

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

SiC PREFORM ÜRETİMİ

Metalurji ve Malzeme Müh. Güneş Rıza TANDOĞAN

**F.B.E. Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı Üretim Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Doç.Dr.Nilgün KUŞKONMAZ

İSTANBUL, 2009

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTIMA LİSTESİ.....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	viii
ÖNSÖZ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ VE AMAÇ.....	1
2. KOMPOZİT MALZEMELER	2
2.1 Metal Matrisli Kompozitler.....	2
2.2 Önemli Metalik Matrisler.....	2
2.2.1 Alüminyum Alaşımları	3
2.2.2 Titanyum Alaşımları	3
2.2.3 Magnezyum Alaşımları.....	3
2.2.4 Bakır	3
2.3 Metal Matrisli Kompozitlerin Kullanılan Takviye Tipleri	4
2.3.1 Sürekli Takviyeler	4
2.3.2 Viskerler	4
2.3.3 Partiküller	5
2.4 Metal Matrisli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri	5
2.4.1 Katı Hal Prosesleri	6
2.4.1.1 Toz Metalurjisi	6
2.4.1.2 Difüzyon Bağlanma	7
2.4.1.3 Yüksek Enerji-Yüksek Hız Yöntemi	7
2.4.2 Sıvı Hal Prosesleri	8
2.4.2.1 Geleneksel (Konvansiyonel) Döküm.....	8
2.4.2.2 Santrifüj Döküm	9
2.4.2.3 Sıvı İnfiltrasyonu (Lanxide Prosesi).....	10
2.4.2.4 Basınçlı Döküm	11
3. SİLİSYUM KARBÜR	13
3.1 Silisyum Karbürün Kristal Yapısı	14
3.2 Silisyum Karbürün Üretim Prosesi	15
3.3 Silisyum Karbürün Şekillendirme ve Sinterlenmesi.....	17

3.3.1	Reaksiyon Bağlı Silisyum Karbür	18
3.3.2	Sıcak Presleme ile Sinterleme	20
3.3.3	Basıncısız Sinterlenmiş Silisyum Karbür.....	20
4.	PREFORM ÜRETİM YÖNTEMLERİ.....	23
5.	PREFORM ÜRETİMİNDE KULLANILAN BAğLAYICILAR.....	30
5.1	Poli Vinil Alkol	30
5.2	Kolloidal Silika.....	31
5.3	Nişasta.....	32
5.4	Dekstrin.....	32
6.	DENEYSEL ÇALIşMALAR	33
6.1	Kullanılan Hammaddeler ve Özellikleri	33
6.1.1	Silisyum Karbür Tozu.....	33
6.1.2	Kolloidal Silika.....	34
6.1.3	Poli Vinil Alkol	34
6.1.4	Nişasta.....	34
6.1.5	Dekstrin.....	34
6.2	Deneylerde Kullanılan Cihaz ve Aletler	35
6.3	Deneylerin Yapılışı.....	39
6.3.1	Seramik Çamurun Hazırlanması ve Kurutma İşlemleri.....	39
6.3.2	Hazırlanan Numunelerin Pişirilmesi.....	42
6.3.3	Preformların Mikroyapılarının ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi	43
7.	DENEY SONUÇLARI ve İRDELEME	44
7.1	Mikroyapı İncelemeleri.....	44
7.2	Numunelerin Porozite Ölçümleri.....	48
7.3	Üç Noktadan Eğme Dayanımı Ölçümleri	53
7.4	Hazırlanan Preformlara Sıvı Alüminyumun Emdirilmesi	57
8.	SONUÇLAR	61
	ÖZ GEÇMİş.....	63

SİMGE LİSTESİ

α	Alfa
β	Beta
γ	Gamma
δ	Delta

KISALTMA LİSTESİ

PVA Poli Vinil Alkol

Şekil 2.1. Toz metalurjisi ile üretilecek alüminyum alaşımlı metal matrisli kompozit için akış diyagramı (Soboyejo ve Srivatsan, 2006)	7
Şekil 2.2 Partikül Takviyeli Metal Matrisli Kompozitler için Geleneksel Döküm(Chawla,2005)	8
Şekil 2.3 Kompozit ergiyiğinin karıştırılması (Chawla, 2005)	9
Şekil 2.4 (a)Santrifüj döküm ile üretilmiş fren diski (b) disk içindeki bölgesel mikroyapılar (1) matrisçe zengin, (2) arayüzey, (3) takviyece zengin bölge (Chawla, 2005)	9
Şekil 2.5 MMK'ların basınçsız infiltrasyonu (a) Partikül preforma alaşım matris infiltrasyonu (b) Metalik alaşım partikülleri ve seramik preforma saf matris infiltrasyonu (Chawla, 2005).....	10
Şekil 2.6 Basınçlı Döküm Prosesi (Chawla, 2005).....	11
Şekil 2.7 Basınçlı döküm metouyla üretilen SiC takviyeli 6061 alüminyum alaşımının mikroyapı fotoğrafı (Seyed Reihani, 2006).....	12
Şekil 3.1. SiC Çok tiplerinin kristal yapıları (Lee ve Rainforth, 1994).....	14
Şekil 3.2 Acheson fırının şeması (Balaban, 2005)	16
Şekil 3.3 Sıcaklığın bir fonksiyonu olarak çeşitli tiplerdeki silisyum karbürün eğme mukavemetleri (Lee ve Rainforth, 1994)	19
Şekil 3.4. B ve B ₄ C ilavesiyle sinterlenen silisyum karbürün optik mikroskopta çekilen mikroyapısı (Lee ve Rainforth, 1994).....	22
Şekil 4.1 Emme ve Presle Şekillendirme (Asthana, 1998)	23
Şekil 4.2%50 SiC-%50Al ₂ O ₃ a)poröz seramik b)öğütülmüş toz karışımı(Altinkök vd., 2003)26	
Şekil 4.3 Enine kesitler a) Pirolyze kayın b)kayın BioSiC (Wilkes vd., 2006)	27
Şekil 4.4.Ekstüzyona dik ve paralel yönlerdeki SEM mikroyapı fotoğrafları (Isobe vd., 2006)	29
Şekil 5.1 Poli Vinil Alkolün yapısı (Baklouti vd., 2001).....	30
Şekil 5.2 Kolloidal silika sentezi (Balaban, 2005)	31
Şekil 6.1 Kullanılan SiC tozlarının tane boyut dağılım grafiği.....	33
Şekil 6.2 Sartorius marka terazi.....	35
Şekil 6.3 BETTER marka partikül boyut analiz cihazı.....	35
Şekil 6.4 Velp Scientifica marka manyetik marıştırıcı	36
Şekil 6.5 Deneylerde kullanılan silikon kalıplar	36
Şekil 6.6 Ecocell MMM Medcenter Einrich Tungen GMBH marka etüv	37
Şekil 6.7 Öz tasarım marka atmosfer kontrollü fırın.	37
Şekil 6.8 AVK marka eğme cihazı	38
Şekil 6.9 JEOL marka SEM	38
Şekil 6.10 DMLM marka optik mikroskop.....	39
Şekil 6.11 Deneysel Çalışmalar İş Akışı.....	40
Şekil 6.12 Sinterlenen Numune Örnekleri	43
Şekil 7.1 Farklı oranlarda PVA içeren 1000 ⁰ C'de 3 saat pişirilmiş preformların optik mikroskop görüntüsü a) %5 PVA b) %10 PVA (100x)	44
Şekil 7.2 Farklı oranlarda PVA içeren 1000 ⁰ C'de 3 saat pişirilmiş preformların optik mikroskop görüntüsü a) %15 PVA b) %20 PVA (100x)	44
Şekil 7.3 Farklı oranlarda Dekstrin içeren 1000 ⁰ C'de 3 saat pişirilmiş preformların optik mikroskop görüntüsü a) %5 Dekstrin b) %10 Dekstrin (100x).....	45
Şekil 7.4 Farklı oranlarda Dekstrin içeren 1000 ⁰ C'de 3 saat pişirilmiş preformların optik mikroskop görüntüsü a) %15 Dekstrin b)%20 Dekstrin (100x).....	45
Şekil 7.5 PVA kullanılarak hazırlanan ve 1P20 koduna sahip preformun kırık yüzeyinden alınan SEM görüntüsü	46

Şekil 7.6 Dekstrin kullanılarak hazırlanan ve 1D20 koduna sahip preformun kırık yüzeyinden alınan SEM görüntüsü	46
Şekil 7.7 PVA kullanılarak şekillendirilen ve 1000 ⁰ C’de 3 saat pişirilen 1P20 kodlu numunenin a)üst yüzey b)kırık yüzey SEM görüntüleri	47
Şekil 7.8 Dekstrin kullanılarak şekillendirilen ve 1000 ⁰ C’de 3 saat pişirilen 1D20 kodlu numunenin a)üst yüzey b)kırık yüzey SEM görüntüleri	47
Şekil 7.9 Kodu 1P ile başlayan ve polivinil alkol kullanılarak hazırlanan numunelerin %Porozite - % PVA değişimi	49
Şekil 7.10 Kodu 1D ile başlayan yani dekstrin çözeltisi kullanılarak hazırlanan numunelerin % porozite - % dekstrin değişimi	50
Şekil 7.11 1D ve 1P kodu ile başlayan numunelerde porozite değişimleri.....	51
Şekil 7.12 1D ve 2D kodu ile başlayan numunelerin karşılaştırmalı porozite incelemesi.....	52
Şekil 7.13 1P ve 2P kodu ile başlayan numunelerin karşılaştırmalı porozite incelemesi.....	52
Şekil 7.14 1P kodu ile başlayan numunelerde mukavemet değişimi.....	54
Şekil 7.15 1D kodlu numunelerde eğme mukavemetinin %dekstrin oranına bağlı değişimi ..	55
Şekil 7.16 1P ve 2P kodlu numunelerin eğme mukavemetlerinin %PVA oranına bağlı değişimi	56
Şekil 7.17 1D ve 2D kodlu numunelerin eğme mukavemetlerinin %dekstrin oranına bağlı değişimi	57
Şekil 7.18 Sıvı alüminyum emdirme prosesinin şematik görüntüsü.	58
Şekil 7.19 Alüminyum matrisli silisyum karbür takviyeli kompozitin SEM görüntüsü	58

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Metal matrisli kompozitlerde kullanılan önemli takviyeler (Chawla, 1998).....	2
Çizelge 6.1 SiC tozlarının kimyasal bileşimi. (Akyol Taş Firma Kataloğu, 2004).....	33
Çizelge 6.2 Kolloidal silika bağlayıcının özellikleri	34
Çizelge 6.3 Polivinil alkol çözeltileri kullanılarak hazırlanan numunelerin bileşimleri	41
Çizelge 6.4 Dekstrin Çözeltileri kullanılarak hazırlanan numunelerin bileşimleri	42
Çizelge 7.1. Organik bağlayıcı kullanılarak değişik % oranlarında PVA ve Dekstrin kullanılması ile elde edilen numunelerde % porozite değerleri.....	49
Çizelge 7.2. Organik bağlayıcı olarak değişik oranlarda PVA ve Dekstrin kullanılması ile elde edilen numunelerde eğme mukavemeti değerleri	54
Çizelge 7.3 Etial 140 alaşımının bileşimi [4]	58

ÖNSÖZ

Çalışmalarım sırasında bana her türlü desteği sağlayan, bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım değerli Hocam Sayın Doç. Dr. Nilgün KUŞKONMAZ'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu projenin yürütülmesinde emeği geçen, bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan değerli Hocam Doç. Dr. Ahmet KARAASLAN'a sonsuz teşekkürler ederim.

Deneysel çalışmalarımda bana destek olan araştıma görevlileri Alptekin KISASÖZ, Kerem Altuğ GÜLER ve Zeynep TAŞLIÇUKUR'a teşekkür ederim.

Optik mikroskop incelemelerini beraber yaptığımız Uzman Polat TOPUZ'a teşekkürlerimi sunarım.

Beni bugünlere getiren ve desteklerini hiç eksik etmeyen aileme sonsuz teşekkürler ederim.

SiC PREFORM ÜRETİMİ

ÖZET

Günümüzde metal matrisli kompozitler havacılık, otomotiv, elektronik sektörlerinde ve aşınma dayanımı istenen yerlerde sıklıkla kullanılmaktadır. Metal matrisli kompozitlerin en önemli özellikleri düşük yoğunluk, yüksek mukavemet, yüksek termal iletkenlik ve yüksek yorulma dayanımıdır.

Alüminyum ve alaşımlarına, metal matrisli kompozit elde edebilmek için SiC, Al₂O₃, TiC ve B₄C gibi takviye elemanları ilave edilmektedir. Bunlardan SiC, yüksek sertliği ve kimyasal inertliği sebebiyle kullanılmaktadır.

Bu çalışmada çeşitli bağlayıcılar kullanılarak hazırlanan ve sıkıştırılmalı döküm ile metal matrisli kompozit üretim prosesinde kullanılacak preformlar üretilmiş ve bu bağlayıcıların preformların mukavemetlerine ve porozite miktarlarına olan etkileri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Silisyum karbür, Preform, Polivinil Alkol, Dekstrin

PRODUCTION OF SiC PREFORMS

ABSTRACT

Nowadays, metal matrix composites are widely used in aerospace, automotive, electronics and wear applications. The most important properties of metal matrix composites are their low density, high specific strength, high thermal conductivity and good fatigue behavior.

In order to obtain metal matrix composites, SiC, Al₂O₃, TiC and B₄C are added into aluminium and its alloys as reinforcing elements. SiC is used because of its high hardness and chemical inertness.

In this study, silicon carbide preforms to be used in metal matrix composite production process by squeeze casting method were produced by using of various binders and the effects of these binders to strength and porosity ratios of these preforms were investigated.

Key Words: Silicon carbide, Preform, Poly Vinyl Alcohol, Dextrin

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Kompozit malzemeler; iki veya daha fazla farklı özellikte malzemenin makro ölçüde bir araya getirilmesiyle üretilir. Bu tasarım kompozitin mikroyapı bileşenlerinden her birinin arzu edilen en iyi özelliklerini sisteme kazandıracak şekilde yapılmalıdır. Böylece malzemenin mekanik özelliklerinin geliştirilmesi amaçlanır. Örneğin mukavemet / yoğunluk, elektrik ve ısı iletkenlik, yorulma ömrü, aşınma direnci, korozyon direnci, yüksek sıcaklık mekanik özellikleri kompozit malzemeler belirli bir amaca en uygun özelliklere sahip malzemeler uygun tekniklerle bir araya getirilirler. Yapı bileşenlerinin farklı karakteristik özellikleri kompozit malzeme yapısında bütünleşir. Kompozit karakteri matris fazının polimer, metal veya seramik oluşuna göre isimlendirilir (Öğünç, 2005).

Metal matrisli kompozitler genellikle sıvı veya toz metalurjisi yöntemleriyle üretilirler. Partikül fazları ergiyiğin katılaşmasından önce yapıda mekanik olarak dağılmaktadır. Nihai şekle yakın metal matrisli kompozitlerin elde edilmesinde sıkıştırılmalı döküm metodu geleceği parlak olan bir metottur. Sıkıştırılmalı döküm sırasında uygulanan yüksek basınç nispeten homojen bir mikroyapı sağlamaktadır ve ergimiş metal ile takviye arasındaki bağlanmayı iyileştirmektedir. (Seyed Reihani, 2006)

Metal matrisli kompozitlerde takviye malzemesi olarak kullanılan seramiklerin en önemlileri SiC, Al₂O₃, B₄C ve TiC'dir. Şu ana kadar yapılan çeşitli çalışmalarda bu takviye malzemeleri değişik yöntemlerle matris fazına ilave edilmiş ve sonuçta metal matrisli kompozit malzemeler üretilmiştir.

Bu çalışmada metal matrisli kompozit üretim yöntemlerinden biri olan "Sıkıştırılmalı Döküm" prosesinde kullanılacak poröz silisyum karbür preformun üretilmesi amaçlanmıştır. Silisyum karbür tozları çeşitli organik ve inorganik bağlayıcılarla karıştırılmış; ardından kurutma ve pişirme işlemleri yapılmıştır. Sonuçta sıvı alüminyumun basıncına dayanacak mukavemete ve yeterli porozite oranına sahip preformlar üretilmeye çalışılmıştır.

2. KOMPOZİT MALZEMELER

2.1 Metal Matrisli Kompozitler

Metal matrisli kompozitlerin üretim ve kullanımları son 20 yılda teknolojik gelişmelerle birlikte, özellikle otomotiv endüstrisi ile uzay ve havacılık sektöründe artış göstermiştir. Metal matrisli kompozitler, tek bileşenli malzemelerle ulaşılamayan yüksek elastisite modülü, yüksek mukavemet ve yüksek aşınma direnci gibi özellikleri sağlamak üzere en az biri metal ve metal alaşımı, diğeri sürekli fiber, kılcal kristal (visker) veya partikül şeklinde SiC, TiC, B₄C ve Al₂O₃ gibi seramik takviye olmak üzere iki farklı sistemin birleşimi ile elde edilmektedir (Ahlatçı vd.,2003).

3 çeşit metal matrisli kompozit türü vardır.

- Partikül takviyeli MMK
- Kısa fiber veya visker takviyeli MMK
- Sürekli fiber veya plaka takviyeli MMK

Çizelge 2.1.'de metal matrisli kompozitlerde kullanılan önemli takviyeler ve sıkıştırma oranları (uzunluk/çap) belirtilmiştir (Chawla, 1998).

Çizelge 2.1 Metal matrisli kompozitlerde kullanılan önemli takviyeler (Chawla, 1998)

Tipi	Sıkıştırma Oranı (uzunluk/çap)	Çap, micron	Örnekler
Partikül	~1 – 4	1 – 25	SiC, Al ₂ O ₃ , BN, B ₄ C
Kısa fiber veya visker	~10 – 1000	0.1-25	SiC, Al ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃ +SiO ₂ ,C
Sürekli Fiber	>1000	3 – 150	SiC, Al ₂ O ₃ ,C,B,W

2.2 Önemli Metalik Matrisler

Çeşitli metaller ve bunların alaşımları matris malzemesi olarak kullanılabilir. Burada yaygın olan bu matrislerin önemli karakteristik özellikleri anlatılmıştır.

2.2.1 Alüminyum Alaşımaları

Alüminyum alaşımları düşük yoğunluk, mükemmel mukavemet, tokluk ve korozyon dayanımı gibi özellikleriyle havacılık sanayiinde önemli bir uygulama alanı bulmuştur. Özel olarak değinmek gerekirse Al – Cu – Mg ve Al – Zn – Mg – Cu alaşımları çökeltme sertleşmesine tabi tutulabilen en önemli alaşımlardır. Alüminyum – Lityum alaşımları da çökeltme sertleşmesine tabi tutulabilen önemli alaşımlardandır. Lityum, birincil alaşım elementi olarak ilave edildiğinde alaşımın yoğunluğunu düşürür ve elastik modülü artırır. Bu gelişmedeki en önemli kullanım alanı havacılık sektörüdür. (Chawla, 1998)

Matris malzemesi olarak alüminyum alaşımları normalde bor veya borsic (SiC kaplanmış Bor) filamentleri için kullanılmaktadır. 6061 alaşımı; 2024 veya 1100 (Saf Alüminyum) alaşımlarına göre daha sık kullanılmaktadır. 2024 alaşımı yüksek mukavemet, 1100 alaşımı üstün darbe dayanımı, 6061 ise çok iyi mukavemet ve tokluk kombinasyonu ile korozyon dayanımı sağlamaktadır (Schwartz, 1997).

2.2.2 Titanyum Alaşımları

Titanyum en önemli havacılık malzemelerinden biridir. Titanyum alaşımlarının yoğunluğu 4,3 ila 5,1 g/cm³ arasında değişmektedir ve elastik modülü 80 ila 130 MPa arasındadır. Titanyum, ergime sıcaklığının yüksekliği (1672⁰C) ve korozyon dayanımı sebebiyle havacılık uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Titanyum alaşımları jet motorlarında, türbin ve kompresör bıçaklarında, uçak gövdelerinde kullanılmaktadır. (Chawla, 1998).

2.2.3 Magnezyum Alaşımları

Magnezyum ve alaşımları çok hafif malzemeler grubundadır. Magnezyum 1.74 gr/cm³'lük yoğunluğuyla en hafif metallere biridir ve alaşımları özellikle elektronik ekipmanlarda, hava taşıtlarının vites kutularında ve elektronik testerelede kullanılmaktadır (Chawla, 1998).

2.2.4 Bakır

Bakır yüzey merkezli kübik bir malzemedir. Dökülmesi ve işlenmesi kolaydır. Matris malzemesi olarak kompozit sektöründeki en önemli uygulama alanlarından biri niobium tabanlı süperiletkenlerdir (Chawla, 1998).

Isı dönüştürücüler ve aktif olarak soğutulan paneller büyük miktarda ısıyı hızlı ve etkili bir şekilde bir noktadan diğerine transfer edebilecek şekilde dizayn edilmektedirler. Yüksek sıcaklık farkları termal gerilimlere sebep olmaktadır. Bu tarz uygulamalar için kullanılacak malzemeler yeterli termal iletkenliğe sahip olmalıdır. Fiber takviyeli bakır

matrisli kompozitler bu tarz uygulamalar için uygundur. Bakır matrise grafit fiberlerin ilavesi yoğunluğu düşürür, direngenliği artırır, kullanım sıcaklığını yükseltir ve ısıl iletkenliği etkiler (Schwartz, 1997).

