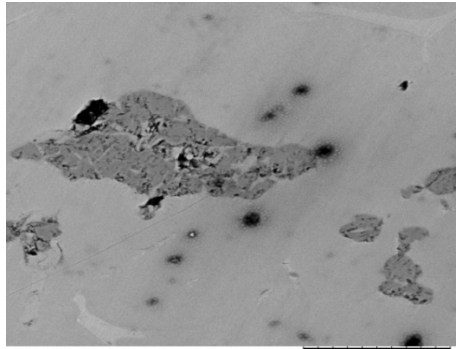
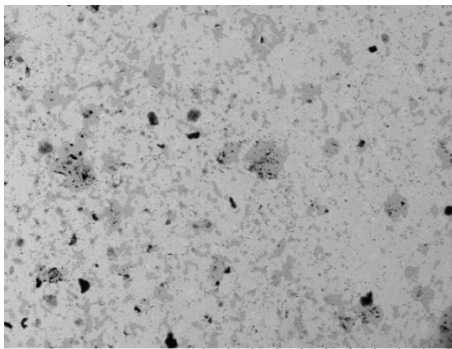
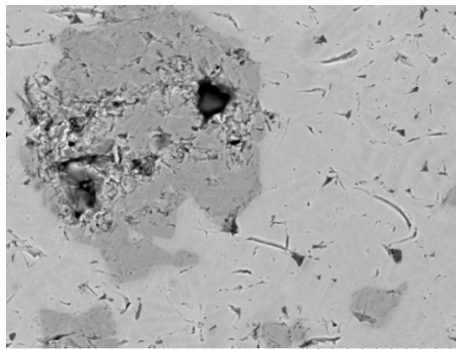
TiC İçeriği	Reaktif Sinterleme					
% 5						
% 10						
% 15						
% 20						
% 25						
% 30						

Şekil A.2 : Reaktif Sinterleme Optik Mikroskop Görüntüleri

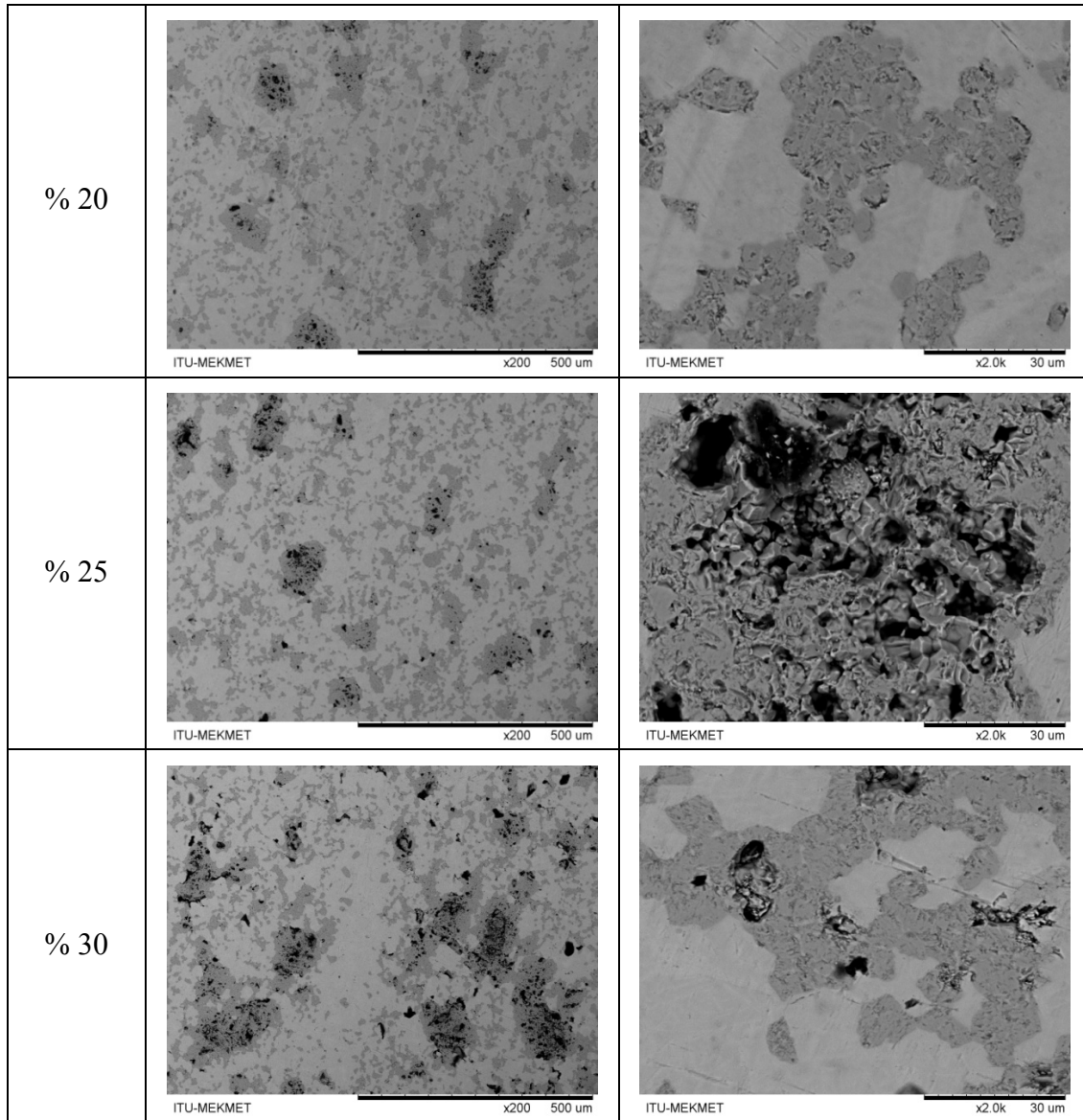


Şekil A.2 (Devam): Reaktif Sinterleme Optik Mikroskop Görüntüleri

EK A.3

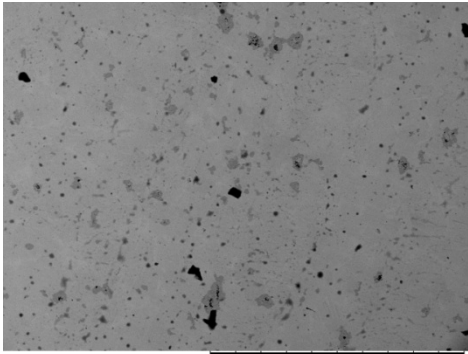
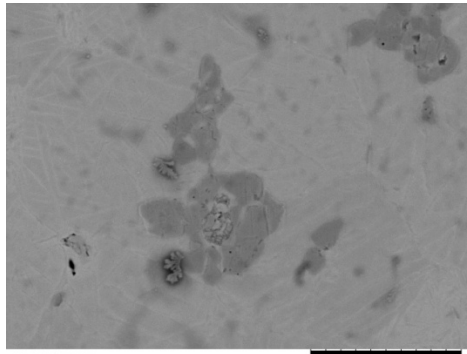
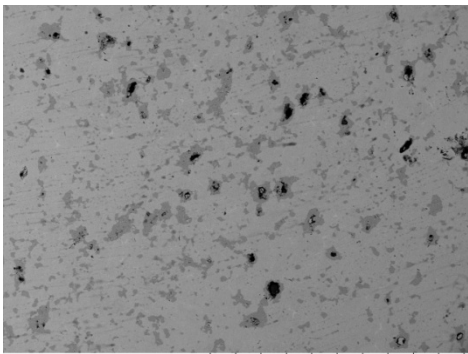
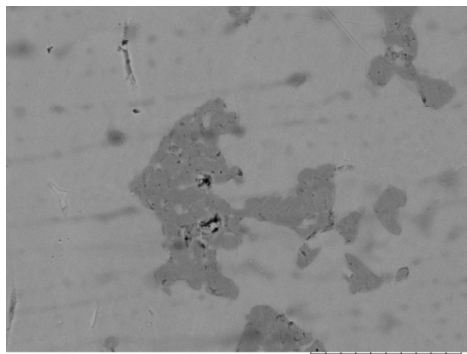
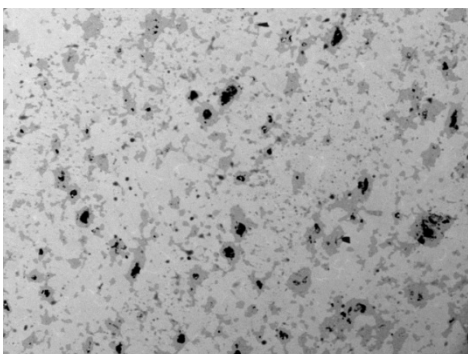
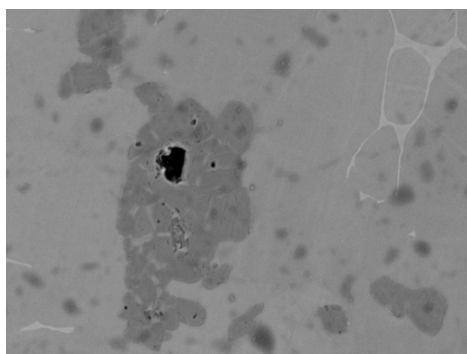
TiC İçeriği	Geleneksel Sinterleme	
% 5	 ITU-MEKMET x200 500 um	 ITU-MEKMET x2.0k 30 um
% 10	 ITU-MEKMET x200 500 um	 ITU-MEKMET x2.0k 30 um
% 15	 ITU-MEKMET x200 500 um	 ITU-MEKMET x2.0k 30 um