2.3 Metal Matrisli Kompozitlerin Kullanılan Takviye Tipleri

2.3.1 Sürekli Takviyeler

Sürekli fiber olarak en çok kullanılan takviye malzemeleri B, Gr, Al_2O_3 ve SiC'dir. Al_2O_3 fiberler yüksek performanslı kompozitlerde kullanılmaktadır. 10 mm ölçü uzunluğuna ve 20 mikron çapa sahip $\alpha-Al_2O_3$ fiberin çekme mukavemeti 1400 Mpa'yı bulmaktadır. Silika ile kaplandığında ise çekme mukavemeti 1900 Mpa civarındadır. Bu yüksek çekme mukavemeti değerleri havada $1000^{\circ}C$ 'ye çıkıldıktan sonra da devam etmektedir.

CVD yöntemi ile elde edilen bor fiberler SiC veya B_4C ile kaplandığında yüksek sıcaklıkta bor ile metal matris arasında gerçekleşen reaksiyonlar geciktirilmektedir.

Karbon fiberler alüminyum tabanlı metal matrisli kompozitler için fiber bozulmasından dolayı uygun değildir. Bazen karbon fiberlerin CVD ile nikel veya silisyum tarafından kaplanması ıslatmanın artışına katkıda bulunmaktadır.

Al_2O_3 tabanlı sürekli fiberler yüksek saflık ve büyük tane boyutuna sahip olduğundan dolayı son derece kırılığandır ve işlenmeleri zordur fakat daha iyi kompozit özellikleri sergileyebilirler (Schwartz, 1997).

2.3.2 Viskerler

Viskerler yüksek mukavemete sahip tek kristalli kısa fiberlerdir. Teorik mukavemete yakın olan bu yüksek mukavemet dislokasyonlar gibi kristal hataların olmamasından kaynaklanmaktadır. Tek kristalli olmalarından dolayı tane sınırları da yoktur. Viskerler genellikle birkaç mikron çapa ve birkaç milimetre uzunluğa sahiptirler. Böylece sıkıştırma oranları (uzunluk/çap) 50 ila 10000 arasında değişmektedir (Chawla, 1998).

Buhar biriktirme metodu visker hazırlamada sıklıkla kullanılmaktadır. Viskerlerin yüksek sıcaklıktaki performansları diğer fiberlerden çok daha iyidir. Viskerler yüksek sıkıştırma oranına sahip süreksiz takviyelerdir. Küçük çaplarından dolayı viskerler, kırılmayı başlatacak çok az hataya sahiptirler bunun sonucu olarak da süreksiz fiberlere oranla daha mukavemtlidirler. Çizelge 2.2. bazı viskerlerin özelliklerini göstermektedir (Schwartz, 1997).

Çizelge 2.2.Bazı Viskerlerin Özellikleri (Schwartz, 1997)

	Çekme Mukavemeti kN/mm ²	Yoğunluk (g/cm ³)	Young Modülü (kN/mm ²)	Spesifik Mukavemet (kN/mm ⁻²)	Spesifik Modül (kN/mm ⁻²)
Alümina	21	3.96	430	5.3	110
Silisyum karbür	21	3.21	490	6.5	150
Grafit	20	1.66	710	12.0	430
Bor karbür	14	2.52	490	5.6	190
Silisyum nitrür	14	3.18	380	4.4	120

2.3.3 Partiküller

Partiküller en yaygın ve en ucuz takviye malzemeleridir. Çeşitli seramik partiküller için yüksek hacim oranlı takviyeler üretilmiştir. (Oksitler, karbürler, nitrürler). Çalışmalar sonucu % 20 SiC takviyesi ile akma ve çekme mukavemetinde neredeyse %20'ye varan artışlar görülmüştür. Yoğunlukta büyük bir değişme görülmemiş fakat direngenlik % 50'ye kadar yükseltilmiştir.

SiC partikül takviyeli alüminyum matrisli kompozitler aşınmaya dayanıklı malzeme olarak kullanımda iyi bir potansiyeldir. Partiküller sertlik aşınma dayanımı ve basma mukavemeti özelliklerine olumlu etki yapmaktadır. Partiküllerin en yaygın olanları Al₂O₃, B₄C, SiC, TiC ve WC'dür (Schwartz, 1997).

2.4 Metal Matrisli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri

Metal matrisli kompozitlerin üretimi temel olarak 2 ana gruba ayrılabilir:

1.Katı hal prosesleri

2.Sıvı Hal Prosesleri (Suresh vd., 1993)

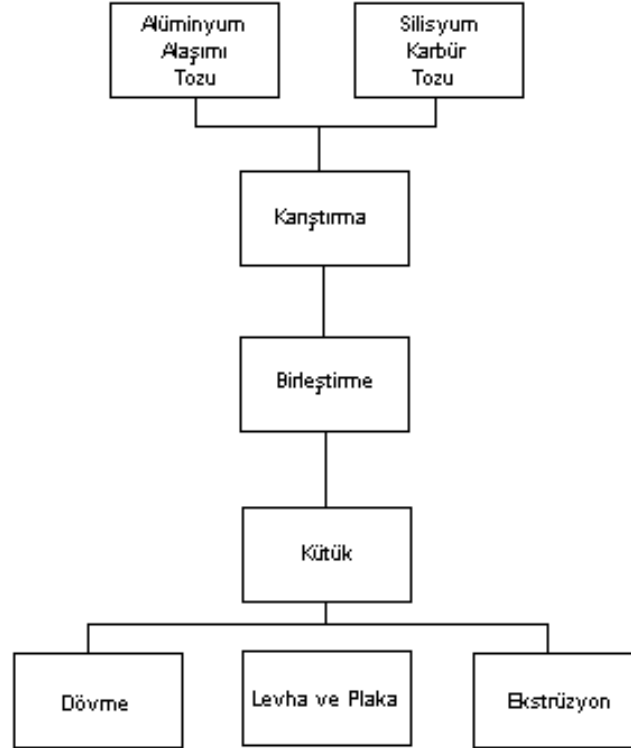
2.4.1 Katı Hal Prosesleri

2.4.1.1 Toz Metalurjisi

Katı hal prosesleri hızlı katılaştırılmış olan alaşım matris tozunun takviye ile şekil 2.1.'deki akış diyagramına göre karıştırılmasını içermektedir. Proses adımları aşağıda belirtildiği gibidir:

1. Ani katılaştırılan partiküller elekten geçirilir.
2. Takviye fazı olarak viskerler veya partiküller, matris alaşımı tozu ile hassas karıştırılır.
3. Takviye ve metal tozu karışımı teorik yoğunluğun yaklaşık %75'ine sıkıştırılır.
4. Metal tozu takviye karışımı bir kalıba yüklenir, ısıtılır, ardından gaz giderimi yapılır, en sonunda bilet haline getirebilmek için birleştirme işlemi yapılır.
5. Elde edilen bilet soğutulur, homojenize edilir ve ekstrüzyon, dövme, haddeleme gibi ikincil prosesler öncesi yüzey pürüzlülüğü giderilir.

SiC tozları geniş bir yelpazede, değişik şekillerde ve ebatlarda takviye malzemesi olarak kullanılabilir. En uygun SiC partikül boyutu seçimi, SiC partikül boyutunun, metal tozunun partikül boyutuna oranı ile bulunmaktadır. Düşük, orta ve yüksek mukavemet değerlerine sahip çeşitli matris alaşımları üzerinde çalışılmıştır. En popüler olanlar ise yaşlanma sertleşmesine sahip 2XXX (2124) ve 6XXX (6061-6092) serileridir. Bunların dışında 7090, 7091, yüksek sıcaklık Al-Ce-Fe alaşımları ve Al-Li-Cu-Mg hafif alaşımları üzerinde çalışılmıştır. (Soboyejo ve Srivatsan, 2006)



Şekil 2.1. Toz metalurjisi ile üretilcek alüminyum alaşımlı metal matrisli kompozit için akış diyagramı (Soboyejo ve Srivatsan, 2006)

2.4.1.2 Difüzyon Bağlanma

Bu yöntemde metal veya alaşım folyoları arasında takviye tekli flemanları veya blokları kullanılarak gerçekleştirilir. Metal veya takviyenin yapışma yüzeyleri metalografik düzeyde polisaj yapılır. Polisajdan sonra SiC ve Al, aseton veya etanol içerisinde ultrasonik olarak temizlenir. Yüzey temizliği difüzyon bağlamada çok önemli olduğundan, değişik kimyasallar içerisinde gerekli yüzey temizliği sağlanmaya çalışılır. Ergime sıcaklığının altında 50 MPa basınçta 2 saat bekletme, daha sonra fırında soğutma ile işlem gerçekleştirilmektedir. (Koçer, 2002)

2.4.1.3 Yüksek Enerji-Yüksek Hız Yöntemi

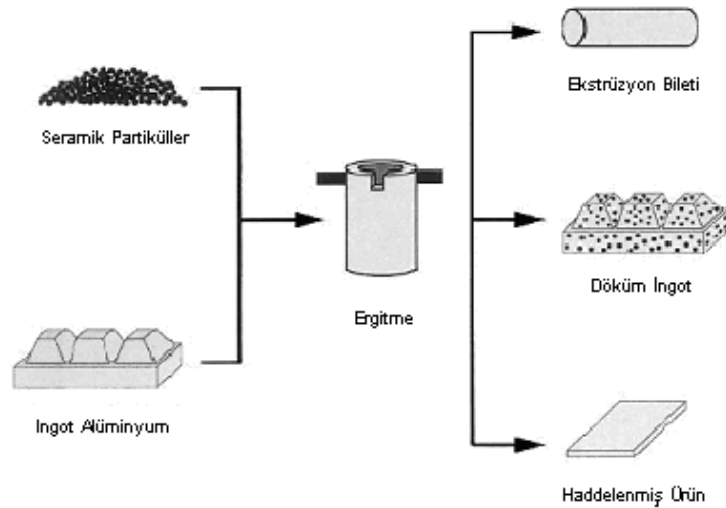
İnce seramik partikül dağılımı içeren metal tozların bir araya getirilmesi için başarıyla kullanılan yöntem, “yüksek hız-yüksek enerji” yöntemi olarak bilinmektedir. Bu yöntemde, metal – seramik takviye karışımı, kısa zaman periyodu içerisinde yüksek enerji uygulanması ile elde edilmektedir. Hem mekanik enerji hem de yüksek elektriksel enerji kaynaklarının, metal matris kompozitlerin üretiminde başarılı bir şekilde kullanılabileceği ifade edilmektedir. Yüksek enerji-yüksek hız, kalıp içerisindeki iletken tozların hızlı ısınmasını

sağlamaktadır. Belirli bir sıcaklıkta kısa süreli işlem, faz dönüşümleri ve tane kabalaşmasının kontrolünü sağlamaktadır. Yüksek enerji-yüksek hız yöntemi Al-SiC kompozitlerinin üretiminde başarıyla kullanılmaktadır. (Koçer, 2002)

2.4.2 Sıvı Hal Prosesleri

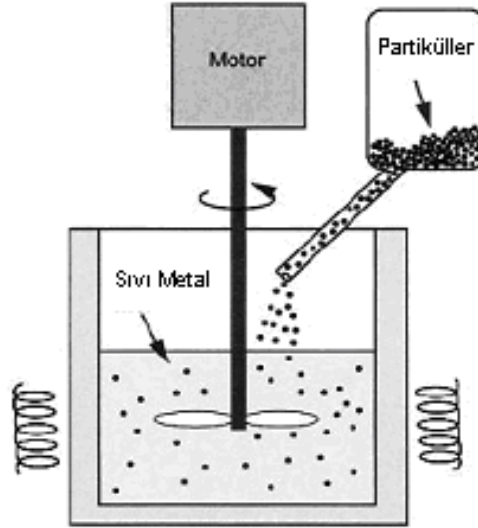
2.4.2.1 Geleneksel (Konvansiyonel) Döküm

Metal matrisli kompozitlerin dökümü, metalik alaşımların dökümünde kullanılan geleneksel ekipmanlar kullanılarak da başarılabilir. Fiber preformların basınç olmadan dökümünün zor olması sebebiyle genellikle partikül takviyesi kullanılır. Partikül ve matris karışımı ingot dökülür veya ekstrüzyon, haddeleme gibi ikincil prosesler kompozite uygulanır. Şekil 2.2 geleneksel döküm adımlarını göstermektedir. (Chawla, 2005)



Şekil 2.2 Partikül Takviyeli Metal Matrisli Kompozitler için Geleneksel Döküm(Chawla,2005)

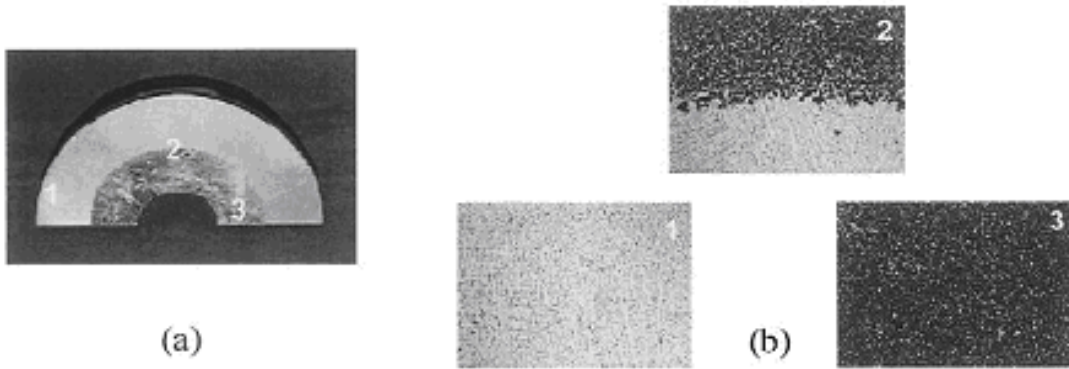
Kompozit ergiyiğini karıştırmak genellikle gerekebilir. Silisyum karbürün yoğunluğu alüminyumun yoğunluğundan fazladır dolayısıyla karıştırma olmadıkça partiküller dibе çökecektir. Magnetik bir alan içerisindeki alternatif akım ve mekanik vibrasyon, ıslatmayı ve sıvı matris içindeki takviyenin geçirgenliğini arttırmak için uygulanmaktadır. (Chawla, 2005)



Şekil 2.3 Kompozit ergiyiğinin karıştırılması (Chawla, 2005)

2.4.2.2 Santrifüj Döküm

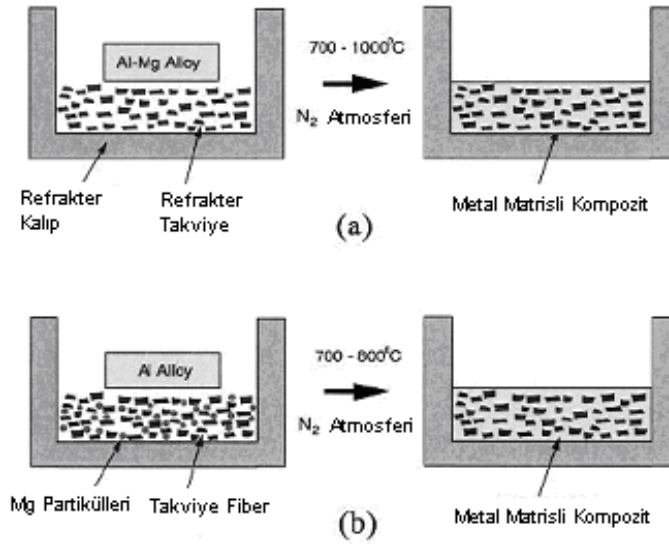
Seramik takviyeli metal matrisli kompozitlerin en önemli dezavantajlarından biri takviyesiz alaşımlara göre daha zor işlenebilmeleridir. Santrifüj dökümde takviye malzemesinin ideal konumu döküm sırasında merkezkaç kuvvetiyle elde edilir. Örneğin fren disklerinde disk yüzeylerinde aşınma dayanımına ihtiyaç duyulur fakat merkezinde duyulmaz. Böylece göbek kısmı gibi takviye malzemesinin çok önemli olmadığı bölgelerde malzemenin işlenmesi kolaylaşacaktır. Şekil 2.4 santrifüj döküm ile üretilmiş fren diskinin alüminyum matris alaşımı, arayüzey bölgesi ve takviye bölgesi gibi değişik noktadaki mikroyapılarını göstermektedir. (Chawla, 2005)



Şekil 2.4 (a) Santrifüj döküm ile üretilmiş fren disk (b) disk içindeki bölgesel mikroyapılar (1) matrisçe zengin, (2) arayüzey, (3) takviyece zengin bölge (Chawla, 2005)

2.4.2.3 Sıvı İnfiltrasyonu (Lanxide Prosesi)

Bu proseste partikül veya fiberler saf alüminyum veya alüminyum magnezyum alaşımı ile doldurulur. Bu proseste alaşım matrisler de elde edilebilir. Örneğin saf alüminyum kullanıldığında seramik takviye partiküllerine magnezyum ilavesi yapılarak alüminyum – magnezyum matris elde edilebilir. Bu proses arayüzey reaksiyonlarını minimuma indirmek için N_2 atmosferinde gerçekleştirilir. Saf alüminyum infiltre edildiğinde infiltrasyon sıcaklığı $700 - 800 ^\circ C$ arasındadır. Al – Mg alaşımı kullanıldığında ise infiltrasyon sıcaklığı $700 - 1000 ^\circ C$ civarındadır. Tipik infiltrasyon oranları 25 cm/h 'den azdır. (Chawla, 2005)

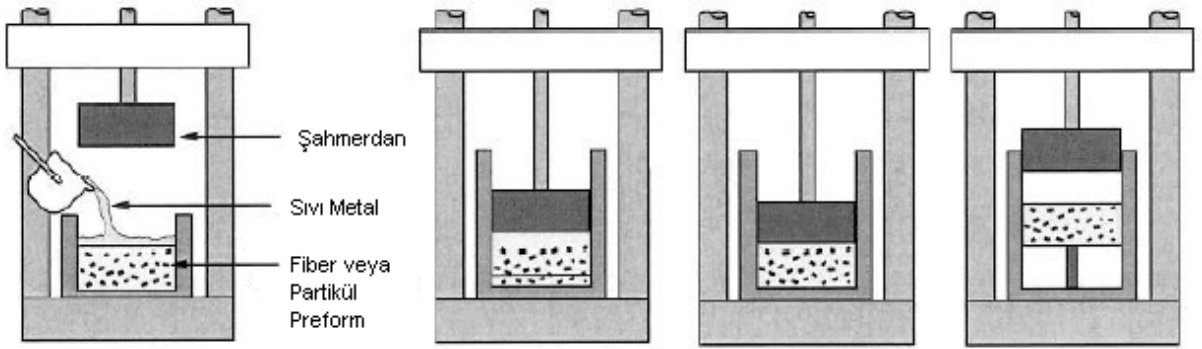


Şekil 2.5 MMK'ların basınçsız infiltrasyonu (a) Partikül preforma alaşım matris infiltrasyonu (b) Metalik alaşım partikülleri ve seramik preforma saf matris infiltrasyonu (Chawla, 2005)

Pech-Canul ve diğerleri (2000) SiC preformların alüminyum alaşımları tarafından basınçsız infiltrasyonu ile ilgili çalışmalar yapmışlardır ve magnezyum ve silisyumun SiC preformların infiltre edilmesinde en önemli alaşım elementleri olduklarını belirtmişlerdir. Her iki element de ergime noktasını düşürmekte ve sıvı alüminyumun akışkanlığını arttırmaktadır. Bunlara ek olarak metal matrisli kompozitlerin üretiminde silisyum, Al_4C_3 ve Al_4SiC_3 formasyonunu geciktirmektedir. Her iki karbür de mekanik özelliklere zarar vermektedir. Yaptıkları deneysel çalışmalarda %50 veya %60 porozite içeren SiC preformlar hazırlamışlardır. Preformların basınçsız infiltrasyonunu da $1235^\circ C$ sıcaklıkta, 45 veya 60 dakika ultra yüksek saflıkta azot ortamında gerçekleştirmişlerdir.

2.4.2.4 Basınçlı Döküm

Basınçlı döküm veya basınçlı infiltrasyon sıvı metal matrisin kısa fiber veya partikül preforma basınç ile sokulmasıyla başlar. Bu metodun geleneksel döküm yöntemlerine göre temel avantajları proses süresinin daha kısa olması, kompleks şekillerde parçaların üretiminde kolaylık, kalıntı porozitelerin veya büzülme sonucu oluşan kaviteelerin uygulanan basınç sebebiyle minimuma indirilebilmesi ve takviye ile matris arasındaki arayüzey reaksiyonlarının minimuma indirilebilmesi sayılabilir. İnfiltrasyon başlamadan önce takviye preform mutlaka hazırlanmalıdır.