Şekil A.3 : Geleneksel Sinterleme SEM Görüntüleri

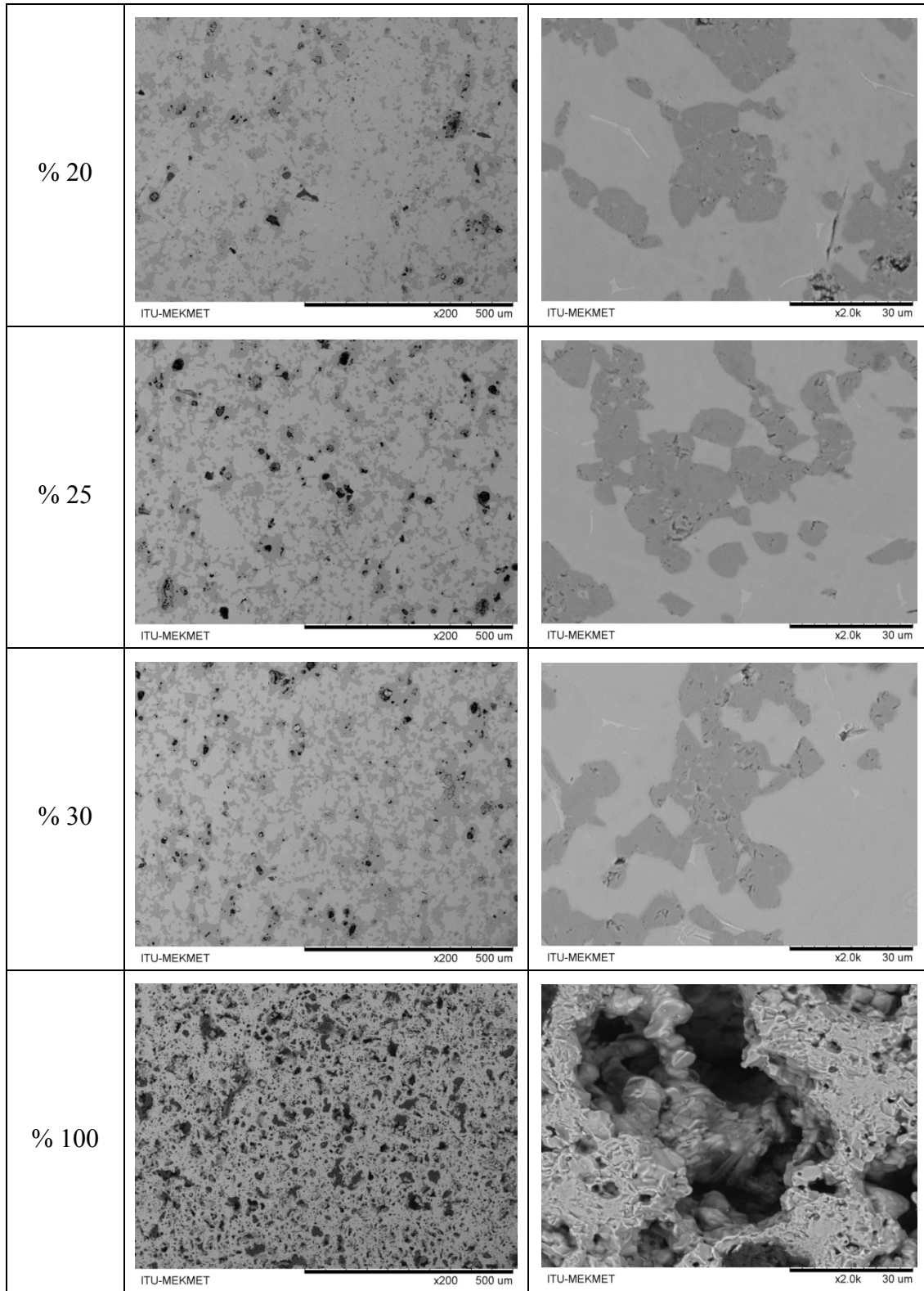


Şekil A.3 (Devam): Geleneksel Sinterleme SEM Görüntüleri

EK A.4

TiC İçeriği	Reaktif Sinterleme	
% 5	 ITU-MEKMET x200 500 um	 ITU-MEKMET x2.0k 30 um
% 10	 ITU-MEKMET x200 500 um	 ITU-MEKMET x2.0k 30 um
% 15	 ITU-MEKMET x200 500 um	 ITU-MEKMET x2.0k 30 um

Şekil A.4 : Reaktif Sinterleme SEM Görüntüleri



Şekil A.4 (Devam): Reaktif Sinterleme SEM Görüntüleri

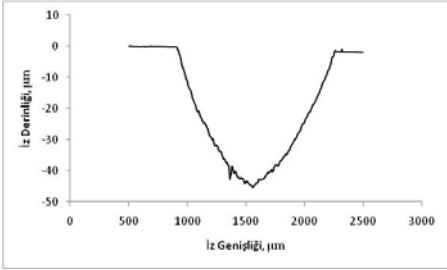
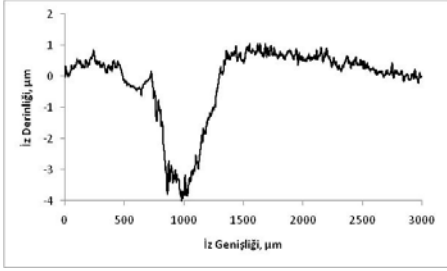
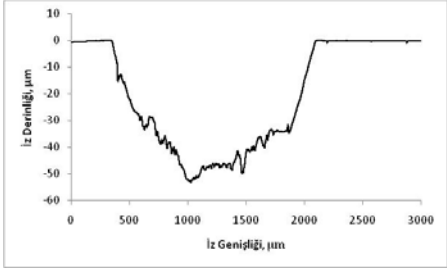
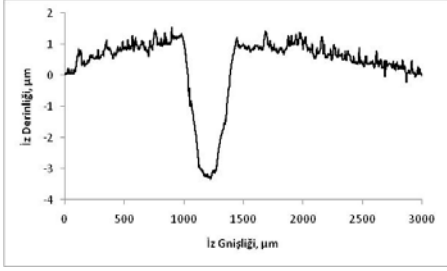
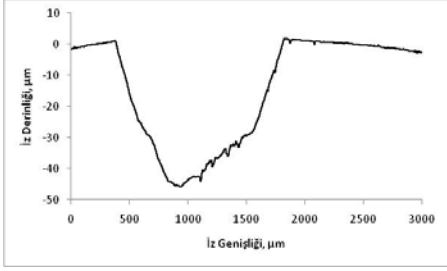
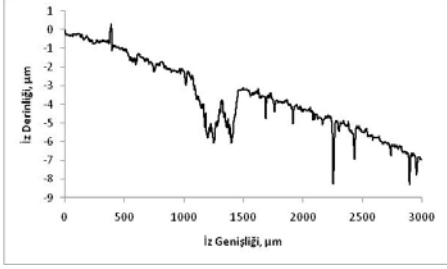
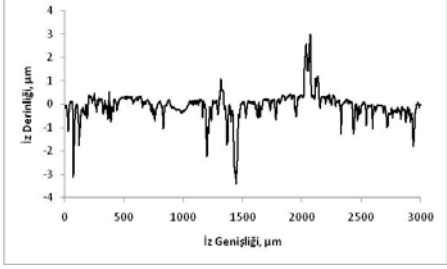
EK A.5**Çizelge A.1 : Yoğunluk ölçüm sonuçları**

	% TiC	Yoğunluk (gr/cm ³)	Teorik Yoğunluk (gr/cm ³)	Göreceli yoğunluk (%)	Porozite (%)
Reaktif Sinterleme	5	4,3694	4,51	96,9	3,1
	10	4,3436	4,53	95,8	4,2
	15	4,3388	4,55	95,4	4,6
	20	4,3227	4,57	94,6	5,4
	25	4,2636	4,59	92,9	7,1
	30	4,2315	4,61	91,8	8,2
Geleneksel Sinterleme	5	4,3614	4,51	96,7	3,3
	10	4,3562	4,53	96,2	3,8
	15	4,3462	4,55	95,5	4,5
	20	4,3349	4,57	94,9	5,1
	25	4,3062	4,59	93,8	6,2
	30	4,2080	4,61	91,3	8,7

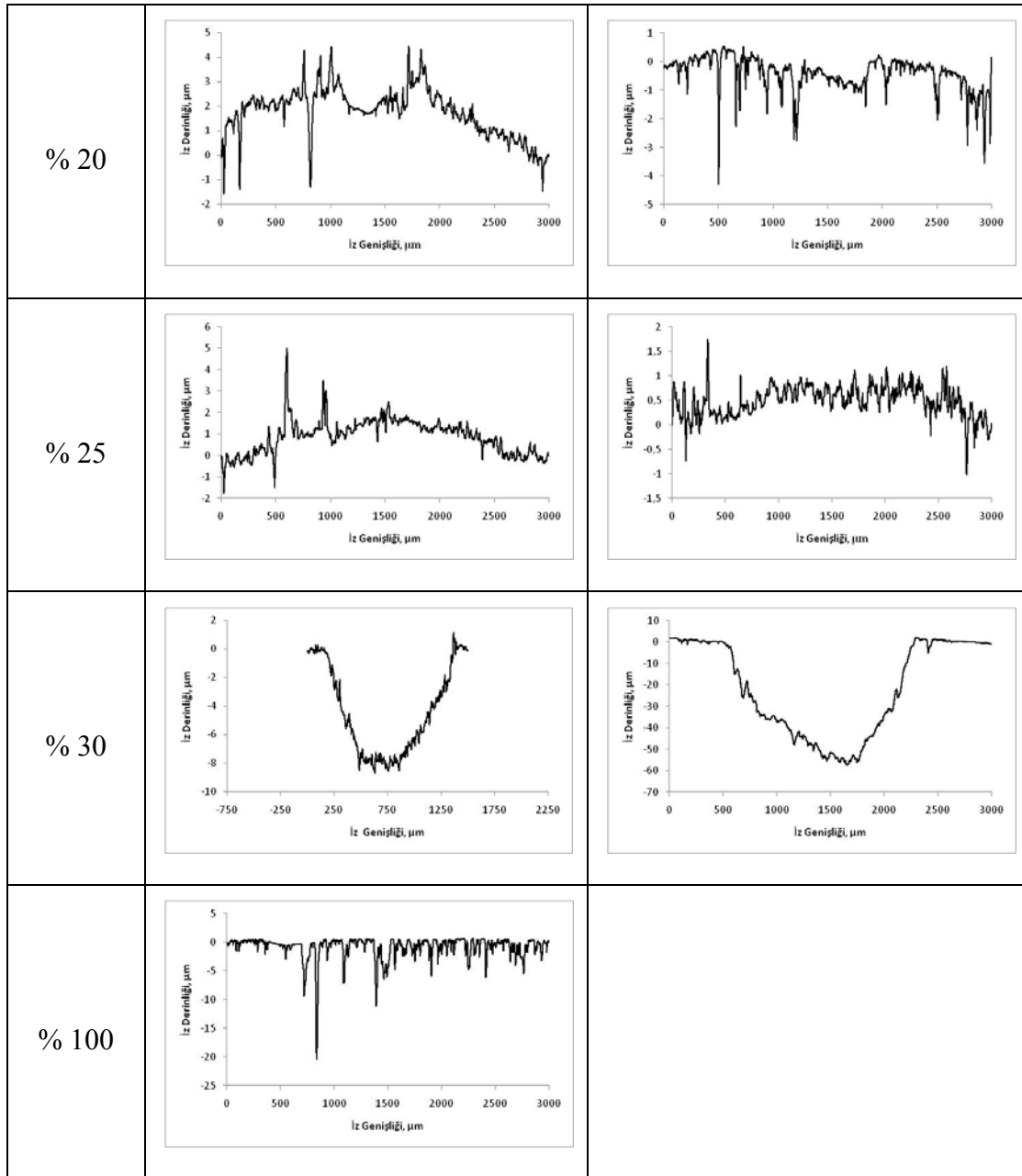
EK A.6**Çizelge A.2 : Sertlik Değerleri**

TiC İçeriği %Ağ	Geleneksel Sinterleme		Reaktif Sinterleme	
	Ortalama(Hv)	Standart Sapma	Ortalama(Hv)	Standart Sapma
5	780	75,80112	630	89,8125
10	842	40,06839	696	44,41686
15	961	42,90077	897	124,5751
20	1002	18,7032	968	109,7356
25	1118	97,90472	1059	127,6528
30	1359	44,99524	1095	68,94