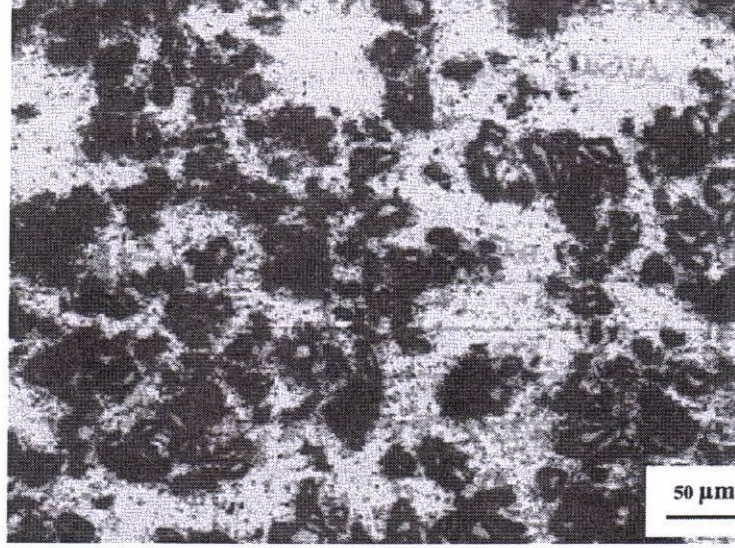


Şekil 2.6 Basınçlı Döküm Prosesi (Chawla, 2005)

Preformun doldurulabilmesi için ergiyik metal mutlaka düşük vizkoziteye ve iyi ıslatabilirliğe sahip olmalıdır. Sıvı infiltrasyonu prosesinin şematik görünüşü şekil 2.6'da gösterildiği gibidir. Takviye preform bir kalıbın içine konular, daha sonra sıvı metal önceden ısıtılmış kalıba dökülür. İnfiltrasyon işlemi basınçlı inert gaz kullanılarak veya mekanik bir kuvvetle gerçekleştirilir. Genellikle uygulanan basınçlar 70 – 100 Mpa civarındadır. Preform sıcaklığının matrisin likidüs sıcaklığından düşük olması genellikle istenen bir olaydır. Bunun nedeni de arayüzey reaksiyonlarını minimize etmek ve iyi bir matris tane boyutu elde etmektir. (Chawla, 2005)

Seyed Reihani (2006) %30 oranda SiC içeren Al6061 matrisli kompozitler hakkında çalışmalar yapmıştır. Ortalama partikül boyutu 16 ve 22 mikron arasında değişen SiC partikülleri bağlayıcı olarak kolloidal silika ile karıştırılmış ve 20mm yüksekliğe, 100mm çapa sahip kalıba dökülmüştür. Ardından 120⁰C'de 24 saat kurutma işlemi yapılmış ve 1000⁰C'de 4 saat sinterleme işlemi uygulanmıştır. Sonuçta %70 oranda poroziteye sahip bir preform üretilmiştir. Preform ve içine konulduğu kalıp 300⁰C'ye ısıtılmış ve 800⁰C sıcaklığa sahip alüminyum alaşımı kalıba boşaltılmıştır. Hidrolik pres ile 100Mpa basınç uygulanarak

kompozit malzeme elde edilmiştir. Elde edilen bu kompozit 530⁰C'de 3 saat homojenize edilmiştir. Mekanik testler ve mikroyapı araştırmasından önce T6 ısıtım prosedürüne göre 557⁰C'de 2 saat çözeltiye alma tavlama uygulanmış, ardından su verme işlemi uygulanmış ve 175⁰C sıcaklıkta yaşlandırma yapılmıştır.



Şekil 2.7 Basınçlı döküm metoduyla üretilen SiC takviyeli 6061 alüminyum alaşımının mikroyapı fotoğrafı (Seyed Reihani, 2006)

Partikül takviyeli metal matrisli kompozitlerin üretimindeki en önemli faktör takviyenin homojen dağılmasıdır. Böylece mikroyapı görüntüleri kompozitin kalitesini anlamada fikir vermektedir. Şekil 2.7 basınçlı döküm metodu ile üretilmiş %30 hacim oranında SiC takviyeli 6061 alüminyum alaşım matrisli kompozitin mikroyapısını göstermektedir. Koyu renk bölgeler SiC partiküllerini temsil etmektedir. İkinci faz partiküllerinin matris fazı içinde homojen dağılımı göze çarpmaktadır (Seyed Reihani, 2006).

3. SİLİSYUM KARBÜR

Silisyum Karbür ilk defa E.J.Acheson tarafından 1891'de elde edilmiştir. Kil ve toz haline getirilmiş karbon 1600 °C'nin üzerinde karbon arkı kullanılarak karıştırılıp ısıtılmıştır. Suni elmas elde etmeye çalışan çalışan Acheson, soğuyan eriyiğin küçük ve sert kristaller halinde şekillendiğini fark etmiştir. İlk olarak Acheson bunun hammaddeden kaynaklanan Karbon-Alümina temelli bir bileşik olduğunu düşünerek Carborundum ismini vermiştir. Daha sonra silisyum karbür keşfedilmiş ama Carborundum ismi de abrazif ve refrakter konusunda kullanılmaya devam edilmiştir. Silisyum karbürün büyük bölümü Acheson prosesinden elde edilmektedir fakat yüksek saflıktaki fiber üretimi, plaka, toz ve ince film gibi yeni yöntemler de geliştirilmeye çalışılmaktadır. Silisyum karbür yıllık üretimi 700.000 ton olan ve en çok kullanılan oksit olmayan seramik malzemedir. Yüksek sertliği ve refrakterlik özelliği ile geniş kullanım alanı bulmaktadır. Silisyum karbürün temel kullanım alanı metalik olmayan ve demirdışı malzemelerin aşındırılması ve bileylenmesidir. Silisyum karbürden daha sert malzemeler olmasına rağmen bu malzemelerden hiçbiri konkoidal kırılma moduna sahip değildir ki bu da silisyum karbürü kendinden-keskin bir abrazif yapar. Silisyum karbür yüksek termal iletkenliği, kimyasal inertliği, ergiyik metal ve cüruf tarafından düşük ısılatılabilme özelliği ve yüksek dekompozisyon sıcaklığından dolayı kullanışlı bir refrakter malzemedir. Silisyum karbürün elektriksel özellikleri ısıtma elementi olarak da kullanılabileceğini göstermektedir. Aynı zamanda ultra-saf ve katkı maddesi ilave edilmiş hali de diotlarda, yarı iletken ve transistor uygulamalarında da kullanılmaktadır. Silisyum karbürün diğer ana kullanım alanı ise demir çelik metalurjisinde silikon ve karbür ilavesi şeklindedir. Kimya endüstrisinde de boru ve pompa bileşeni olarak; HF ve NaOH gibi korozif sıvıların olduğu yerlerde kullanılmaktadır. Otomotiv uygulamaları ise hala geliştirilmektedir. (Lee ve Rainforth, 1994)

Sahip olduğu birçok özellekle, karmaşık mühendislik şekillerinde, silisyum karbür, tungsten karbür yerine çekici bir aşınma direnci uygulayıcısı olarak kullanılmaya başlamıştır. Silisyum Nitrürle kıyaslandığı zaman, silisyum karbürü elde etmek için kullanılan hammaddeler daha ucuzdur ve sonuç olarak elde edilen ürünlerdeki maliyetler tungsten karbürden düşük olduğu için rekabet koşulları yüksektir. (Öğünç, 2005)

3.2 Silisyum Karbürün Üretim Prosesi

Bol miktarda silisyum karbür üretimi Acheson prosesi ile gerçekleşir. Bu proseste yüksek saflıktaki silis ve petrol koku aşağıdaki reaksiyona göre elektrik dirençli fırında reaksiyona girerek silisyum karbür meydana gelir. (Geçkinli, 1991)

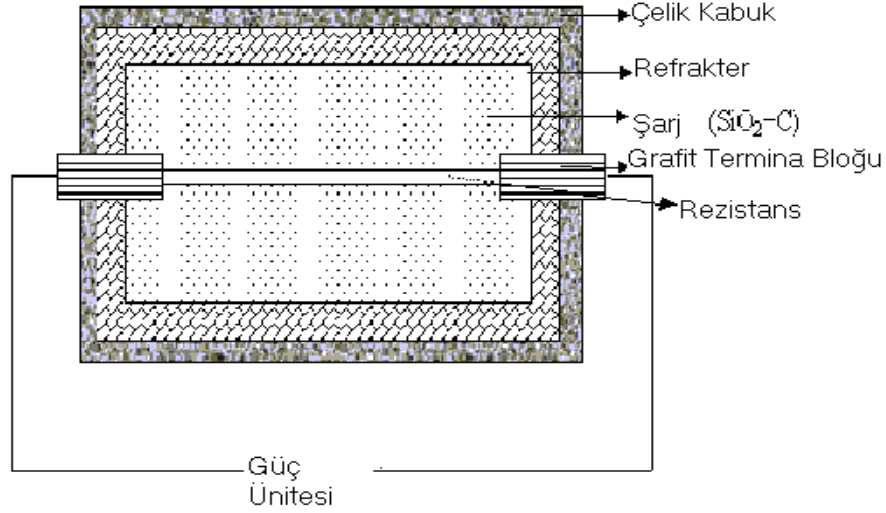


Reaksiyon endotermiktir. $\Delta H_f = +528 \text{ kJ/mol}$ 'dür dolayısıyla yüksek miktarda enerji gerekir. Bu reaksiyon $1600 \text{ }^\circ\text{C}$ 'den $2500 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye 36 saatin üzerinde bekleyerek oluşur (Lee ve Rainforth, 1994).

Bu işlerin gerçekleştiği fırın, 24 m boyunda ve 3 m genişliğindedir. Grafit çekirdek, elektrotlara temas ederek içerisinden 5000 KW elektrik akımı geçer. İşlem esnasında grafit çekirdek başlangıçta $2600 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye kadar ısınır ve sonra $2040 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de sabit kalır. Fırına yapılan 75 tonluk yükleme sonunda 11,3 ton siyah silisyum karbür elde edilir. Bu malzeme aşındırıcı ve metalurji sanayinde refrakter olarak kullanılır. Dünyada Acheson prosesi ile silisyum karbür üretimi 500.000 ton/ yıl'dır. (Geçkinli, 1991)

Modern Acheson fırınlarında elektrotlar da reaksiyona girmektedir. Çıkan CO gazı gaz kaçırmaz plastik kapaklar ile toplanarak boru hatları vasıtasıyla güç istasyonuna transfer edilir ve yakılır. Geri kazanılan enerji miktarı % 20 civarındadır (Lee ve Rainforth, 1994).

Mühendislik uygulamalar için, Acheson yöntemiyle üretilen silisyum karbürün, safiyetinin ve tane boyutunun istenen seviyede olabilmesi için ilave işlem gerekir. Aşırı öğütme ve liç yöntemi ile toz boyutu mikronun altına ve empürite seviyesi de %1'in altına iner. Sub – mikron boyutundaki silisyum karbür tozu aynı zamanda buhar fazı reaksiyonları ile de üretilir. (Geçkinli, 1991)



Şekil 3.2 Acheson fırının şeması (Balaban, 2005)

Malzemenin miktarı ve fırının büyüklüğü gibi unsurlara bağlı olarak 2 ila 20 gün süren 3.1 no'lu eşitlikteki silika ile karbonun reaksiyonu sonucunda silisyum karbür elde edilir. Yüksek saflıkta silika tozu, düşük sülfür içerikli petrol koku ve 23,8 MJ / kg.lık enerji bu prosesin ana bileşenidir ve 0.45 kg silisyum karbür eldesi için 2,3 – 3,2 kg silisyum gerektirir (Ergün, 2006).

Silisyum karbürün saflık oranı elde edilen malzemenin rengini etkilemektedir. Saflık %98,5'in altında olursa renk siyah; %99'a çıkarsa renk koyu yeşil ve % 99,8'in üzerinde ise renk açık yeşil olarak gözlemlenmektedir. Renk değişimi empürite atomlarının karışmasından ileri gelmektedir. (Lee ve Rainforth, 1994; Ergün, 2006).

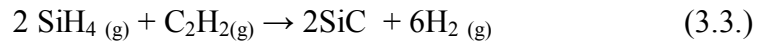
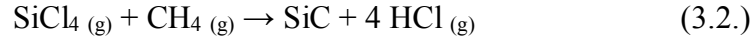
En yüksek saflıktaki silisyum karbür çekirdeğe (elektroda) en yakın mesafede bulunur. Dış tabakada oluşan malzeme ise; öğütülüp elenerek çeşitli amaçlarda kullanılmak üzere gruplandırılır, çözümlendirme prosesi ile saflaştırılır (Ergün, 2006).

Yeni oluşturulan diğer bir tip Acheson fırınında Si buharı poröz C yatağından geçirilir. Böylece çeşitli durumlarda alfa veya beta SiC elde edilebilir. Yüksek saflıktaki beta SiC tozu, amorf silikanın veya silika içeren fazların karbotermal redüksiyonu ile; silisyum metalinin veya karbon tozunun yanma sentezi ile ya da çeşitli gaz fazı prosesleri ile elde edilebilir. Çabalar silisyum karbürün düşük maliyetli silika kaynaklarından veya genellikle Mg ve Fe ile katalize edilerek pirinç kabuğundan elde edilmesi yönündedir. (Lee ve Rainforth, 1994)

$\text{Si} + \text{C} \rightarrow \text{SiC}$ reaksiyonu egzotermiktir. ($\Delta H_f = -75 \text{ kJ/mol}$) Böylece reaksiyon kendiliğinden devam eder, başladığında yanma sentezi ile elde edilir. Genel olarak ultra saf Si ve karbon

karası bir bağlayıcı ile karıştırılır, preslenir ve 1200 °C'ye indüksiyonla ısıtılır. Tutuşturma bir defa başladığında ısı dalgası 0,1cm/sn ile numunenin içinde doğru ilerler ve merkezinde sıcaklık 2250 °C'yi bulur. Bu tasarruflu ve seri metod beta silisyum karbürlerin üniform partikül boyutunda (0,2-0,5 mikron) elde edilmesini sağlar. Empüriteler buharlaştığında ve oksit filmler azaltıldığında tozlar yüksek saflıktadır.

β SiC tozları plazma ve laser ısıtma ile gaz fazdan da hazırlanabilir. Gaz fazı reaksiyonları silis tetraklorid reaksiyonları da içerir.



Gaz fazı teknikleri ile homojen, kaliteli, partikül boyutunun 10-20 nm arasında olduğu tozlar üretilebilir. Başlangıç malzemelerinin yüksek fiyatı ve buharlaşabilirliği, çıkan gazlardan ayrıştırılabilmesi ticari kullanımı sınırlar (Lee ve Rainforth, 1994).

Grafitik karbon ve silis metali empüriteleri de silisyum karbürün içinde bulunabilir. Serbest karbon ve silis miktarı ile silisyum karbür stokiyometrisinin bilinmesi daha sonraki prosesleri ve yüksek sıcaklık davranışlarını etkiledikleri için önemlidir. Tozun C/Si oranı mutlaka kontrol edilmelidir. Yüzeydeki oksit tabakası ile reaksiyona girmek ve sinterleme kabiliyetini arttırmak için yeterli C empüritesi tozda bulunmalıdır.

Yeterli karbonun bulunmadığı durumlarda (yüzeydeki tüm silika giderildikten sonra C/Si < 0.95) yoğunlaşma meydana gelmez fakat tane boyutu büyümesi gözlenir. Karbon yüksek sıcaklıkta serbest Si ile de reaksiyona girer. Eğer C/Si >1 şeklinde olursa sinterlemede tane sınırlarında segregasyon olur ve kütle transferi önlenir, yoğunlaşma önlenir. Aynı zamanda karbonun oksidasyona, silisyumun ergimeye ve oksijenin de SiO ve CO gaz dönüşümüne eğilimli olması nedeniyle bünyede hasar oluşmaması için C, Si ve O içeriğini bilmek önemlidir. (Lee ve Rainforth, 1994)

3.3 Silisyum Karbürün Şekillendirme ve Sinterlenmesi

Silisyum Karbür, erimeden kimyasal bozunmaya uğradığı ve kovalent bağa sahip olduğu için basınçsız ve katkısız konvansiyonel metotlarla sinterlenmesi oldukça güç bir seramik malzemedir. Procheska düşük oksijen içerikli mikronaltı β - Silisyum karbürü, % 0,5 bor ve % 1 karbon katkılarıyla 1950-2100 °C' de vakum ve inert atmosferde, %96-99 yoğunluğa sinterlemiştir. (Öğünç, 2005).

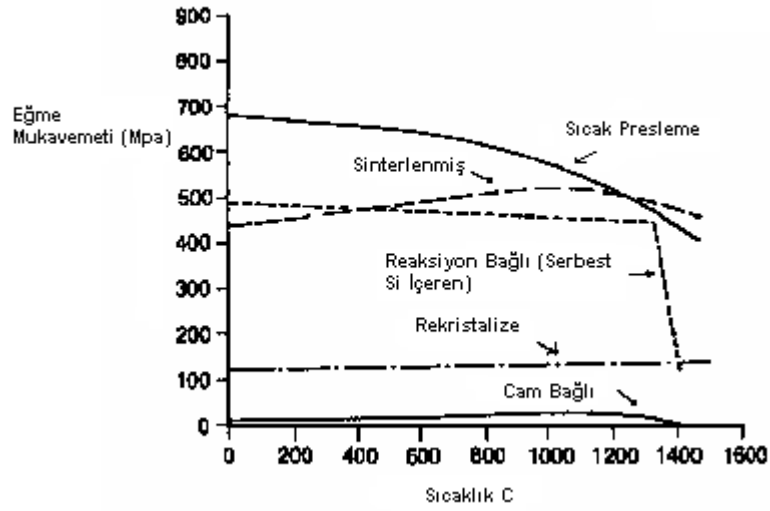
3 temel yöntem mevcuttur:

1. Reaksiyon bağlanma.
2. Sıcak Presleme
3. Basıncısız Sinterleme (Lee ve Rainforth, 1994)

3.3.1 Reaksiyon Bağlı Silisyum Karbür

Reaksiyon bağlı SiC, (kendinden bağlı, reaksiyon sinterli ya da silikonize SiC, RSSiC) REFEL olarak da bilinir. İlk olarak yüksek sıcaklıktaki nükleer reaktör yakıtlarının kaplanması için geliştirilmiştir fakat şu anda çeşitli mekanik contalarda, yataklarda düşük sürtünme katsayısı ve iyi aşınma dayanımı nedeniyle kullanılmaktadır. Aynı zamanda difüzyon fırını astarlarında, ısı değiştirici borularda, otomobil ve gaz türbin motorlarında da kullanılmaktadır. RSSiC, SiC ve karbon tozunun sıvı veya gaz silisyum ile kimyasal reaksiyonu sonucu elde edilir. RSSiC; alfa SiC, (10-100 mikron arası boyut dağılımı), C (grafit ya da termoset polimere dahil edilmiş olarak) ve polimer bağlayıcının sıkıştırılması ile oluşur. Bu teknik özellikle ekstrüzyon ve enjeksiyon kalıplama gibi plastik şekillendirme proseslerine uygundur. SiC : C oranı sabit pres basıncı altında 3-7:1 değerleri arasında değişebilir. Tipik bir enjeksiyon kalıplama kompozisyonu %47 alfa SiC, %47 polimer, %5 grafit ve %1 yağlayıcıdan oluşabilir. Bağlayıcıyı gidermek için ve C içeren polimeri pirolize etmek için numune ısıtılır. Elde edilen poröz numune fırında silis ile infiltre edilir. En çok kullanılan silikonize metodları paket ve fitil metodlarıdır. Her ikisi de inert atmosferde veya vakum altında 1500⁰C'nin üzerinde gerçekleştirilir. Sıvı silis kapiler etki ile poröz bünyeyi doldurur, grafit ile reaksiyona girerek yeni alfa ve beta SiC'ü oluşturur (Lee ve Rainforth, 1994).

Reaksiyon, ergiyik silis numuneyi doldurur doldurmaz başlar. İçine işleme oranı numunenin porozite boyutuna, uygulanan metoda (paket-fitil), silisin viskozitesine ve SiC/grafit karışımını ıslatan alana bağlıdır (Lee ve Rainforth, 1994).



Şekil 3.3 Sıcaklığın bir fonksiyonu olarak çeşitli tiplerdeki silisyum karbürün eğme mukavemetleri (Lee ve Rainforth, 1994)

Reaksiyon bağlanma prosesini kontrol etmede ve nihai ürünün özelliklerini garanti etmede empüriteler önemlidir. Acheson'dan elde edilen alfa SiC'de empüriteler (N, Al ve SiO₂) Silis tozu (daha çok Fe, Al, N, Ca ve Ti) ve değirmen yüzeyine yapışan madde (Fe) işlem sırasında çeşitli yollarla dağılılabirler. Prosesin başında empüriteler numuneden buharlaşabilir veya silika gibi C ile reaksiyona girebilir.

Soğutma sırasında silisyum yüzeye çıkar ve böylece yüzeyde damlalar oluşur. Bu damlalar silisyum içinde çözünmeyen empüriteler içerirler ve kum püskürtme ile giderilirler.