EK A.7

TiC İçeriği	Reaktif Sinterleme	Geleneksel Sinterleme
% 0		
% 5		
% 10		
% 15		

Şekil A.5 : Aşınma İzi Profilleri

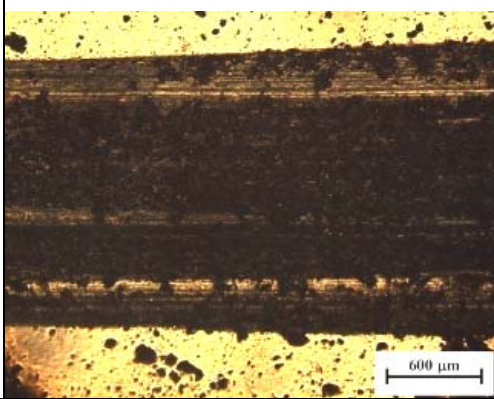
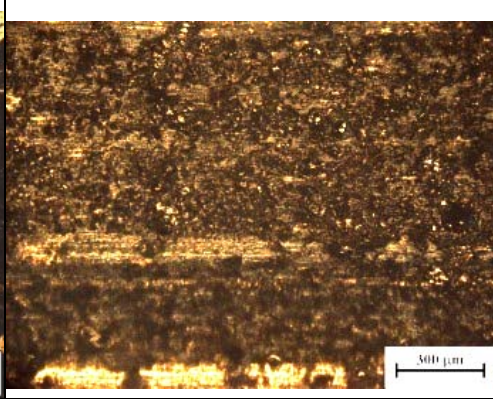
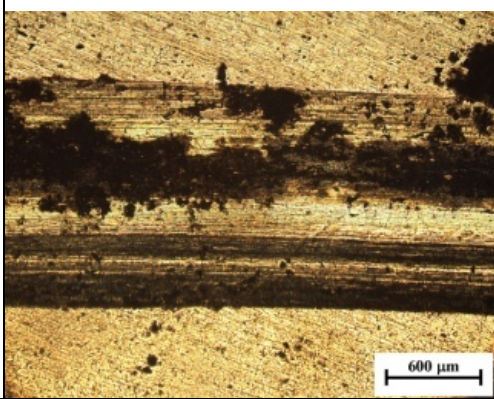