Çok sayıda zayıf SiC/Si bağları mekanik özellikleri kontrol eder. Reaksiyon bağlı silisyum karbürün özellikleri Şekil 3.3'de verilmiştir. Yumuşama noktası olan 1400⁰C'ye kadar mukavemeti 350 MPa'dır. Reaksiyon bağlanma neredeyse nihai ürünün şekline yönelik bir prosestir ve az miktarda işleme gerektirir dolayısıyla da maliyeti düşüktür. Si ve SiC'ün çeşitli konsantrasyonlara bağlı olarak mikroyapı da değişir. Bazı yerlerde silisyum miktarı ortalama silisyum miktarından fazla; bazı yerlerde SiC miktarı ortalama SiC miktarından fazla olabilir. Bu uygulanan prosesin bir sonucudur, sıvı silisyum kaynağına yakın olan bölgeler daha yüksek silisyum içermeye eğilimlidir.

Eş eksenli olmayan alfa SiC tanelerinin ekstrüzyon yönü boyunca veya basınç yönüne dik olarak düzenlenmelerinden dolayı reaksiyon bağlı silisyum karbürün mukavemetinde anizotropi görülmektedir. Artan silisyum içeriği ile mukavemet ve kırılma tokluğu lineer olarak azalır (Lee ve Rainforth, 1994).

3.3.2 Sıcak Presleme ile Sinterleme

Silisyum karbürün sıcak presleme tekniği yoğun sinterlenmiş ürünler elde edebilmek için geliştirilmiştir. Geleneksel sıcak presleme ile elde edilen saf silisyum karbür tozları sadece yaklaşık % 84'lük teorik yoğunluğa sahiptirler. Bazı katkı maddelerinin ilavesiyle bu yoğunluk % 98'e kadar ulaşmaktadır. Diğer bir yoğunluk arttırma metodu da çok yüksek basınçta (~50kbar) sıcak preslemedir.(ultra yüksek basınçta sıcak presleme) 1500⁰C'de 30 kbar'lık basınç altında yüksek yoğunluk (~%98) hem α -SiC'de hem de β -SiC'de elde edilebilmektedir. Yüksek basınçla sinterleme saf, iyi taneli ve yoğun mikroyapılı SiC üretimi için gerekli bir metottur. Yüksek basınçta, katkısız, β -SiC sinterlenmesinde yoğunluk değişimi sinterleme sıcaklığına, tane morfolojisine ve difüzyon sabitlerinin büyüklüklerine bağlıdır. Bor sinterlemeye yardımcı olan önemli bir katkıdır. Mikronaltı silisyum karbür tozuna % 1 bor ilavesi ve 1950⁰C'de 70 MPa basınçta yapılan sinterleme sonucunda %99 teorik yoğunlukta SiC elde edilebilir. Etkili bir yoğunluk için, katı faz difüzyonu ana mekanizmadır. %2 Al₂O₃ ilavesinin yanında karbon ilavesi yoğunluk artışı için önemlidir.

Ba-C ilavesi, sıcak preslemeyle SiC tozlarında yoğunluğu arttırır. SiC'deki ufak çözünebilirlik sınırları, malzemeye yüksek termal iletkenlik özelliğini kazandırır. AlN ilavesi ile SiC fazlarının sıcak preslenmesi başarı ile gerçekleşmiştir. Fakat bu AlN ilavesi ile yapılan sıcak presleme yönteminin mekanizması araştırmacılar tarafından tam olarak anlaşılamamıştır. Yoğun SiC seramik malzemeler sıcak presleme yöntemiyle Si-Al-C ve Si-Ti-C bileşikleri ile elde edilmektedir. Tek tek Si, C ve Al ilaveleri sinterlenmiş malzemelerde sertlik düşüşüne sebep olmaktadır. SiC'de Al₄SiC₄ ya da Ti₃SiC₂ gibi kompleks karbür ilavesi de yoğunluğun artmasına yardımcı olmaktadır (Dönertaş, 2005).

3.3.3 Basınçsız Sinterlenmiş Silisyum Karbür

Bu yöntem geniş ya da kompleks parçaların üretimine olanak verir. Düşük maliyetli ve yüksek miktarda bir üretim söz konusudur. Elde edilen ürünler üstün performanslıdır (Dönertaş, 2005).

Prochazka 1973 yılında gaz fazı yöntemiyle elde edilen mikron altı β SiC tozlarını 1950 – 2100 ⁰C'de inert gaz veya vakum atmosferinde yüksek yoğunluğa az miktarda B ve C ilavesiyle basınçsız sinterlemeyi denemiştir. Daha sonraları mikron altı Acheson α SiC tozları yüksek yoğunluklara B ve C ilavesiyle sinterlenmiştir. Bazen kendinden sinterlenme olarak da anılan basınçsız sinterlemenin keşfi (SSiC) düşük maliyetle, yüksek sıcaklıklarda bile kullanılabilen malzeme üretimi açısından önemli bir gelişmedir. Asit ve alkaline karşı

mükemmel korozyon dayanımı gösterir ve serbest karbon ya da grafit içermez (Lee ve Rainforth, 1994).

Kuvvetli kovalent yapısından dolayı silisyum karbürün sinterlenmesi zordur. Saf silisyum karbürün, sinterleme sırasında yoğunluğunun artmayışının sebebi, silisyum karbürün kendi difüzyon katsayısının düşük olmasıdır. Bu sebeple sinterlemede hacim ve tane kenar difüzyonu gerçekleşmez. Saf ve ince tane boyutu ve katkı maddeleri hacim difüzyonunu artırır. Yüzey difüzyonunu düşürür. Bunun sonucunda sinterleme kabiliyeti artmış olur (Dönertaş, 2005).

β silisyum karbürün sinterlenmesinde bor ve karbon olumlu etki gösterir. Yüksek değerdeki tane sınırı enerjisi – yüzey bölgesi enerjisi oranı ($\gamma_{\text{tane sınırı}} / \gamma_{\text{yüzey}}$) yoğunluk artışını engeller. Bor ve karbon ilaveleri sonucunda silisyum karbürün yüzeyindeki oksit tabaka karbon tarafından yüzeyden sıyrılır. Bu şekilde yüzey enerjisi artar. Tane sınırlarına borun çökmesiyle tane sınırlarındaki enerji azalır. Bu şekilde düşük değerde $\gamma_{\text{tane sınırı}} / \gamma_{\text{yüzey}}$ oranı elde edilmiş olur. Bunun dışında karbon ilavesinin SiC kristallerindeki tane büyümesini engelleyici bir etkisi de vardır (Dönertaş, 2005).

Karbon ya da bor sinterleme mekanizmasında tek başlarına etkili değildirler. β SiC sinterlenmesinde bor ile karbon ve alüminyum ile karbon ilavelerinin etkileri araştırılmıştır. Yapılan araştırma sonucunda ağırlıkça % 3 bor ve % 2 karbon ilavesi yoğunluğu arttırmıştır. Fakat ağırlıkça %1 alüminyum ve % 1,5 karbon ilavesi kübik silisyum karbür tozlarının yoğunluğunu arttırmaya yetmemiştir. Bunun sebebi alüminyumun SiC içinde çözünürlüğünün bora göre daha fazla oluşudur. Bu sebeple bor – karbon sistemine göre daha fazla alüminyum – karbon ilavesine ihtiyaç duyulur. Alüminyum – karbon katkısının bor – karbon katkısına göre en önemli avantajı daha az tane büyümesine sebep olmasıdır (Dönertaş, 2005).

Sinterleme katkılarının miktarı ve tipi önemlidir. B, B₄C, BN, Al, Al₄C₃ ve C'un kombinasyonları sıkıştırılabilir davranışını, tane büyümesini ve nihai ürünün çok tipliliğini etkilemek için kullanılır (Lee ve Rainforth, 1994).

Alüminyum ve bor ilavesiyle sinterlenen silisyum karbürde daha homojen ve iyi taneli mikroyapı görülmektedir. Şekil 3.3'de B ve B₄C ilave edilerek sinterlenmiş silisyum karbürün optik mikroskopla çekilmiş mikroyapısı görülmektedir. Sinterleme katkı maddesi tipinin son ürünlerdeki çok tipliliği etkilediği bilinmektedir; örneğin alüminyum ilavesi ile α SiC içerisinde 4H yapının artışında artma görülmektedir (Lee ve Rainforth, 1994).



Şekil 3.4 B ve B₄C ilavesiyle sinterlenen silisyum karbürün optik mikroskopta çekilen mikroyapısı (Lee ve Rainforth, 1994)

Katkı maddelerinin dışında sinterlenebilir silisyum tozlarındaki oksijen miktarı da yoğunluk artışını etkiler. Düşük oksijen içeriğinin yoğunluk artışına olumlu etkisi vardır. Standart sinterlenmiş toz ile sıcak işlem görmüş ağırlıkça % 0,64 oksijen içeren toz arasında % 9 sinter yoğunluk farkı tespit edilmiştir. İlave edilen katkı maddeleriyle ve 0,05 mikrondan küçük ultra saf başlangıç tozlarıyla 2050 °C’de basınçsız sinterleme sonucunda, %95 ve daha üstünde bir yoğunluk elde edilebilir (Dönertaş, 2005).

Silisyum karbür tozlarının sinterlenmesinde sinterleme atmosferinin kontrolü ve sıcaklık kontrolü önemlidir. Bor katkılı tozlarda en iyi sonuç inert gaz atmosferinde alınır. Sistemdeki silisyum oksijen buharı ve CO₂ sinterlemeyi olumsuz etkiler. Bu gazlar bor kaybına sebep olur ve bunun sonucunda yoğunlukta düşme görülür. Silisyum buharı sinterlemedeki verimi düşürür. Hızlı sıcaklık artışı tercih edilmez, katkı maddeleriyle beraber yavaş bir ısıtma sinterlemedeki en iyi sonucu verir (Dönertaş, 2005).

4. PREFORM ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Preform üretiminde uçucu bağlayıcı kullanılır ve kompozit üretiminde yanar. Preform üretiminde bağlayıcı miktarı çok dikkatli ilave edilmeli ve kontrol edilmelidir. Az miktarda bağlayıcı preforma düşük mukavemet verir. Fazla olduğunda ise yanma öncesi infiltrasyon sırasında metal akışını engeller. Birçok durumda preform mukavemeti koloidal silika veya $\gamma\text{Al}_2\text{O}_3$ bağlayıcı kullanımı ile elde edilir. Preformun yetersiz mukavemeti deformasyon ve kırılma ile sonuçlanır. Preform içindeki hatalardan, yüksek takviye seviyelerinden ve/veya düşük bağlayıcı seviyelerinden dolayı preform kaybedilebilir bu da kompozitin iç özelliklerini etkiler. Preformlar işlenmeleri zor olduğu için genellikle nihai ürün olacak şekilde üretilirler. Preform maliyeti fabrikasyon metoduna, fiber hacim oranına, bağlayıcı seviyesine ve işleme – şekil verme operasyonlarına bağlıdır (Asthana, 1998).

Basıncılı dökümden kullanılan preform için (süresiz takviyeli) 2 en genel metod presle şekillendirme ve emme ile şekillendirme. Her ikisinde de kısa fiberler homojen olarak su ile karıştırılır. Az miktarda bağlayıcı ilavesi yapılır. Ajitasyon sonrası gaz çıkışı yapılır ve kıyılmış fiberler emme sırasında filtre etrafında kümelenir, preform şekillenir (Asthana, 1998).

Presle şekillendirmede bulamaç bir kalıba dökülür ve su alma işlemi pres ile şekillendirilirken gerçekleştirilir. Bu fikir infiltrasyon sırasında ezilmeyecek preformu elde etmeyi ve homojen fiber dağılımı ile yeterli mukavemeti vermeyi sağlamaktadır (Asthana, 1998).



Şekil 4.1 Emme ve Presle Şekillendirme (Asthana, 1998)

Poroziteyi elimine etmek için ve ıslanmayan seramik preformların infiltrasyonunu tam olarak başarabilmek için genellikle yüksek basınçta ihtiyaç duyulmaktadır (>100 MPa). Bu yüksek basınçlarda bile çatlakları tam olarak doldurmak zorlukla başarılabilir. Bu gibi metal içermeyen boşluklar kompozit kaybı ve çatlak ilerlemesi için potansiyel bölgelerdir. Preform mimarisinde uygun dizayn modifikasyonları bu sorunu çözebilir; örneğin sürekli fiberlerin arasında partikül ve viskerlerin dağıtıldığı hibrid preformlar kullanılabilir. Bu preform mimarisi fiber – fiber temasını minimize eder ve fiberler arasındaki yüksek basınçta bile beslenmesi zor olan dar kaviteleri elimine eder. Fiberler arasına partikül ve visker ilavesi ile mikroyapısal homojenlik artar ve fiber hacim oranı kontrol edilebilir (Asthana, 1998).

Sürekli fiberlerle partikül takviyelerin hibridizasyonu aynı zamanda fiber yüzeyinde matris alایشının katılması sırasında oluşan kırılğan intermetalik fazların da çekelmesini sınırlar. Bu kırılğan bileşikler arayüzeyi zayıflatır ve gevrek kırılmayı kolaylaştırır. Hibrid kompozitte fiberler arasında partikül ve visker dağılımı ile bu kırılğan fazlar fabrikasyon sırasında partiküller üzerinde dağılır, mukavemet kaybını önler. Genellikle düşük basınç sürelerinde, düşük basınçlarda ve düşük ergime sıcaklıklarında hibrid preformların üniform fiber dağılımı ve tam infiltrasyonları sağlanır ve neredeyse hiç fiber – fiber teması olmaz. Düşük ergime sıcaklıkları aynı zamanda fiber – matris arası zararlı kimyasal reaksiyonları minimize etmeye yardım eder. Proses açısından bakıldığında viskerlerin hibritizasyonu, partiküllere nazaran yüksek sıkıştırma oranı ve düşük paketleme yoğunluğundan dolayı daha etkilidir. (Asthana, 1998).

Pratikte preformların hibritizasyonu fiberleri doldurma ile (partiküllerin veya viskerlerin sıvı süspansiyonu, bağlayıcı ve dispersan ile) başarılıdır. Preformun spesifik boyutları için doldurulmuş fiberler kurutulur, istenen boyutta kesilir ve kalıp içine ön doldurma yapılır. Hibrid preformun çamur prosesinde, sürekli fiberlerle partiküller aşağıdaki şekilde temas ettirilir:

Fiber bağı partikül içeren çamurla temas ettirilir (içinden geçirilir). Çamur; ıslatmayı arttırıcı bileşen, su, bağlayıcı ve tozdan oluşur. Fiberlerin, partiküllerin ve matrisin hacim oranları önceden belirlenebilir. Fiber bağı bir varilin üzerine monte edilir ve çamurun içinde ayarlanabilen bir çekme kuvveti uygulanır. Bağ üzerindeki çekim kuvveti fiber hasarını ve dizilim hatasını minimuma indirecek şekilde ayarlanır. Bağ, çamur içindeki ıslatma arttırıcı bileşen ile açılır ve partiküller fiberler arası boşlukları doldururlar. Bağ çapı sabit kalır, fiber içeren toz kompakt kurutulur, organik fiberleri pirolize etmek; istenen kanal ağlarını üretebilmek; ve aynı zamanda da tozu yoğunlaştırmak için ısıtılır. Daha sonra %90 oranında

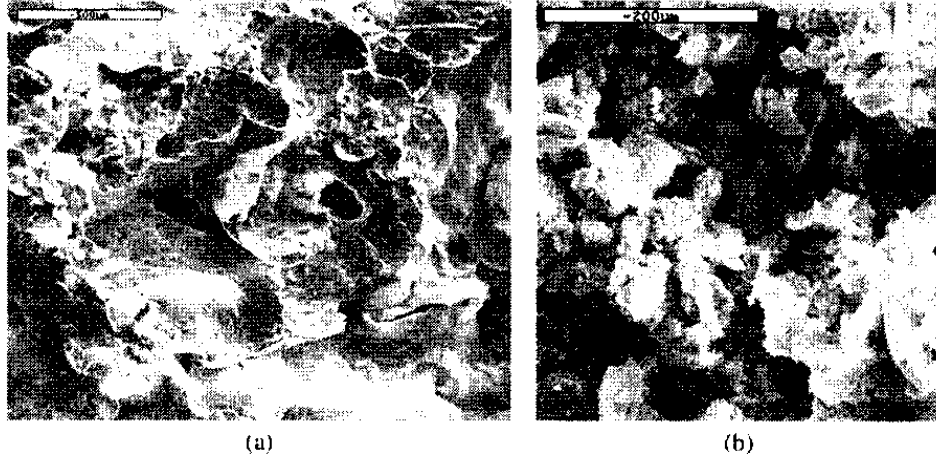
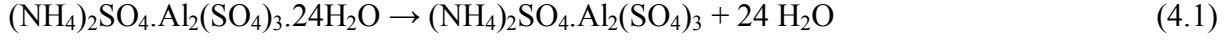
seramik içeren seramik-metal kompoziti elde etmek için ergimiş metal infiltre edilir. Preform üretiminde silika en çok kullanılan bağlayıcı da olsa alüminyum ve magnezyum alaşımları ile kuvvetli bir şekilde reaksiyona girmektedir. (Asthana, 1998).

Reaktif matrislerle fiber takviyeleri için kullanılabilen nispeten kararlı 2 tane bağlayıcı vardır: Asit – fosfat bağlayıcı ve γ alümina bağlayıcı. Karbon, alümina, silisyum karbür fiberler ve viskerler ile takviye edilen alüminyum matrisli kompozitlerde bu bağlayıcıların kullanımı geleneksel silika bağlayıcılara göre mükemmel mekanik mukavemet vermektedir. Alüminyum Borat viskerlerden (kimyasal formülü: $Al_8B_4O_{33}$) yapılan γ Alümina tozunun preformlarda bağlayıcı olarak kullanımı; düşük sinterleme sıcaklıklarında bile preform mukavemetinin yüksek olmasını sağlar (bağlayıcısız visker preformlarla kıyaslandığında). Benzer şekilde γ alümina bağlayıcının kısa alümina fiber preformlarda (saffil) kullanımı düşük sinterleme sıcaklıklarında bile mukavemet artışına sebep olur. Bağlayıcısız saffil fiberler (γ alümina fazı) yüksek sıcaklıklarda sinterlendiğinde ($1300^{\circ}C$) yüzey tekstüründe distorsiyona sebep olur böylece de delta-alfa fazı dönüşümü ve istenmeyen tane büyümesi gerçekleşir. Düşük sıcaklıkta ısı işlem ($1200^{\circ}C$) dönüşüm oranını sınırlar fakat preforma istenen mukavemeti vermez. α alümina tozlarıyla kıyaslandığında γ alümina tozunun düşük sıcaklıkta sinterlenebildiği bilinmektedir. γ alümina tozu $1200^{\circ}C$ 'de kararlı alfa fazına dönüşmektedir. Bundan dolayı bağlayıcısız saffil fiber preformlar alümina fiber morfolojisinin değişmediği sıcaklık aralıklarında sinterlenemez; γ alümina bağlayıcı kullanımı düşük sinterleme sıcaklıklarında bile yeterli mukavemeti vermektedir. Ek olarak alümina bağlayıcı alüminyum eriyiklerinde kimyasal olarak kararlıdır (Asthana, 1998).

Altınkök ve diğerleri (2003) Al_2O_3/SiC preformu üretebilmek için çalışmalar yapmışlardır. Alüminyum sülfat $Al_2(SO_4)_3 \cdot xH_2O$ ($x=14 - 16$); amonyum sülfat $(NH_4)_2SO_4$; su ve 3 – 10 mikron toz boyutuna sahip silisyum karbür partikülleri karıştırılmış ve bulamaç oluşturulmuştur. Son ürünün silisyum karbür içermesi için silisyum karbür tozu ilave edilmiştir. Elde edilen süspansiyon seramik kaplara boşaltılmış ve fırına konulup $1200^{\circ}C$ 'de 2 saat pişirilmiştir.

Sülfatlar suda çözüldüğünde reaksiyon (4.1) öncesi çözelti $(NH_4)_2SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3 \cdot 24H_2O$ içerir. Sıcaklık arttıkça çözeltide kaynama ve buharlaşma işlemi başlar. Reaksiyon (4.1) sonunda amonyum-alum elde edilir. Sıcaklığın daha da artmasıyla amonyum-alum; amonyak ve kalıntı suya parçalanır. Reaksiyon (4.2)'de su kaybedilir. Sıcaklığın daha da artmasıyla sülfat iyonları buhar haline gelir ve $900^{\circ}C$ 'de poroziteli alümina elde edilir. (reaksiyon 4.3) Bu reaksiyondan sonra parçalanma biter fakat $\delta \rightarrow \alpha$ dönüşümü henüz tamamlanmamıştır.

Sıcaklık 1200⁰C'ye ulaştığında ve 2 saat beklendiğinde dönüşüm biter (reaksiyon 4.4) Bu işlemlerin sonunda % 95'e varan porozitede Alümina-silisyum karbür seramik preform elde edilir.



Şekil 4.2 %50 SiC-%50Al₂O₃ a)poröz seramik b) öğütülmüş toz karışımı (Altınkök vd., 2003)

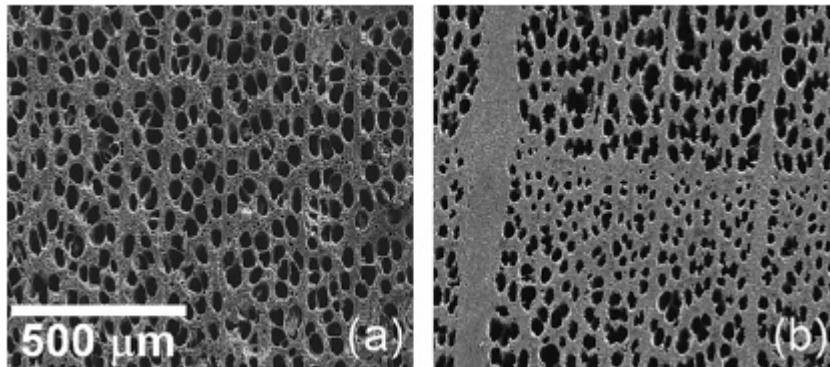
SEM görüntülerinden de görüldüğü üzere preform 3 boyutlu balpeteği yapıya sahiptir, alümina taneleri silisyum karbür partiküllerini çevrelemektedir. Bu yapı sıvı metal infiltrasyonu için uygundur çünkü preformların çoğu %80'den fazla poroziteye sahiptir. Alüminanın çevrelemesi nedeniyle Şekil 4.2.a'da SiC partikülleri görülmemektedir. Preform az miktarda öğütüldüğü zaman Şekil 4.2.b'deki gibi SiC taneleri görülebilmektedir. Çünkü SiC partikülleri, köpüklenme sırasında çözeltide üniform olarak dağılmışlardır, alümina formasyonundan sonra alümina tarafından çevrelenmektedir. Kompozit içinde bu yapının aşınma davranışı iyi olabilir çünkü infiltrasyon öncesi SiC ve alümina çok iyi birleşmişlerdir. Bu yapı geleneksel toz hazırlama yöntemleriyle elde edilemeyen özel bir yapıdır. Bu aynı zamanda sadece alüminanın sıvı alüminyum tarafından ıslatılabilmesini sağlar böylece SiC ıslatılması alüminyum infiltrasyonunu etkilemez. Alümina ve silisyum karbür geleneksel yöntemlerle karıştırılabilir, preslenebilir ve sinterlenebilir fakat sıvı metal infiltrasyonu için yeterli porozite elde edilemez. Alüminyum sülfat ve amonyum sülfat çözeltileri pişirilirse

%95'e varan yüksek poroziteli alümina elde edilir. Pişirilme öncesi sıvı çözeltiye SiC ilave edilirse yüksek oranda poroziteli ve homojen Al_2O_3/SiC preform elde edilir.

Wilkes ve diğerleri (2006) poröz yapıda silisyum karbürü öncü madde olarak odundan elde etmişlerdir. Odundan elde edilen silisyum karbür (Biomorfik SiC veya BioSiC) hafif bir malzeme olduğu için katalizör desteği olarak, ısı dönüştürücülerde, yüksek sıcaklıkta ergiyik metalleri filtreleme malzemesi olarak ve kompozit takviyesinde kullanım için uygundur. BioSiC temelli kompozit malzemelerde Si-SiC seramik matrisli kompozit üretimi üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. BioSiC şekillendirme prosesinde odun preform $1000^{\circ}C$ 'de argon atmosferinde pirolize edilir. Elde edilen poröz karbon fazla miktarda ergiyik silisyumla $1550^{\circ}C$ 'de vakum altında infiltre edilir. Metal, poröz karbonla temasa geçince β SiC oluşur.

Soğutmadan sonra fazla silisyum küçük çaptaki SiC kanalları içinde kalır ve Si-SiC seramik matrisli kompozit elde edilir. Kalıntı gerilmeler büyük çaplı kanallara bağlıdır. Si-SiC seramik matrisli kompozitten poröz BioSiC'e dönüşüm fazla silisyumu asit kullanarak dağılama yoluyla olmaktadır. Kalan poröz SiC yapı, odunun mikroyapısı ve infiltrasyon süresine bağlı olarak reaksiyona girmemiş karbon içerir.

Yapılan deneysel çalışmalarda kayın odunu 1 saat argon atmosferinde piroliz işlemine tabi tutulmuştur. Şekil 4.3.a piroliz sonrası elde edilen poröz karbonu göstermektedir. Piroliz sonrası karbon yüksek saflıkta ergimiş silisyum ile (ağırlıkça %99,6 Si) $1500^{\circ}C$ 'de vakum altında bir saat reaksiyona sokulmuştur. Katılma sonrası kalan Si-SiC seramik matrisli kompozitteki fazla silisyum %50-%50 konsantrasyona sahip nitrik ve hidroflorik asit ile dağılanmıştır.



Şekil 4.3 Enine kesitler a) Pirolize kayın b)kayın BioSiC (Wilkes vd., 2006)

Şekil 4.3.b kayından elde edilen poröz silisyum karbür preformu göstermektedir. Karbondan silisyum karbürü dönüşüm esnasında küçük fiberlerin ve kanalların kapanmasından dolayı %43'lük bir hacim değişimi olmaktadır. Numunelerde önemli bir boyut değişimi görülmez çünkü hacim artışı açık kanallarla başarılmaktadır.

Basıncılı infiltrasyon sonrası BioSiC'de kalıntı porozite kalabilir. Bunun sebepleri arasında yetersiz gaz basıncı ve karbon ile silisyumun reaksiyonu sonucu oluşan kapalı poroziteler sayılabilir. (Wilkes vd., 2006)

Aguilar-Martinez ve diğerleri (2003), Al-Si-Mg alaşımları ile infiltre edilecek SiC preformlar hazırlamışlardır. Acheson prosesi ile SiC tozları üretilmiştir. Daha sonra %40 ve %60 porozite içeren preformlar sırasıyla 75 ve 20 mikron boyutundaki partiküllerden hazırlanmışlardır. Önceden belirlenen miktarlarda SiC tozları ağırlıkça %5 dekstrin ve damıtık su ile karıştırılmış, sonrasında da bu karışım çelik bir kalıpta sıkıştırılmıştır. Bu işlemin sonucunda 3 x 4 x 0,5 cm ebadında SiC slablar elde edilmiştir. Bu preformlar 120⁰C'de havada 2 saat kurutulmuş ardından da 2 saat daha 225⁰C'de bekletilmiştir. Preformlar daha sonra 40 gr civarında alüminyum alaşımı levhanın üzerine konulmuş ardından da önceden bor nitrür kaplanmış seramik bir konteynirin içine yerleştirilmiştir. Preformlar ultra yüksek argon atmosferinde 1150⁰C sıcaklığa 15⁰C/dakika hızında çıkarılmıştır. Bu sıcaklıkta SiC partiküllerin ıslanmasını arttırabilmek için atmosfer yüksek saflıkta azota dönüştürülmüş ve 1 saat bekletilmiştir.

Szafran ve Wisniewski (2001) silisyum karbür ve electrocorundum preformlar üretmek için çalışmalar yapmışlardır. Çalışmalarda % 99 Al₂O₃ içeren electrocorundum ve %98 SiC içeren silisyum karbür tozları kullanılmıştır. Tozların tane boyutları 355-425; 180-212; 75-100 ve 53-75 mikron şeklindedir. Borosilikat camı ergiyen seramik bağlayıcı olarak electrocorundum için kullanılmış; kaolin ve feldspars karışımı sinterlenebilen seramik bağlayıcı da silisyum karbür için kullanılmıştır. %7 dekstrin çözeltisi electrocorundum ve silisyum karbürü kütle halinde elde edebilmek için ilave edilmiş, bunu yanı sıra electrocorundum için %5,10,15 ve 20'lik ergiyen seramik bağlayıcı; silisyum karbür için ise aynı oranda sinterlenen seramik bağlayıcı ilave edilmiştir. Tek yönlü presler ile 60mm çapa, 10mm yüksekliğe sahip preformlar kurutulmuş ve 1300⁰C'de 3 saat sinterlenmiş ardından da fırın içinde soğutulmuştur.

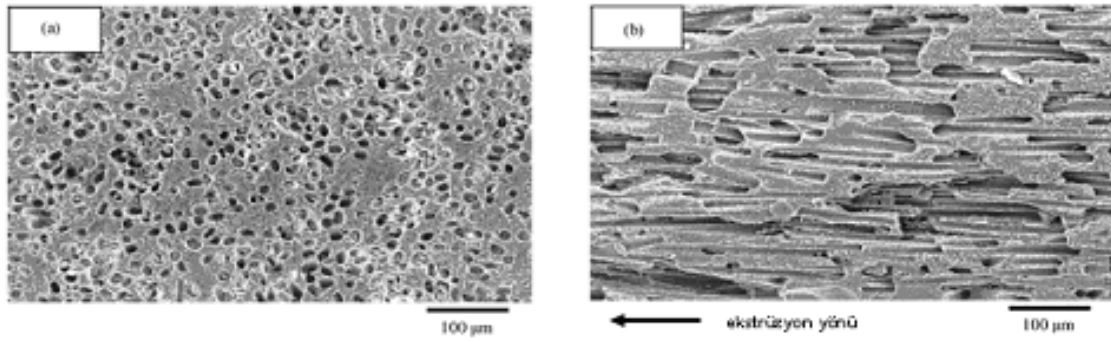
Sonuçlar göstermiştir ki sinterlenmiş preformların bulk yoğunluğu; silisyum karbür ve electrocorundumun ortalama tane boyutunun artmasıyla artar. Genel olarak bilinmektedir ki

küresel tanelerden oluşan bir sistemin porozitesi tane boyutuna bağlı değildir, tanelerin paketlenme şekline bağlıdır. Taneler düzenli pakletlendiğinde porozite teorik olarak % 47,64'e ulaşabilir. Taneler tetrahedral pakletlendiğinde ise yalnızca %25,95'dir.

Tane boyutundaki düşüş ile açık poroziteler hem electrocorundumda hem silisyum karbürde artmıştır. İlave edilen seramik bağlayıcı miktarı arttıkça poroziteler azalmaktadır. Seramik bağlayıcı miktarındaki artış ile porozite miktarındaki düşüşün temel sebebi taneler arasındaki boş alanların bağlayıcı tarafından doldurulmasıdır.

Sinterleme sırasında ergiyen bağlayıcı miktarı arttığında hem maksimum hem ortalama porozite boyutlarında artma görülmüştür. (Szafran ve Wisniewski, 2001)

Bir başka çalışmada Isobe ve diğerleri (2006) poröz alümina seramikleri silindirik ve yönlendirilmiş porlar içerecek şekilde üretmeye çalışmışlardır. Ortalama partikül boyutu 0,7 mikron olan yüksek saflıktaki alümina, ortalama çapı 14 mikron, ortalama uzunluğu 600 mikron olan ve %52 hacim oranına sahip karbon fiber ile karıştırılmıştır. Bu karışım ağırlıkça %4 metil selüloz, %0,4 amonyum polikarboksilik asit ve %17,6 damıtılmış su ile 1 saat yoğurulmuştur. Elde edilen ürün bir ekstrüder vasıtasıyla kalıplanmıştır. Daha sonra da 110⁰C'de havada bir saat kurutulmuş, 1000⁰C'de 1saat bekletilmiş, 1600⁰C'de 2 saat sinterlenmiştir. Elde edilen üründe %36 oranında açık porozite, %2 oranında kapalı porozite tesbit edilmiştir.



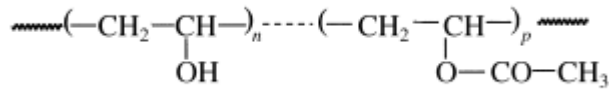
Şekil 4.4 Ekstüzyona dik ve paralel yönlerdeki SEM mikroyapı fotoğrafları (Isobe vd., 2006).

Şekil 4.4.a ve 4.4.b son üründe ekstrüzyona dik ve paralel yönlerdeki SEM mikroyapı fotoğraflarını göstermektedir. Bu porların şekilleri karbon fiberlere dayandırılabilir (Isobe vd., 2006).

5. PREFORM ÜRETİMİNDE KULLANILAN BAĞLAYICILAR

5.1 Poli Vinil Alkol

Organik polimer ilavesi yeterli kohezif mukavemeti sağlamak için yapılmaktadır. Ayrıca organik bağlayıcılar pişirme öncesi kompaktların mukavemetini arttırmaktadır. Organik bağlayıcılar pişirme öncesi bünyenin mekanik mukavemetini, bağlayıcının yanıp gitmesi sırasında mikroyapısal hataya sebep olmadan arttırmalıdır. PVA kuru preslenmiş seramiklerde yaygın olarak kullanılmaktadır (Baklouti vd., 2001).



Şekil 5.1 Poli Vinil Alkolün yapısı (Baklouti vd., 2001)

PVA suda çözünen bir termoplastik polimerdir. İyi bir esneklik sergilemektedir ve çabuk kurutulmasından dolayı tercih edilir (LeBeau ve Boonyongmaneerat, 2007).

Mikrodalga işlemi, solvent ekstraksiyonu gibi bağlayıcı giderme işlemlerindeki gelişmelere rağmen, ısı ile bağlayıcı giderimi hala seramik endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Saf polimerler için yanıp gitme işlemi, oksitleyici atmosferde kısmen yüksek sıcaklıklarda genelde 600-700⁰C civarında gerçekleşir. Baklouti ve diğerleri (2001) tarafından bildirildiğine göre PVA'nın termal ayrışması hakkında çalışma Dunn ve diğerleri tarafından gerçekleştirilmiştir. 2 reaksiyon meydana gelebilir:

1. Su ve asetik asitin eliminasyonu en az %80 ağırlık kaybına sebep olur.
2. Asetaldehit, krotonaldehit ve yüksek oranda doymamış aldehitleri veren depolimerizasyon ile %20'den daha az oranda ağırlık kaybı gerçekleşir.

Birçok sebepten ötürü pişirme öncesi seramik bünye içindeki bağlayıcının ayrışması, ince polimer filmlerin ayrışmasından daha komplekstir. Termal ayrışma son ürünün özellikleri ve güvenilirliğinde önemli rol oynamaktadır.

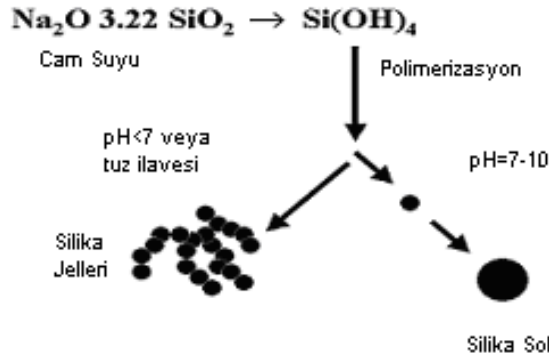
Samir Baklouti ve diğerleri sprey kurutucuda yapılmış alümina tozlarını ağırlıkça %3 oranında PVA bağlayıcı ile karıştırmış ve değişik sıcaklıklarda yapılan ısıl işlemlerin etkilerini incelemişlerdir. Mukavemetin sıcaklıkla değiştiği görülmüştür. Oda sıcaklığı ile

200⁰C arasında emilen suyun giderilmesi nedeniyle PVA plastikleşmektedir dolayısıyla da mukavemet artışı görülmektedir. 200 ila 600⁰C arasında ise polimer kaybı nedeniyle mukavemet düşmektedir. Bu davranış PVA'nın kademeli ısı ayrışması ile açıklanmaktadır. İlk olarak su ve asetik asit elimine edilir daha sonra da vinil zincirlerinin depolimerizasyonu ve oksidasyonu gerçekleşir. 800⁰C'nin üzerinde ise sinterleme başlangıç safhası ve tane sınırı formasyonu sebebiyle tekrar mukavemet yükselmeye başlar.

5.2 Kolloidal Silika

Kolloidal silika; refrakter, beton ve seramik endüstrisinde, büyük kalıplarda üretilen yüksek sıcaklık yalıtım parçalarında ve bloklarda bağlayıcı olarak kullanılmaktadır. Genellikle çelik, alüminyum ve cam fırınlarında kullanılmaktadır. Kolloidal silikanın 1500⁰C'de bile çalışabilme özelliği ve termal şoka olan dayanımı onu seramik döküm proseslerinde zorunlu kılmaktadır. Kolloidal silika aynı zamanda yüksek sıcaklıkta kullanılan refrakter fiber malzemelerinde güvenilir bir bağlayıcı olarak kullanılmaktadır. Partikül boyutu ve kimyasal aktifliği kolloidal silikanın elektronik endüstrisinde parlatici olarak kullanılabilmesine imkan verir. Kolloidal silika inşaat, kaplama ve denizcilik sektörlerinde de kullanılmaktadır. [2]

Kolloidal silika sodyum silikattan üretilmektedir. Şekil 5.2'de kolloidal silika eldesi şematik olarak verilmiştir. Polimerizasyon koşullarına bağlı olarak partiküller birbirleriyle birleşebilirler veya birleşemezler. Sodyum silikatın ilk asidifikasyonu sonucu Si(OH)₄ oluşur. Şayet pH değeri 7'nin altına düşürülürse veya tuz ilave edilirse partiküller birbirleriyle zincir halinde birleşme eğilimi gösterirler ve silika jelleri oluştururlar. Şayet pH değeri alkali kısımda korunursa partiküller ayrılmış olarak kalacak ve aşamalı olarak büyüyeceklerdir. Bu ürün genelde silika sol olarak adlandırılır. (Balaban, 2005)



Şekil 5.2 Kolloidal silika sentezi (Balaban, 2005)

Kolloidal silika Al_2O_3 tozunu şekillendirmede genel olarak kullanılan bir bağlayıcıdır. Bağlayıcı içinde dağılan küresel, mikronaltı, amorf silika partikülleri çözücünün kurutulmasından sonra Al_2O_3 'e jelleşme yolu ile mukavemeti vermektedir. Kolloidal silika aynı zamanda Al_2O_3 'ün sinterleme kinetiğini de geliştirmektedir. SiO_2 ve/veya türevleri nihai üründe kaldığından dolayı bazı uygulamalar için uygun olamamaktadır. (LeBeau ve Boonyongmaneerat, 2007).

5.3 Nişasta

Nişasta taneleri normalde beyaz ve yoğundur; oda sıcaklığında suda çözünmez. Boyutları 2 – 170 mikron arasındadır. Nişastada bulunan amilaz sıvı süspansiyonda jelleşme özelliği vermektedir. Nişasta taneleri 50^0C 'ye kadar suda çözünmez. Süspansiyon $55-80^0C$ sıcaklığa ısıtıldığında (tip ve konsantrasyona bağlı olarak) taneleri tutan moleküller arası bağlar zayıflar. Bu proses sırasında taneler ani ve geri dönüşümsüz olarak şişerler ve orjinal boyutlarına göre birkaç kat artma görülür.

Seramik tozları, nişasta ve su karıştırılıp kalıba döküldüğünde ve ardından $60-80^0C$ 'ye ısıtılınca nişasta partikülleri suyun etkisiyle şişmektedir. Bu şekilde jelleşme meydana gelir ve slipteki su giderilir. Böylece de seramik partiküller birbirine bağlanır. Sonuç olarak sağlam bir bünye elde edilir. Nişasta partikülleri şişerek bağlayıcı olarak davranır ve bünyeye mukavemet katar, bu sayede de bünyenin kurutma öncesi kalıptan çıkarılabilmesini sağlar. Nişastanın yanarak sistemi terk etmesinin ardından sinterleme ile poröz bir yapıda seramik elde edilir. Porozite miktarı ise katılma sırasında şişen nişasta partiküllerinin miktar, şekil ve ebadına bağlıdır. (Lyckfeldt ve Ferreira, 1998).

5.4 Dekstrin

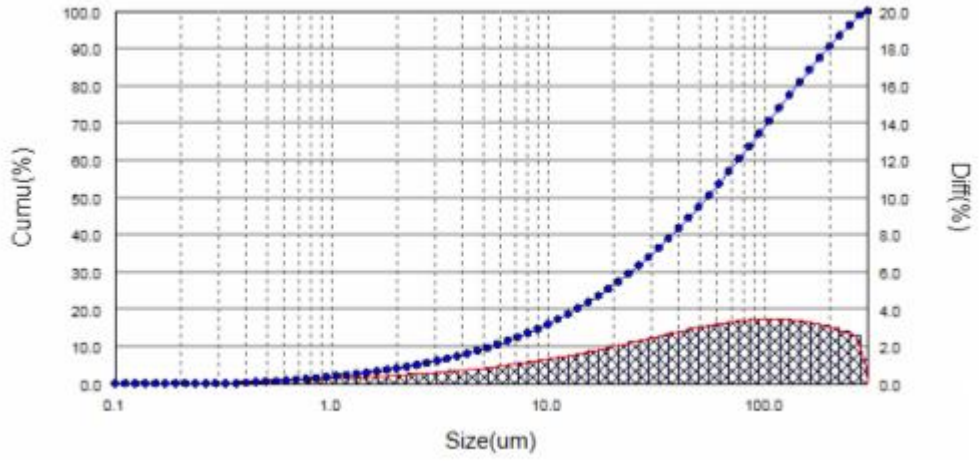
Dekstrin nişastanın seyreltik asitlerle reaksiyonu sonucu veya 170 ile 240^0C arasında kavrulmasıyla elde edilen bir maddedir. Üretimi %2 nitrik asitle karıştırma, havada kurutma ve 110^0C civarında bekletme şeklinde olmaktadır. Ticari dekstrin sarımsı bir renktedir ve yanmış, dönüşmemiş nişasta içerebilir. Suda ve seyreltilmiş alkolde çözünmektedir. Kağıt endüstrisinde, tekstil sektöründe, ilaç sektöründe, pullarda, cerrahi bandajlarda kullanılmaktadır. [5]

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1 Kullanılan Hammaddeler ve Özellikleri

6.1.1 Silisyum Karbür Tozu

Bağlayıcı kullanarak şekillendirilen ve nihai üründe mikro poroziteli olması istenen silisyum karbür tozları Akyol Taş firmasından temin edilmiş olup kodu SC220T03 şeklindedir. Tane boyut analizi sonuçlarında ortalama tane boyutunun 54,48 mikron olduğu tesbit edilmiştir. Tozların spesifik yüzey alanı ise $150,61\text{m}^2/\text{kg}$ 'dır. Çizelge 6.1'de kullanılan SiC tozlarının kimyasal özellikleri, şekil 6.1'de ise tane boyut dağılım grafiği verilmiştir.