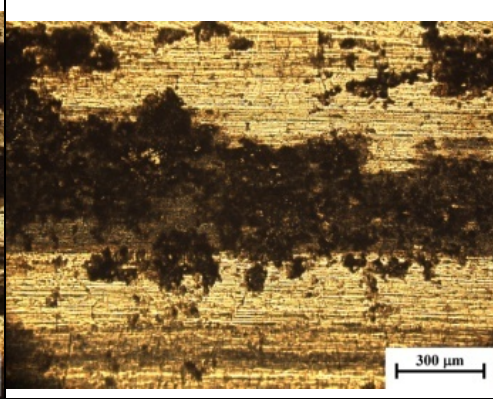
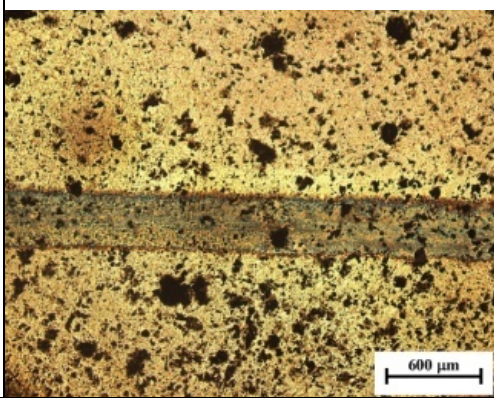
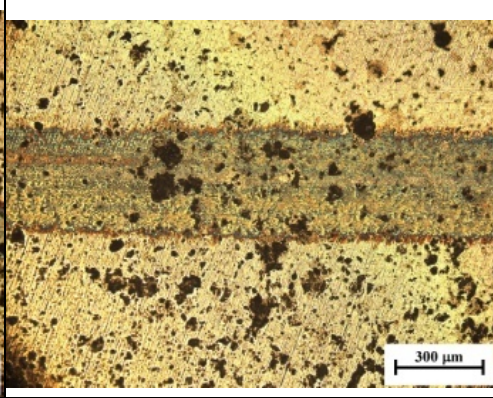


Şekil A.5 (Devam): Aşınma İzi Profilleri

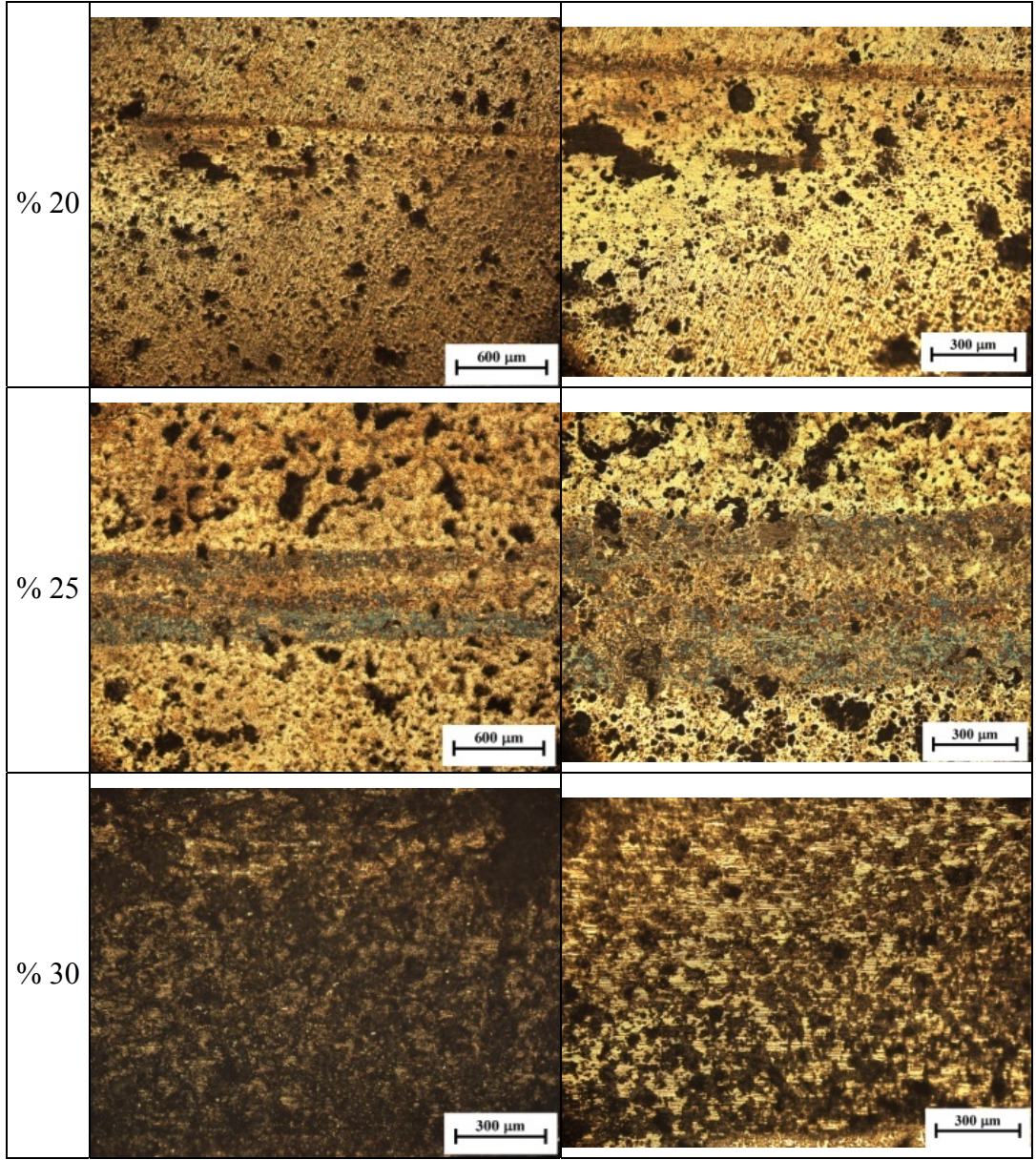
EK A.8**Çizelge A.3 : Aşınma Alanı Değerleri**