Şekil 6.1 Kullanılan SiC tozlarının tane boyut dağılım grafiği

Çizelge 6.1 SiC tozlarının kimyasal bileşimi. (Akyol Taş Firma Kataloğu, 2004)

Kimyasal Bileşim(%)	
SiC	99,50
Serbest Karbon	0,15
Si	0,03
SiO ₂	0,20
Fe ₂ O ₃	0,02

6.1.2 Kolloidal Silika

Ar-Ge Kimya firması tarafından temin edilen kolloidal silika numunelerin hazırlanmasında bağlayıcı olarak kullanılmıştır. Ürüne ait özellikler Çizelge 6.2’de belirtildiği gibidir.

Çizelge 6.2 Kolloidal silika bağlayıcının özellikleri

Spesifik Yüzey Alanı	215-305 m ² / gr
Ortalama tane boyutu	10 – 20 nm
Na ₂ O	%ağ. 0.27-0.37
SiO ₂	%ağ. 30
Viskozite (20 °C)	Mpas12 max
pH (20 °C)	9,8-10,14
Yoğunluk	1.2-1.21 gr/cm ³

6.1.3 Poli Vinil Alkol

Polivinil alkol Ar-Ge Kimya firmasından temin edilmiş olup % 5 – 10 – 15 – 20’luk çözeltiler oluşturulmuştur. Seramik çamuruna ilave edilmesindeki temel sebep uçucu bağlayıcı olmasıdır. Sinterleme öncesinde seramik tozlarının kalıptan çıkarılabilmesi ve sinterleme işleminin ardından nihai ürünlerdeki porozitenin ana kaynağını oluşturması için ilave edilmektedir.

6.1.4 Nişasta

Nişasta nihai ürünlerdeki poroziteyi arttırmak için seramik çamura az miktarda ilave edilmiştir.

6.1.5 Dekstrin

Deneylerde kullanılan dekstrin Bereket Kimya firmasından temin edilmiştir. Poli vinil alkolde olduğu gibi % 5 – 10 – 15 – 20’lik çözeltiler hazırlanmış ve seramik çamura ilave edilmiştir.

6.2 Deneylerde Kullanılan Cihaz ve Aletler

Deneylerde kullanılan bileşenlerin tartılmasında Şekil 6.2’de görülen +/- 0,01 gr hassasiyetli dijital göstergeli terazi kullanılmıştır.



Şekil 6.2 Sartorius marka terazi

Seramik tozlarının tane boyut analizini yapmak için markası BETTER, modeli BT-9300 olan ve şekil 6.3’de görülen partikül boyut analiz cihazı kullanılmıştır.



Şekil 6.3 BETTER marka partikül boyut analiz cihazı

Seramik tozlarının ve bağlayıcıların karıştırılması işlemi Şekil 6.4’de görülen Velp Scientifica marka manyetik karıştırıcılarda gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.4 Velp Scientifica marka manyetik karıştırıcı

Seramik tozları ve bağlayıcı karışımının döküldüğü silikon kalıplar Şekil 6.5’te gösterilmiştir.



Şekil 6.5 Deneylerde kullanılan silikon kalıplar

Numunelerin kurutulması için Şekil 6.6'de gösterilen Ecocell MMM Medcenter Einrich Tungen GMBH marka etüv kullanılmıştır.



Şekil 6.6 Ecocell MMM Medcenter Einrich Tungen GMBH marka etüv

Numuneler Öz Tasarım firması tarafından yapılan max. 1200⁰C'ye çıkabilen fırında pişirilmiştir. (Şekil 6.7)



Şekil 6.7 Öz tasarım marka atmosfer kontrollü fırın.

Eğme Deneyleri için AVK marka MH1/AS-102 model eğme cihazı kullanılmıştır. (Şekil 6.8)



Şekil 6.8 AVK marka eğme cihazı

Piştirilmiş numunelerin morfolojik incelemesinde JEOL marka JSM 5410LV model SEM (Şekil 6.9) ve DMLM marka optik mikroskop (Şekil 6.10) kullanılmıştır.



Şekil 6.9 JEOL marka SEM



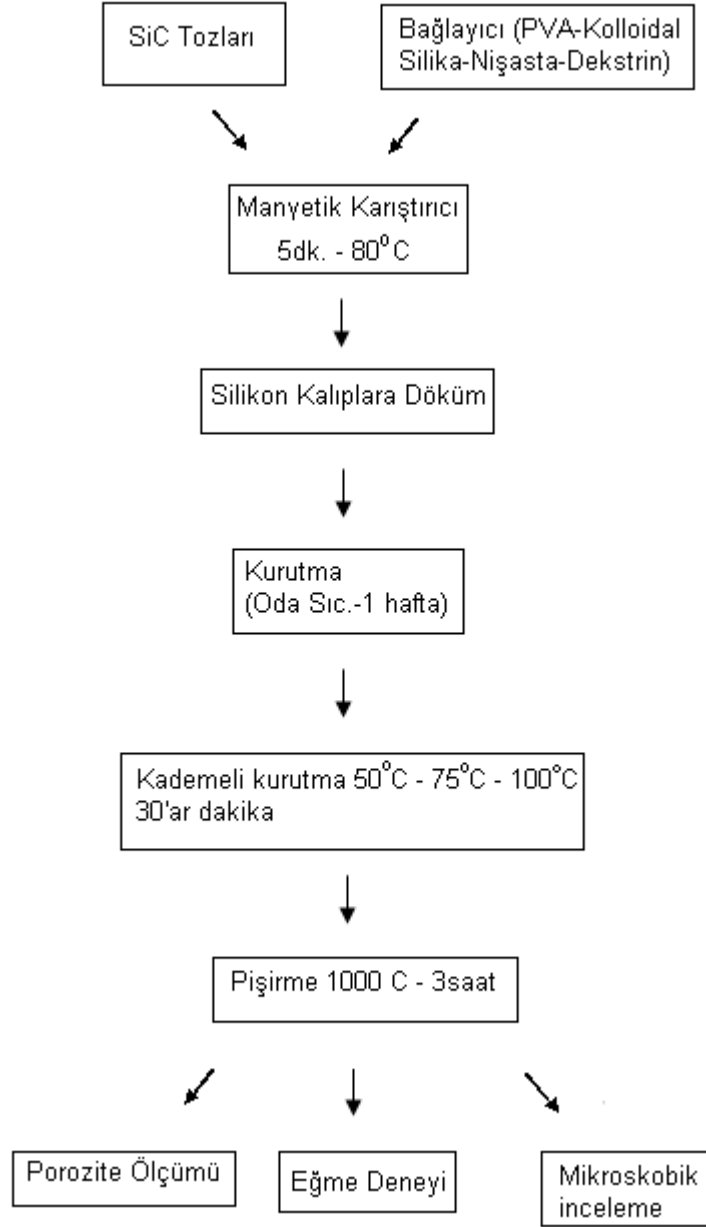
Şekil 6.10 DMLM marka optik mikroskop

6.3 Deneylerin Yapılışı

Yapılan tüm çalışmalara ait iş akış diyagramı şekil 6.11’de gösterilmiştir.

6.3.1 Seramik Çamurun Hazırlanması ve Kurutma İşlemleri

Deneysel çalışmalarda bağlayıcı olarak kullanılan Polivinil alkol ve dekstrin çözeltileri % 5 – 10 – 15 ve 20’lik olacak şekilde cam beher içerisinde manyetik karıştırıcı kullanılarak 3 saat süre ile karıştırılmıştır. Daha sonra ise silisyum karbür tozları, dekstrin çözeltisi, polivinil alkol çözeltisi, nişasta ve kolloidal silika farklı bileşimlerde olacak şekilde karıştırılmıştır.



Şekil 6.11 Deneysel Çalışmalar İş Akışı

Numuneler kullanılan bağlayıcı cinslerine ve miktarlarına göre sınıflandırılmış ve kodlar verilmiştir. Her kodun başında bulunan 1 ve 2 rakamları sırasıyla kolloidal silika miktarının 4 ml ve 8 ml olduğunu belirtmektedir. P ve D harfleri ise kullanılan bağlayıcının sırasıyla PVA ve Dekstrin olduğunu karakterize etmektedir. Kodların sonunda bulunan 5; 10; 15 ve 20 rakamları ise hazırlanan çözeltilerin içindeki polivinil alkol ve dekstrin yüzdelerini göstermektedir.

Polivinil alkol çözeltisi kullanılarak hazırlanan seramik çamurlarının bileşimleri çizelge 6.3’de, dekstrin çözeltisi kullanılarak hazırlanan çamurların bileşimleri ise çizelge 6.4’de belirtildiği gibidir.

Çizelge 6.3 Polivinil alkol çözeltileri kullanılarak hazırlanan numunelerin bileşimleri

Numune Kodu	SiC (gr)	PVA Çözeltisi (gr)	Nişasta (gr)	Kolloidal Silika (ml)
1P5	40	16 ml %5 PVA	2,40	4
1P10	40	16 ml %10 PVA	2,40	4
1P15	40	16 ml %15 PVA	2,40	4
1P20	40	16 ml %20 PVA	2,40	4
2P5	40	16 ml %5 PVA	2,40	8
2P10	40	16 ml %10 PVA	2,40	8
2P15	40	16 ml %15 PVA	2,40	8
2P20	40	16 ml %20 PVA	2,40	8

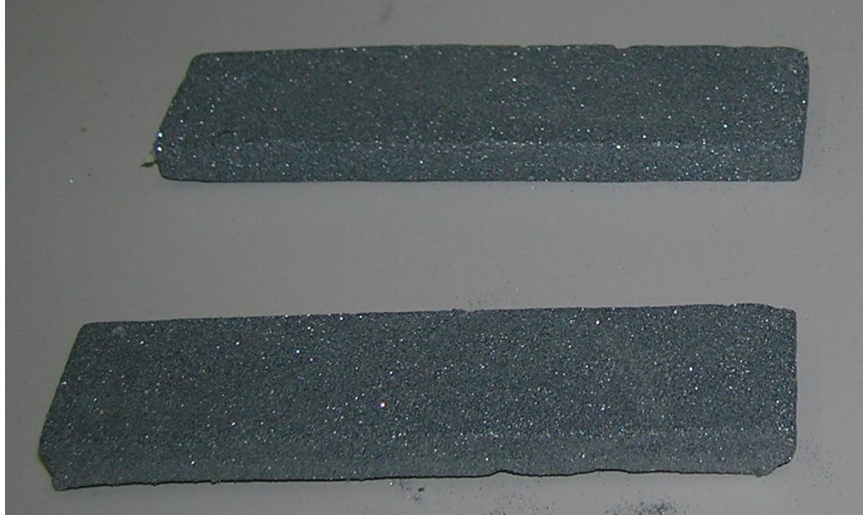
Çizelge 6.3 ve 6.4’te belirtilen karışımlar manyetik karıştırıcıda 5 dakika süre ile, yaklaşık 80⁰C sıcaklıkta, karıştırma hızı 4 olacak şekilde karıştırılmıştır. Bu işlemin ardından silikon kalıplara dökülmüştür ve içlerinde hava boşluğu kalmaması için titreşim işlemi uygulanmıştır ardından 1 hafta boyunca oda sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır. Bekleme süresinin uzun tutulma sebebi bünyede bulunan suyun yavaş bir şekilde sistemi terk etmesi ve oluşabilecek çatlakların önüne geçilebilmek istenmesidir. Bu işlemden sonra numuneler 50, 75 ve 100⁰C’de 30’ar dakika etüvde bekletilmiş ve bünyede kalmış olabilecek olan suyun sistemi terk etmesi amaçlanmıştır. Numunelerin gözle kontrolü sonucunda herhangi bir çatlak tespit edilmemiştir.

Çizelge 6.4 Dekstrin Çözeltileri kullanılarak hazırlanan numunelerin bileşimleri

Numune Kodu	SiC (gr)	Dekstrin Çözeltisi (ml)	Kolloidal Silika (ml)
1D5	40	16 ml %5 Dekstrin	4
1D10	40	16 ml %10 Dekstrin	4
1D15	40	16 ml %15 Dekstrin	4
1D20	40	16 ml %20 Dekstrin	4
2D5	40	16 ml %5 Dekstrin	8
2D10	40	16 ml %10 Dekstrin	8
2D15	40	16 ml %15 Dekstrin	8
2D20	40	16 ml %20 Dekstrin	8

6.3.2 Hazırlanan Numunelerin Pişirilmesi

Hazırlanan silisyum karbür preformlar basınçlı infiltrasyon prosesinde kullanılacak; içine alüminyum alaşımı emdirilecek ve kompozit malzeme üretilecektir. Dolayısıyla bu preformlarda istenen özelliklerin başında gözeneklilik ve sıvı alüminyumun basıncına dayanacak mukavemet gelmektedir. Bu özellikler ise son kademe olan pişirme işlemi sayesinde bünyeye kazandırılmaktadır. Deneyler boyunca 16 değişik numune hazırlanmış ve bu numunelerin tamamına aynı pişirme işlemleri uygulanmıştır. Fırına konulan malzemeler 3 saat sürede 1000⁰C'ye çıkarılmış (~5.5⁰C/dak.) ve bu sıcaklıkta 3 saat beklenmiştir. Bu işlemin ardından fırın kapatılmış ve numunelerin oda sıcaklığına soğutulması işlemi yavaş bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Sinterlenen numunelere ait bir fotoğraf Şekil 6.12'de görülmektedir.



Şekil 6.12 Sinterlenen Numune Örnekleri

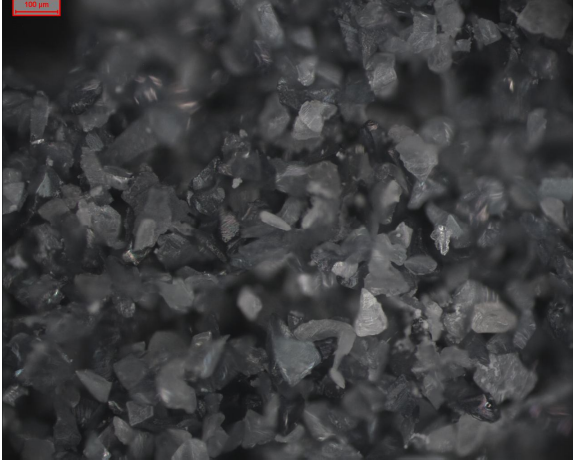
6.3.3 Preformların Mikroyapılarının ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

Farklı oranda ve bileşimde bağlayıcı içeren aynı koşullarda pişirilmiş numunelerin mikroyapı özellikleri optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu kullanılarak incelenmiştir. Pişirilen numunelerde üç nokta eğme dayanımı, kütle yoğunluğu ve görünür gözeneklilik ölçümleri yapılarak elde edilen değerler karşılaştırılmıştır.

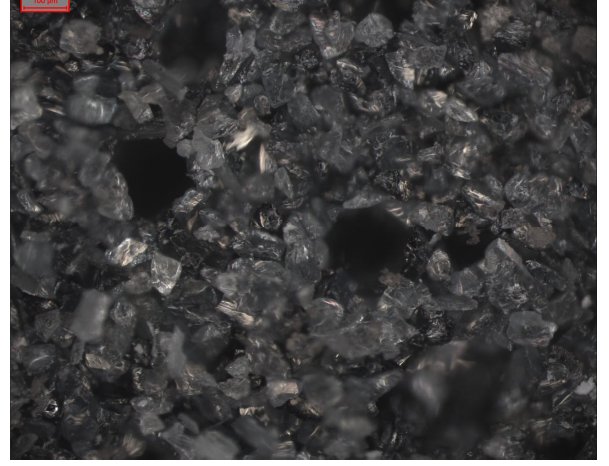
7. DENEY SONUÇLARI ve İRDELEME

7.1 Mikroyapı İncelemeleri

Şekil 7.1 ve şekil 7.2’de de görüldüğü gibi % PVA oranının artması ile artan ve ortalama 250 mikron çapında oluşan gözeneklerin PVA çözeltisinde çözünmeden kalan PVA’dan olduğu düşünülmektedir.

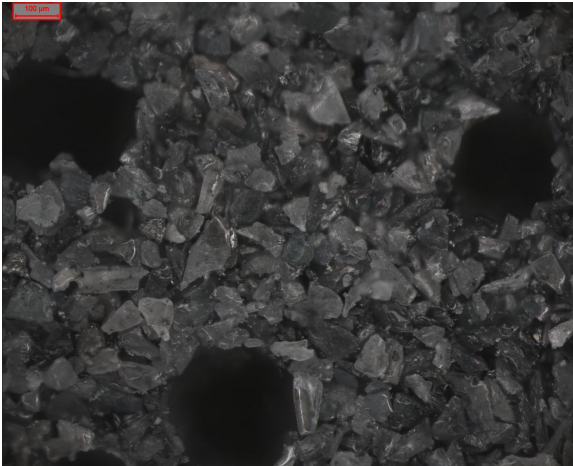


(a)

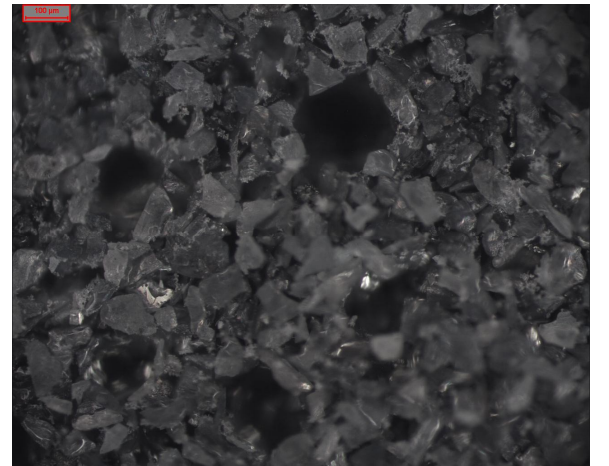


(b)

Şekil 7.1 Farklı oranlarda PVA içeren 1000⁰C’de 3 saat pişirilmiş preformların optik mikroskop görüntüsü a) %5 PVA b) %10 PVA (100X)



(a)



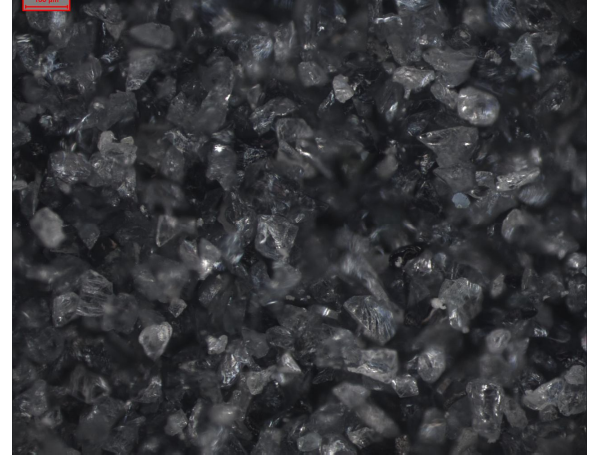
(b)

Şekil 7.2 Farklı oranlarda PVA içeren 1000⁰C’de 3 saat pişirilmiş preformların optik mikroskop görüntüsü a) %15 PVA b) %20 PVA (100X)

Şekil 7.3 ve şekil 7.4'den de görülebileceği gibi bağlayıcı olarak dekstrin kullanıldığında ortalama 250 mikron çapındaki bu poroziteler oluşmamıştır. Dekstrinin saf suda çok daha kolay çözelti oluşturması sonucu çözünmeyen bağlayıcı kütlelerinin yapıda bulunmaması büyük gözeneklerin oluşumunu engellemiştir.

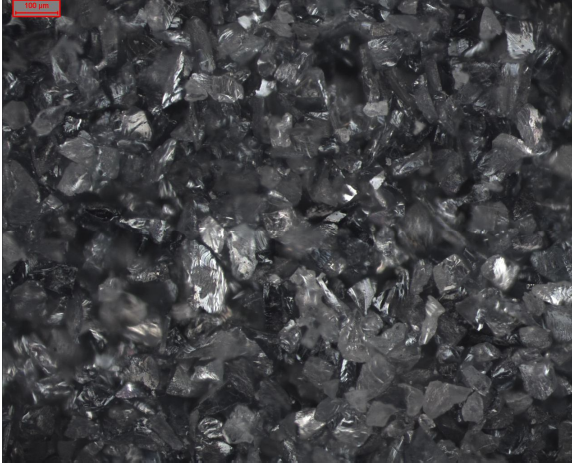


(a)



(b)

Şekil 7.3 Farklı oranlarda Dekstrin içeren 1000⁰C'de 3 saat pişirilmiş preformların optik mikroskop görüntüsü a) %5 Dekstrin b) %10 Dekstrin (100X)



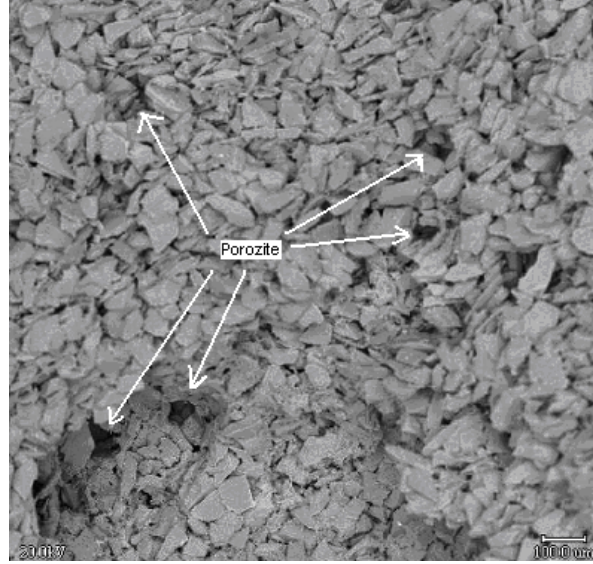
(a)



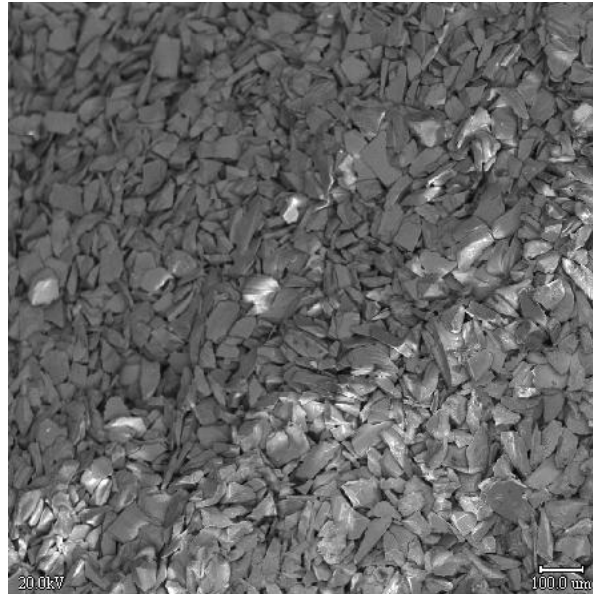
(b)

Şekil 7.4 Farklı oranlarda Dekstrin içeren 1000⁰C'de 3 saat pişirilmiş preformların optik mikroskop görüntüsü a) %15 Dekstrin b)%20 Dekstrin (100X)

Şekil 7.5’de verilen 1000⁰C’de 3 saat pişirilmiş numunelerin kırık yüzeylerinin SEM görüntüsüne bakıldığında aynı bulgularla karşılaşılmıştır. %20 PVA ile hazırlanan numunenin kırık yüzeyinde taneler arası por yapısının haricinde organik bağlayıcının yok olması ile oluşmuş olan büyük çaplı porozitelere rastlanmıştır. Şekil 7.6’da görüldüğü gibi bağlayıcı olarak % 20 Dekstrin kullanıldığında ise porozite yalnızca taneler arasında ve homojen bir dağılımdadır.

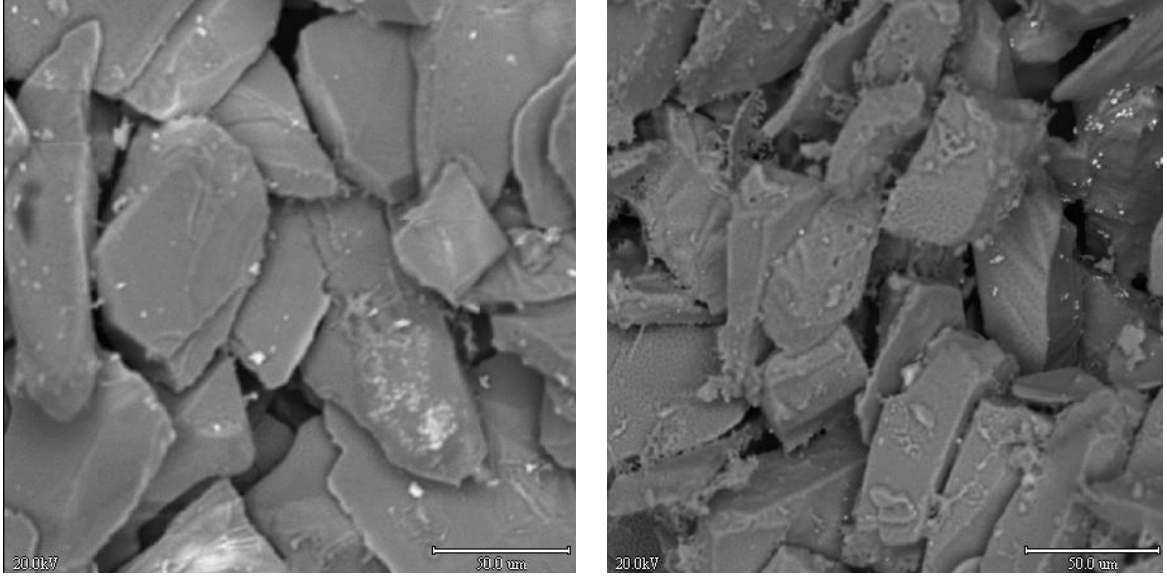


Şekil 7.5 PVA kullanılarak hazırlanan ve 1P20 koduna sahip preformun kırık yüzeyinden alınan SEM görüntüsü



Şekil 7.6 Dekstrin kullanılarak hazırlanan ve 1D20 koduna sahip preformun kırık yüzeyinden alınan SEM görüntüsü

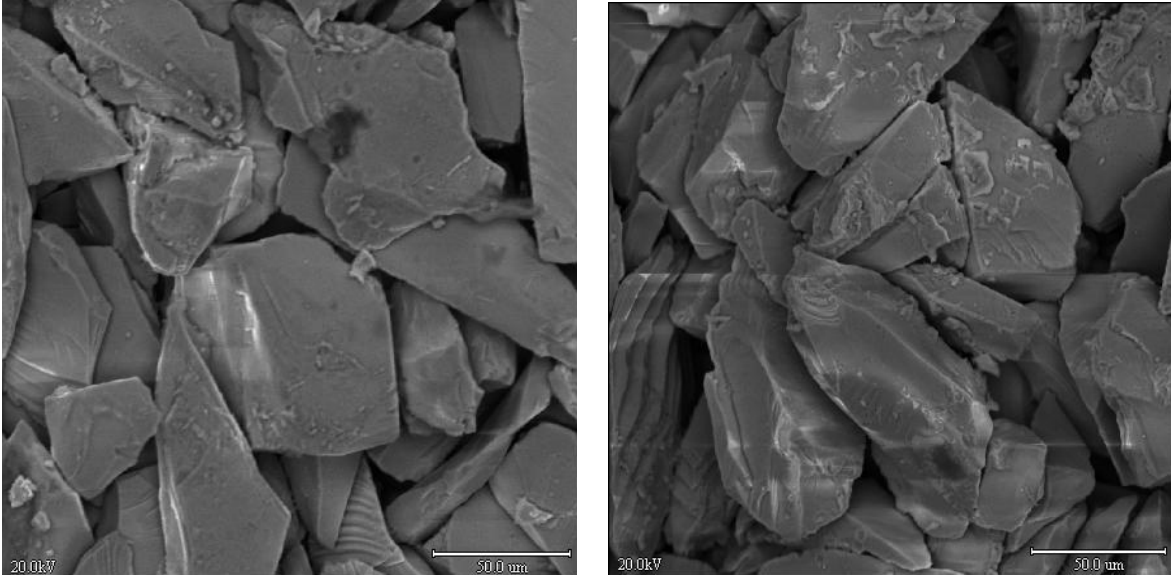
Bağlayıcı olarak kullanılan koloidal silikadan gelen SiO_2 ve atmosferik koşullarda 1000°C 'de pişirilme sırasında SiC tanelerinin yüzeyinde oluşan ve tanelerin birbirine bağlanmasını sağlayan SiO_2 filminin varlığı Şekil 7.7 ve Şekil 7.8'de gösterilmiştir.



(a)

(b)

Şekil 7.7 PVA kullanılarak şekillendirilen ve 1000°C 'de 3 saat pişirilen 1P20 kodlu numunenin a)üst yüzey b)kırık yüzey SEM görüntüleri



(a)

(b)

Şekil 7.8 Dekstrin kullanılarak şekillendirilen ve 1000°C 'de 3 saat pişirilen 1D20 kodlu numunenin a)üst yüzey b)kırık yüzey SEM görüntüleri

Şekil 7.7 (b) ve Şekil 7.8 (b)'de de görüldüğü gibi kırılma, silisyum karbür taneleri arasında bağ olarak oluşan silika filminde olmuştur.

7.2 Numunelerin Porozite Ölçümleri

Porozite ölçümleri ASTM C20-80a standardına göre su içinde kaynatma ve tartma işlemleri ile tesbit edilmiştir. Numunelerin tamamı 110⁰C'de kurutulmuştur ve kuru haldeki tartımlar alınmıştır(D). Ardından numuneler saf suda 2 saat kaynatılmıştır ve ardından 12 saat boyunca su içinde bekletilmiştir. Geçen sürenin ardından su içinde asılı durumda bulunan numunelerin tartımları alınmıştır(S). Sudan çıkarılan numunelerin üzerleri hafif bir bezle silinmiş ve suyla doymuş haldeki tartımlar alınmıştır(W).

Numunelerin Hacmi : W-S

Görünür Gözenek Hacmi : W-D

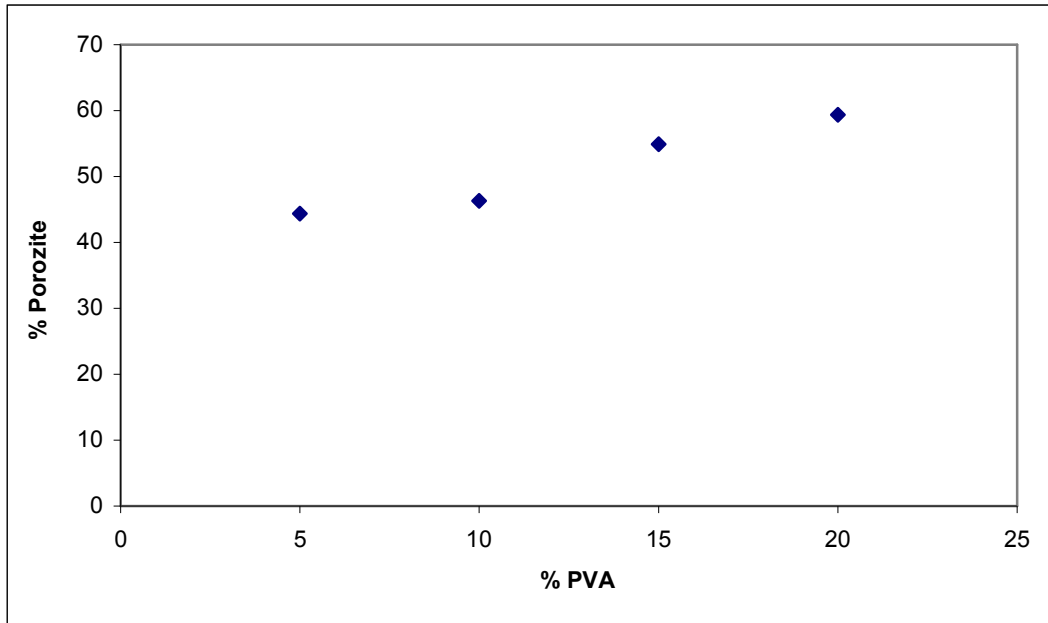
Bu değerlere göre görünür gözenek yüzdesi (%P) aşağıdaki formülden hesaplanmıştır.

$$\%P = \frac{W - D}{W - S} \times 100 \quad (7.1)$$

Farklı bağlayıcı ve bağlayıcı oranları kullanılarak elde edilen % porozite ölçümleri çizelge 7.1'de verilmiştir.

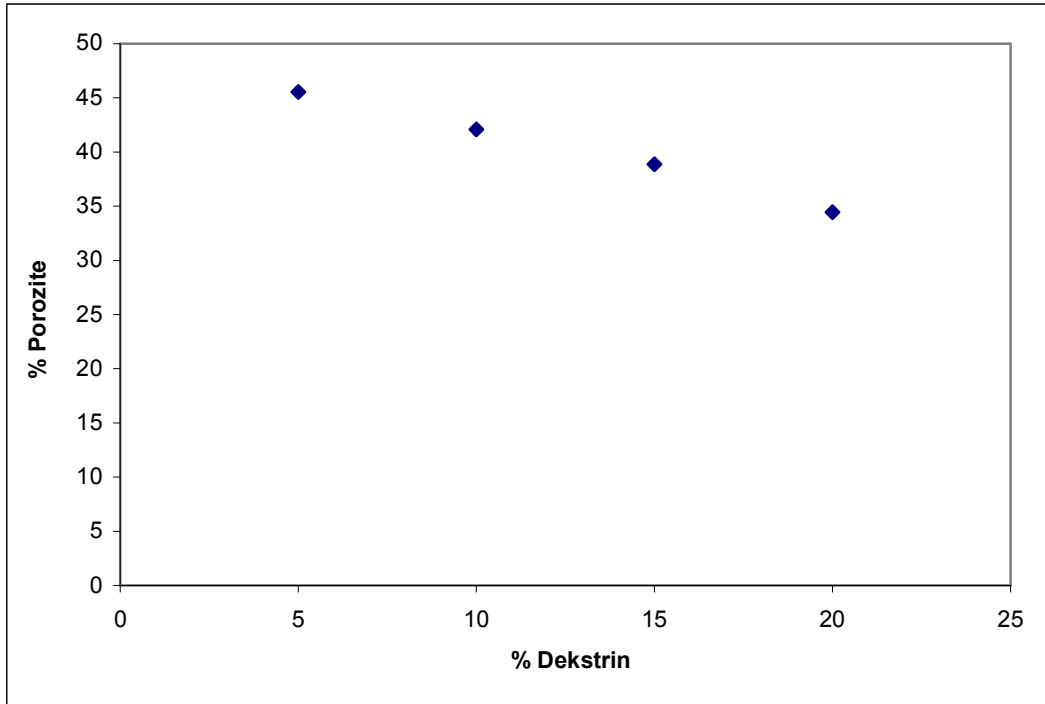
Çizelge 7.1 Organik bağlayıcı kullanılarak değişik % oranlarında PVA ve Dekstrin kullanılması ile elde edilen numunelerde % porozite değerleri

Numune Kodu	Porozite (%)	Numune Kodu	Porozite (%)
1P5	44,36	1D5	45,54
1P10	46,305	1D10	42,08
1P15	54,91	1D15	38,86
1P20	59,37	1D20	34,44
2P5	40,176	2D5	38,24
2P10	37,85	2D10	37,1
2P15	41,2	2D15	36,3
2P20	43,1	2D20	33,15



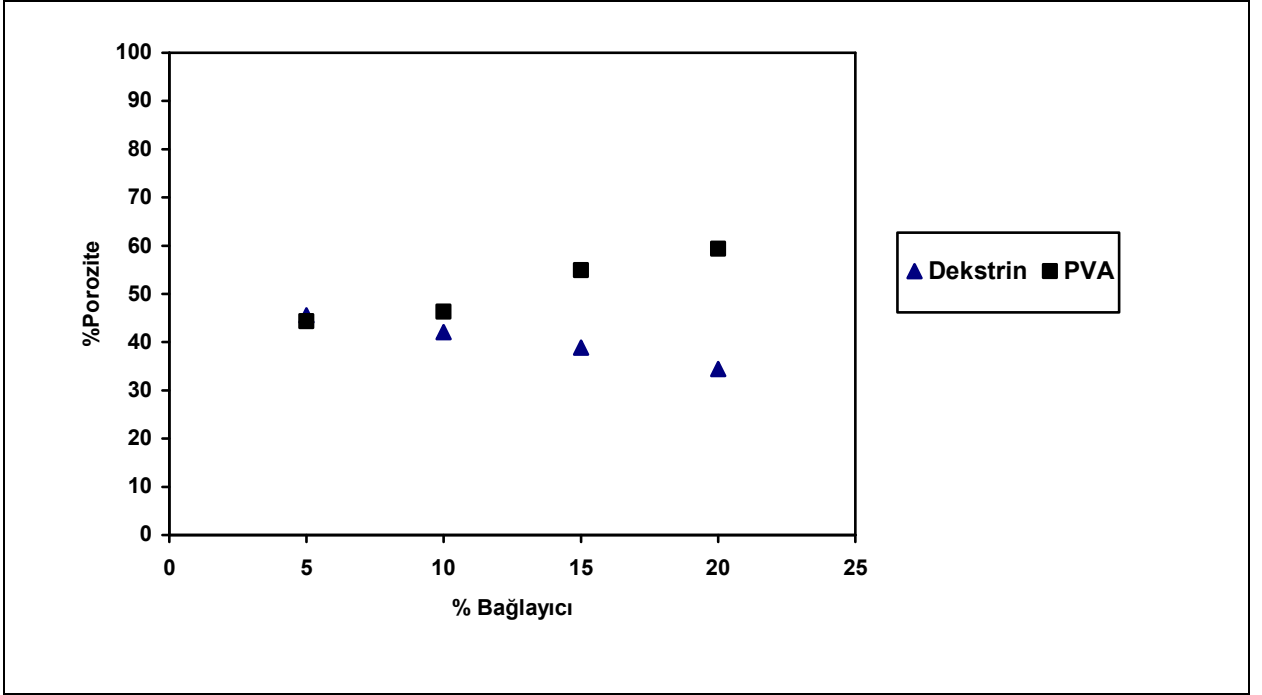
Şekil 7.9 Kodu 1P ile başlayan ve polivinil alkol kullanılarak hazırlanan numunelerin %Porozite - % PVA değişimi

Şekil 7.9 PVA çözeltisi kullanılarak hazırlanan ve kodu 1P ile başlayan numunelerdeki % porozite miktarlarını göstermektedir. %5'lik PVA çözeltisinde % 44,36'lık porozite elde edilmiştir. %10'luk PVA çözeltisinde % 46,305'lik porozite değerine ulaşılmıştır. %15'lik PVA çözeltisinde % 54,91 olan porozite değeri %20'lik PVA çözeltisinde %59,37 ile en yüksek değerine ulaşmıştır. Sonuç olarak PVA miktarının artmasıyla porozite değerlerinde artış görülmüştür. Meydana gelen bu artışın yapıda kalan çözünmemiş PVA tanelerinin numunenin pişirilmesi sırasında yapıdan uzaklaşması ile oluşan porların etkisi ile olduğu düşünülmektedir.