TiC İçeriği	Geleneksel Sinterleme	Reaktif Sinterleme
% 0	72585 μm^3	
% 5	68064 μm^3	3615 μm^3
% 10	51671 μm^3	2057 μm^3
% 15	536 μm^3	1197 μm^3
% 20	332 μm^3	848 μm^3
% 25	1192 μm^3	455 μm^3
% 30	67667 μm^3	7794 μm^3

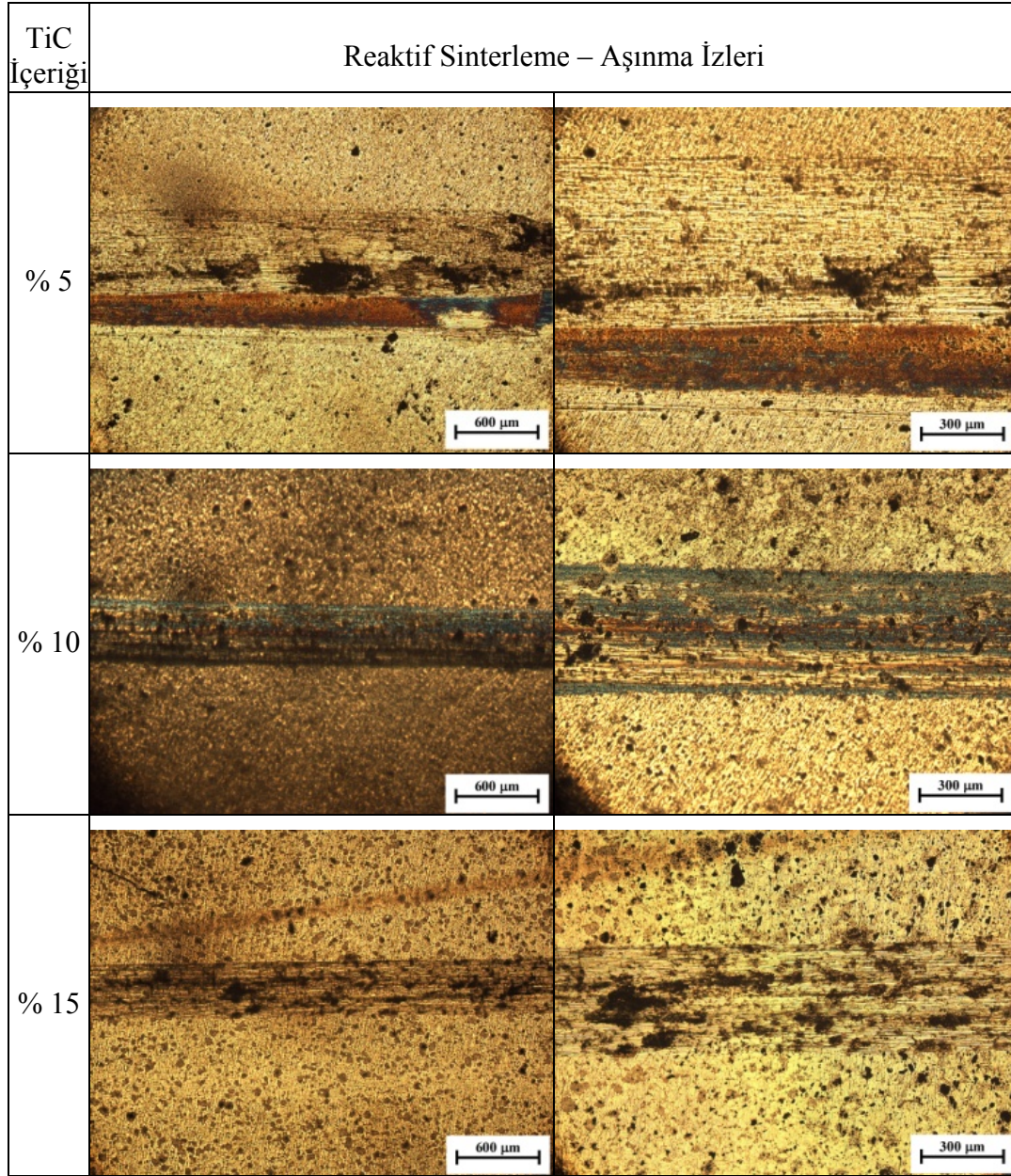
EK A.9

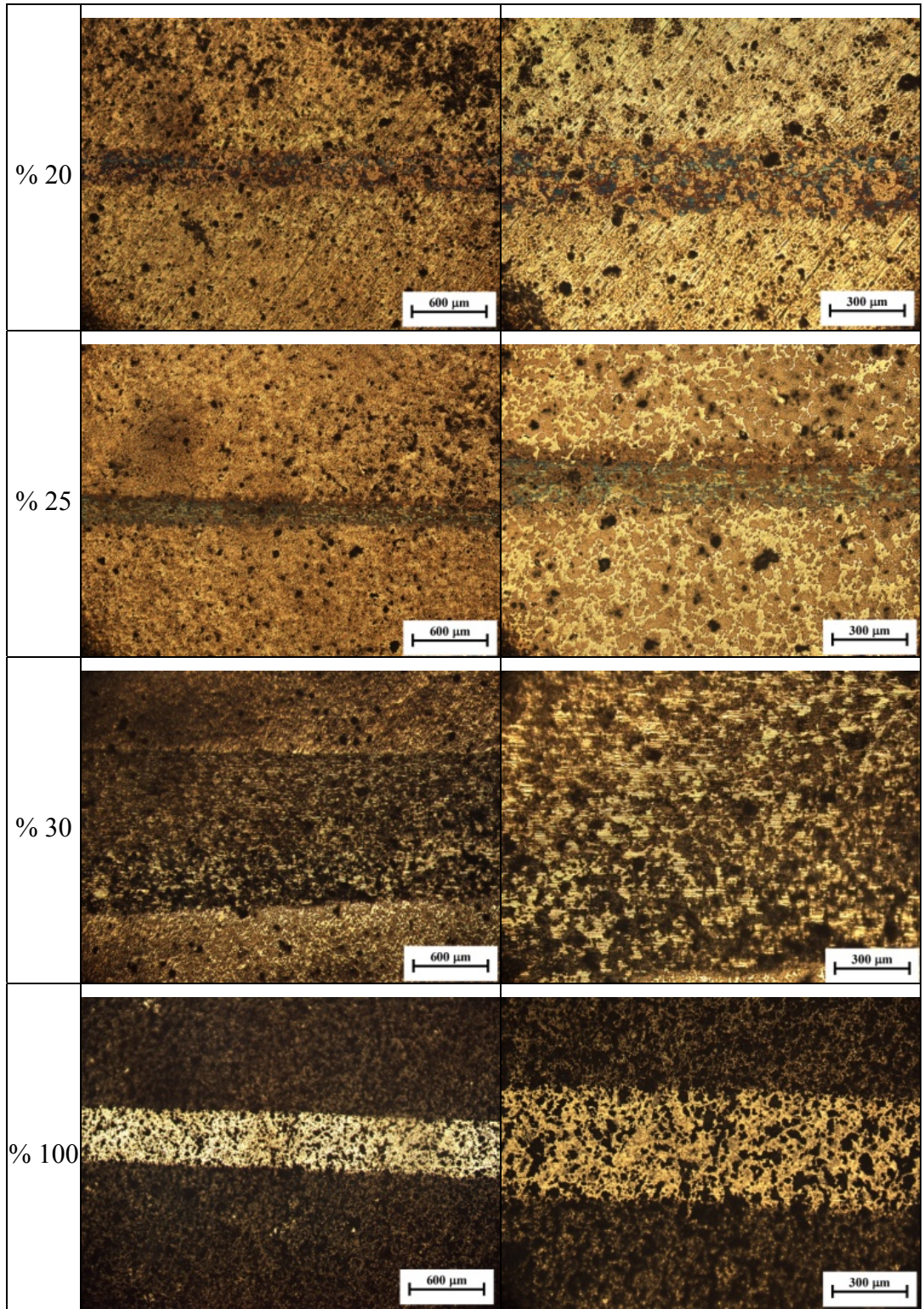
TiC İçeriği	Geleneksel Sinterleme - Aşınma İzleri	
% 5		
% 10		
% 15		

Şekil A.6 : Geleneksel Sinterleme Aşınma İzi Görüntüleri



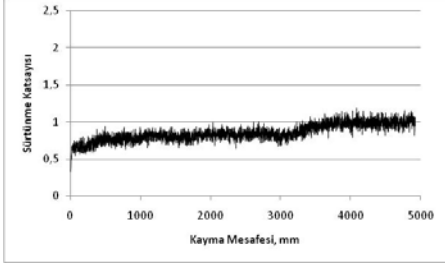
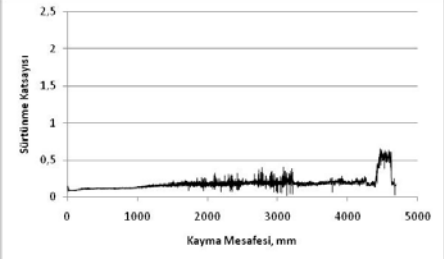
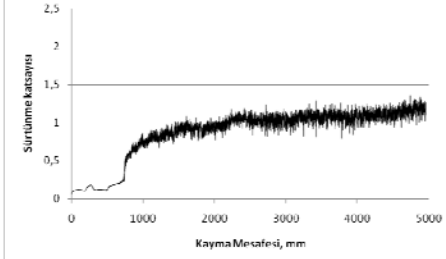
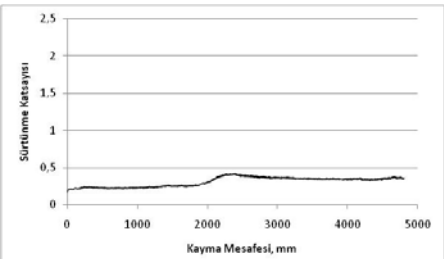
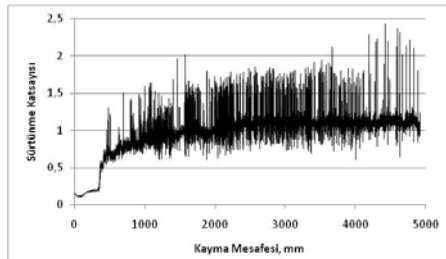
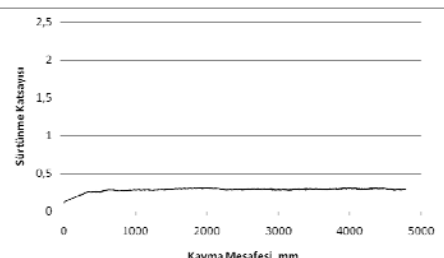
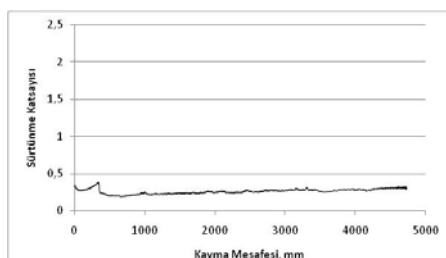
Şekil A.6 (Devam): Geleneksel Sinterleme Aşınma İzi Görüntüleri

EK A.10**Şekil A.7 : Reaktif Sinterleme Aşınma İzi Görüntüleri**

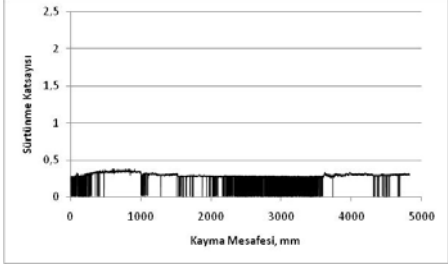
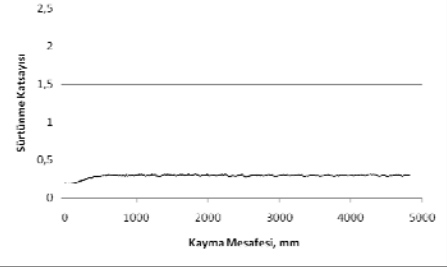
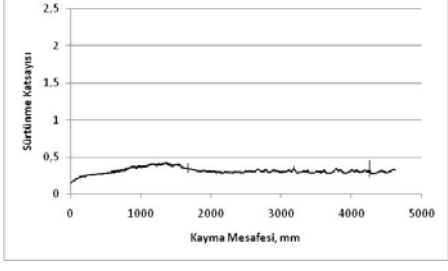
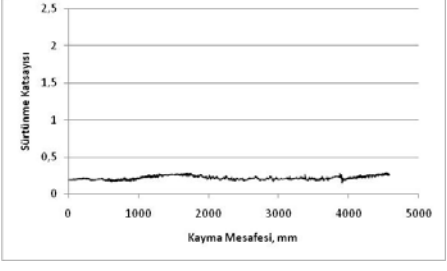
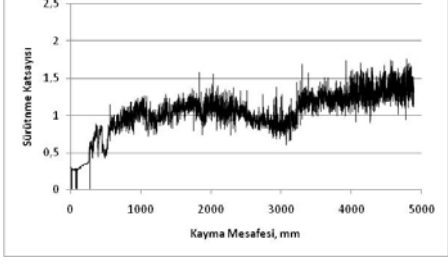
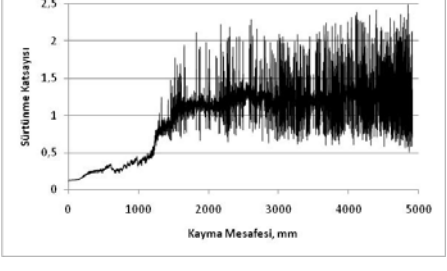
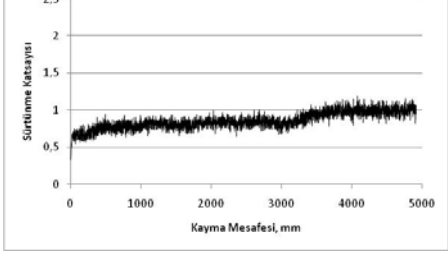


Şekil A.7 (Devam) : Reaktif Sinterleme Aşınma İzi Görüntüleri

EK A.11

TiC İçeriği	Reaktif Sinterleme	Geleneksel Sinterleme
% 0		
% 5		
% 10		
% 15		

Şekil A.8 : Sürtünme Katsayısı Grafiği

% 20		
% 25		
% 30		
% 100		

Şekil A.8 (Devam): Sürtünme Katsayısı Grafiği

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Burak Karaduman

Doğum Yeri ve Tarihi: Şişli 29/04/1985

Adres: Boğaziçi Sitesi B/8 D:15 İstinye/İstanbul

Lisans Üniversitesi: İstanbul Teknik Üniversitesi

Yayın Listesi:

- **Karaduman B.**, Meydanoğlu O., Çimenoğlu H., Kayalı E. S., Production of Titanium Carbide Reinforced Titanium Matrix Composites via Conventional Powder Metallurgy Method, *5th International Advanced Technologies Symposium*, May 13-15, 2009