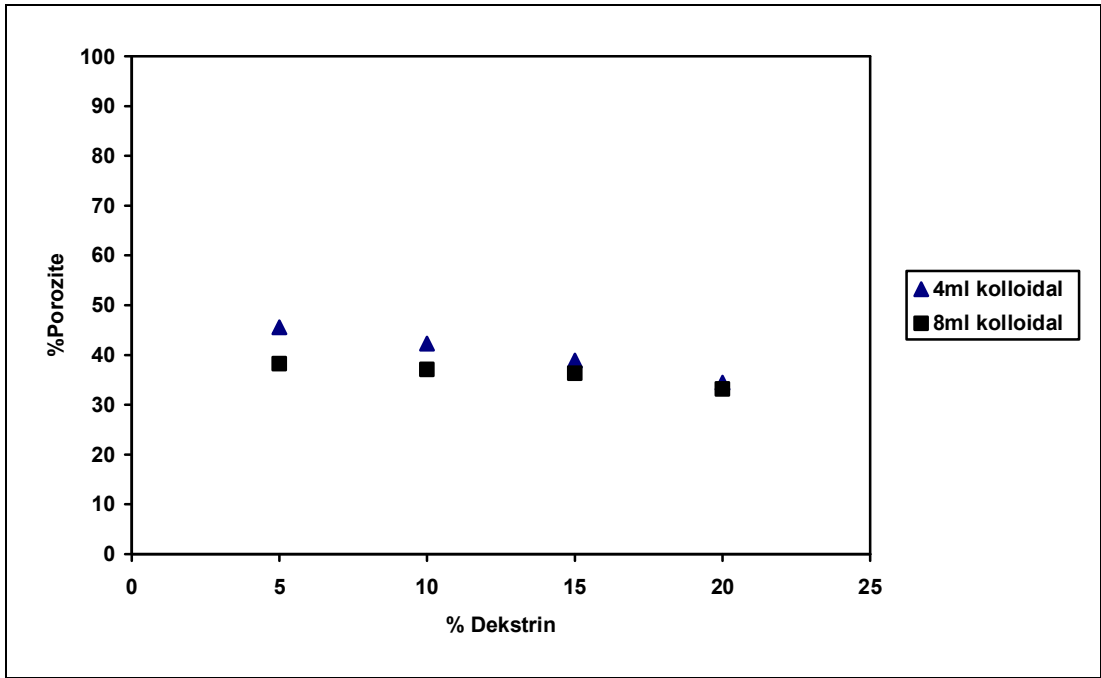
Şekil 7.10 Kodu 1D ile başlayan yani dekstrin çözeltisi kullanılarak hazırlanan numunelerin % porozite - % dekstrin değişimi

Şekil 7.10 dekstrin çözeltisi ile hazırlanan ve kodu 1D ile başlayan numunelerin porozite değişimlerini göstermektedir. Şekil 7.10'a göre %45,54 ile en yüksek porozite değeri %5'lik dekstrin çözeltisi ile elde edilmiştir. %10'luk dekstrin çözeltisi ile porozite oranı %42,08'e düşmüştür. %15'lik dekstrin çözeltisinde porozite % 38,86'ya düşmüştür. %20'lik dekstrin çözeltisinde ise en düşük porozite değeri olan %34,44'lük sonuç elde edilmiştir. Şekil 7.10'dan çıkan sonuç dekstrin miktarı arttıkça porozitede azalma görüldüğüdür.

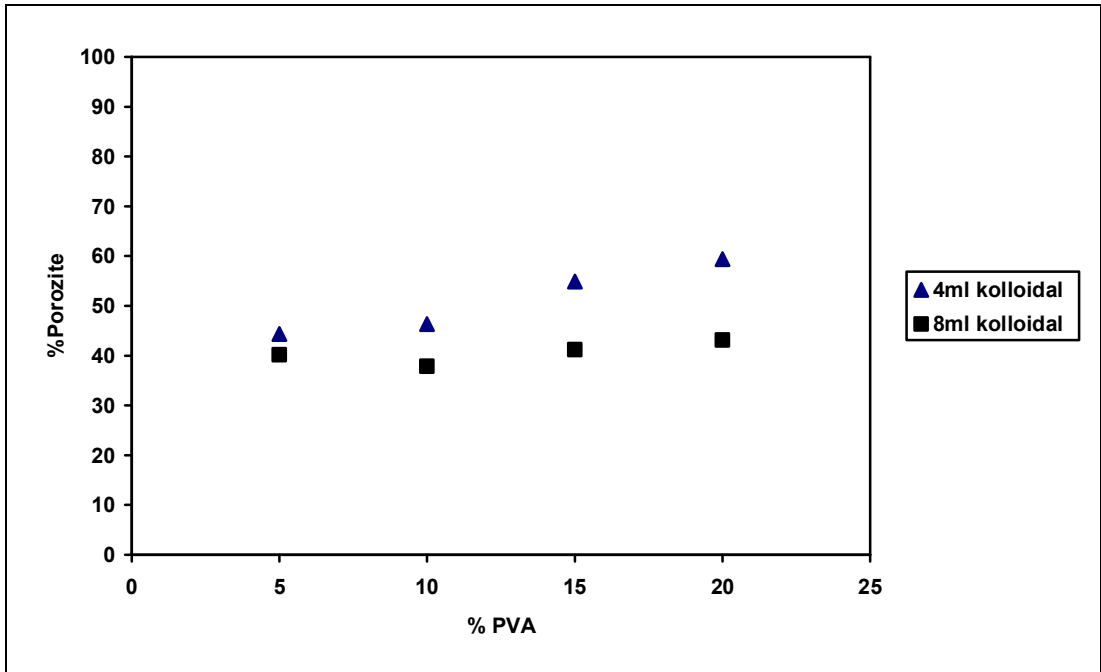


Şekil 7.11 1D ve 1P kodu ile başlayan numunelerde porozite değişimleri

Şekil 7.11 1D ve 1P kodu ile başlayan numunelerin porozite grafiklerinin karşılaştırılmasını göstermektedir. Dekstrin çözeltisi kullanıldığında ulaşılan % porozite miktarı %5'lik çözeltide % 45,54; %20'lik çözeltide ise %34,44'tür. Çözelti içindeki dekstrin miktarı arttıkça porozitede azalma görülmektedir. PVA çözeltisinde ise tam tersi bir durum söz konusudur. %5'lik olacak şekilde hazırlanmış PVA çözeltisinden elde edilen porozite %44,36'lık değer ile minimum seviyededir. Çözelti içindeki PVA miktarının sırasıyla %10; %15 ve %20 olacak şekilde artırılmasıyla elde edilen % porozite değerleri sırasıyla % 46,305; %54,91 ve %59,37 şeklindedir. %5'lik PVA ve Dekstrin çözeltileri kullanılarak hazırlanan numunelerde büyük bir % porozite farkı elde edilememiştir. % 20 oranında bağlayıcı içeren numuneler birbirleriyle kıyaslandıklarında ise % porozitelerindeki fark % 24,93 olarak bulunmuştur.



Şekil 7.12 1D ve 2D kodu ile başlayan numunelerin karşılaştırmalı porozite incelemesi



Şekil 7.13 1P ve 2P kodu ile başlayan numunelerin karşılaştırmalı porozite incelemesi

Şekil 7.12 ve 7.13 incelendiğinde görülebileceği gibi inorganik bağlayıcı olarak kullanılan koloidal silika oranının artırılması ile hem dekstrin çözeltisi kullanılarak hazırlanan numunelerin porozitelerinde hem de PVA çözeltisi kullanılarak hazırlanan numunelerin porozitelerinde azalma tesbit edilmiştir. En büyük azalma % 20 PVA kullanıldığında % 59,37'lik porozite miktarının koloidal silika miktarının artması ile % 43,10'a düşmesi şeklinde olmuştur.

7.3 Üç Noktadan Eğme Dayanımı Ölçümleri

Üç noktada eğme deneyleri ASTM C 674-81 standardına göre yapılmıştır. İki destek arası mesafe 40 mm olarak alınmıştır. Numunelerin yüzeyleri zımparalanarak hata kaynağı olabilecek pürüzler giderilmiştir. Numunelere üç noktada kırılma testi uygulandıktan sonra aşağıdaki formülden malzemenin dayanımı hesaplanmıştır. Deneylerde her örnek grubu için 3 numune kullanılmış ve değerlerin ortalaması alınmıştır.

$$\delta = \frac{3PL}{2bd^2}$$

P=Numunenin kırıldığı yük (kg)

L=İki destek arası mesafe (40 mm)

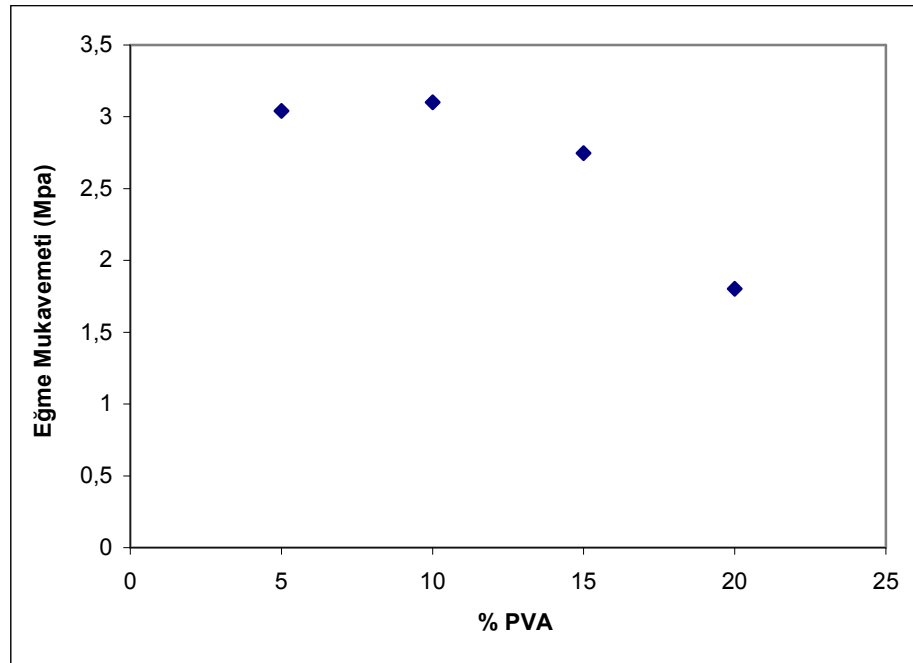
b=Numunenin genişliği (mm)

d=Numunenin kalınlığı (mm)

Farklı bağlayıcı ve bağlayıcı oranları kullanılarak elde edilen eğme mukavemeti ölçümleri çizelge 7.2'de verilmiştir. 1P kodlu numunelerin eğme mukavemeti ile % PVA miktarı arasındaki ilişki Şekil 7.14'te verilmiştir.

Çizelge 7.2 Organik bağlayıcı olarak değişik oranlarda PVA ve Dekstrin kullanılması ile elde edilen numunelerde eğme mukavemeti değerleri

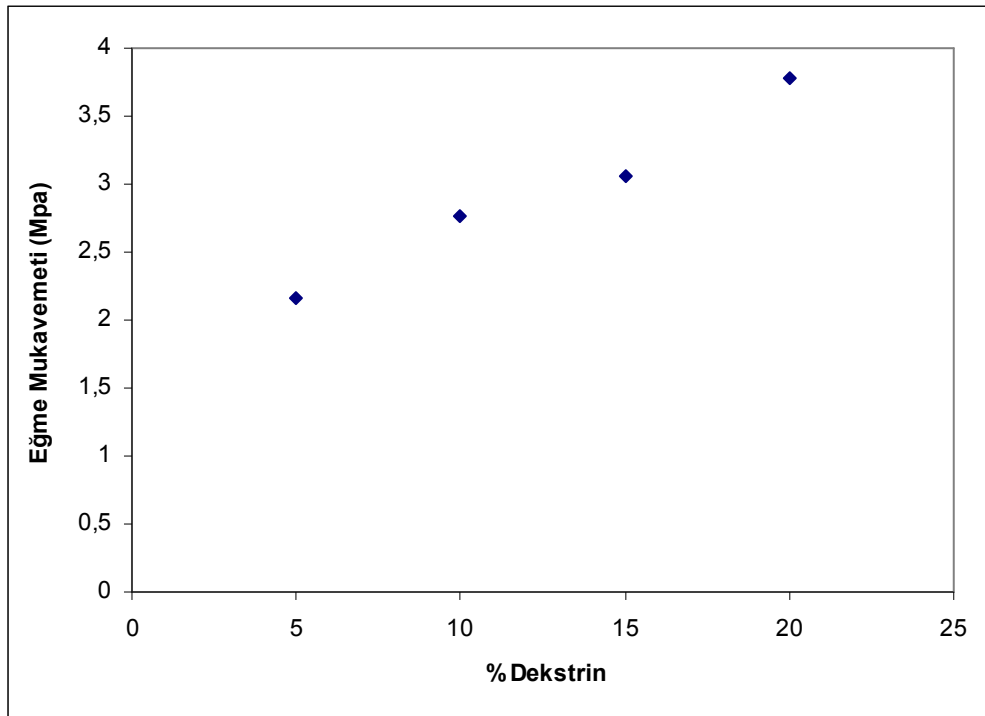
Numune Kodu	Mukavemet (Mpa)	Numune Kodu	Mukavemet (Mpa)
1P5	3,04	1D5	2,167
1P10	3,102	1D10	2,758
1P15	2,748	1D15	3,053
1P20	1,802	1D20	3,782
2P5	4,235	2D5	2,856
2P10	3,94	2D10	3,152
2P15	3,152	2D15	3,368
2P20	2,856	2D20	3,949



Şekil 7.14 1P kodu ile başlayan numunelerde mukavemet değişimi

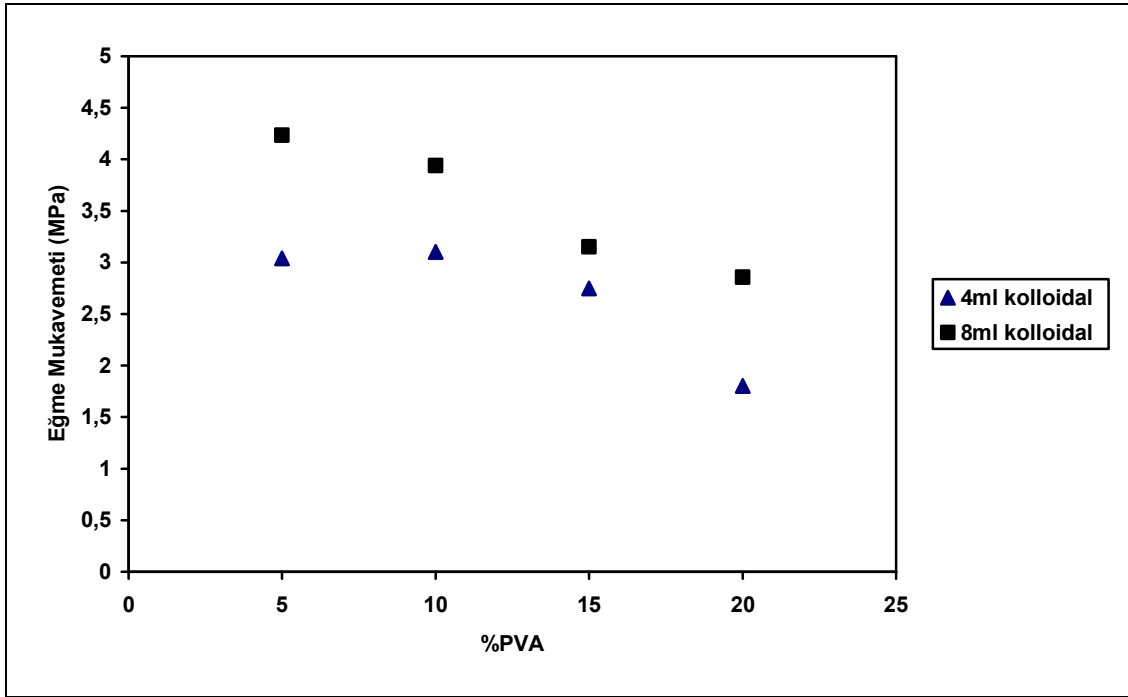
Preform bileşimindeki PVA oranının artması ile birlikte eğme mukavemeti değerlerinde düşme olduğu görülmüştür. Bu sonuç PVA miktarının artması ile porozite oranının artması sonucu ile uyum içindedir. Ancak % 5 PVA'da bulunan düşük mukavemet değerinin; numunenin kurutulması sırasında yapısında oluşabilen istenmeyen çatlaklar nedeniyle olabileceği düşünülmektedir. Şekil 7.14 incelendiğinde görülmektedir ki eğme mukavemeti değeri artan porozite oranı ile birlikte 1,802 Megapascal'a kadar düşmektedir.

Bağlayıcı olarak Dekstrin kullanımında mukavemet, çözelti içindeki % Dekstrin miktarının artmasıyla 2,167 megapascaldan (%5'lik Dekstrin çözeltisi için) 3,782 megapascala (%20'lik dekstrin çözeltisi için) çıkmıştır. (Şekil 7.15)



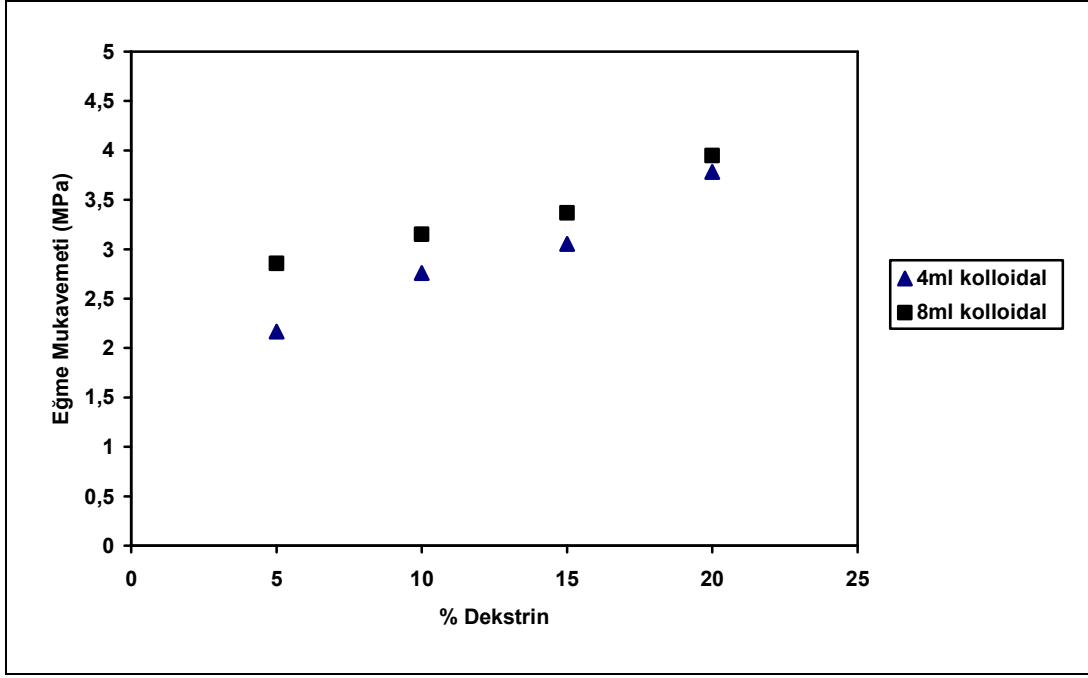
Şekil 7.15 1D kodlu numunelerde eğme mukavemetinin %dekstrin oranına bağlı değişimi

1000⁰C'de 3 saat pişirilen preformların mukavemet değerlerini yükseltebilmek amacıyla inorganik bağlayıcı olarak ilave edilen kolloidal silika oranı 8ml'ye çıkarılarak hazırlanan numunelerin eğme mukavemeti sonuçları Şekil 7.16 ve 7.17'de verilmiştir. Şekillerde de görülebileceği gibi her iki grup (PVA'lı ve Dekstrinli) numunelerde de kolloidal silika oranı arttığında eğme mukavemeti değerleri artmaktadır. Şekil 7.16'da görüldüğü gibi en yüksek mukavemet değeri % 5 PVA'lı numunede 8 ml kolloidal silika kullanılarak elde edilmiştir ve çıkan değer 4,235 megapascaldır.



Şekil 7.16 1P ve 2P kodlu numunelerin eğme mukavemetlerinin %PVA oranına bağlı değişimi

1D ve 2D kodlu numunelerin eğme mukavemeti değerleri Şekil 7.17'de belirtilmiştir. Şekil 7.17'den de görülebileceği gibi kolloidal silika miktarının artması ile elde edilen numunelerde mukavemet değerleri artmıştır. Bu artış 0,689 megapascal ile %5 dekstrinli numunede en yüksek; 0,167 megapascal ile %20 dekstrinli numunede en düşüktür.



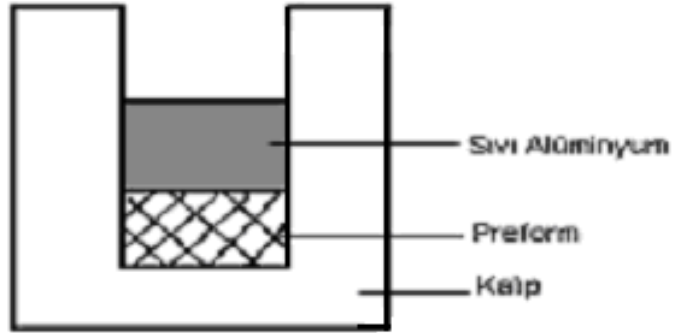
Şekil 7.17 1D ve 2D kodlu numunelerin eğme mukavemetlerinin %dekstrin oranına bağlı değişimi

7.4 Hazırlanan Preformlara Sıvı Alüminyumun Emdirilmesi

Preformlar gözenekli yapıda elde edildikten ve yukarıda açıklanan deneyler yapıldıktan sonra kalan son adım olan sıvı alüminyumun emdirilmesi işlemine geçilmiştir. 1P20 koduna sahip olan yani %20'lik PVA çözeltisi kullanılarak hazırlanmış numuneler alaşımlı çelikten yapılmış kalıbın içine konmuş ve kalıp 800 °C'ye çıkarılmıştır. Seramik bir kalıbın içinde ergitilmiş alüminyum (Etial 140, bileşimi çizelge 7.3'de belirtilmiştir), preform içeren alaşımlı çelik kalıba üstten boşaltılmıştır. Daha sonra sıvı alüminyumun preformun derinliklerine doğru ilerlemesi için 30 dakika civarında beklenmiştir. Şekil 7.18'de uygulanan işlemin şematik görüntüsü yer almaktadır.

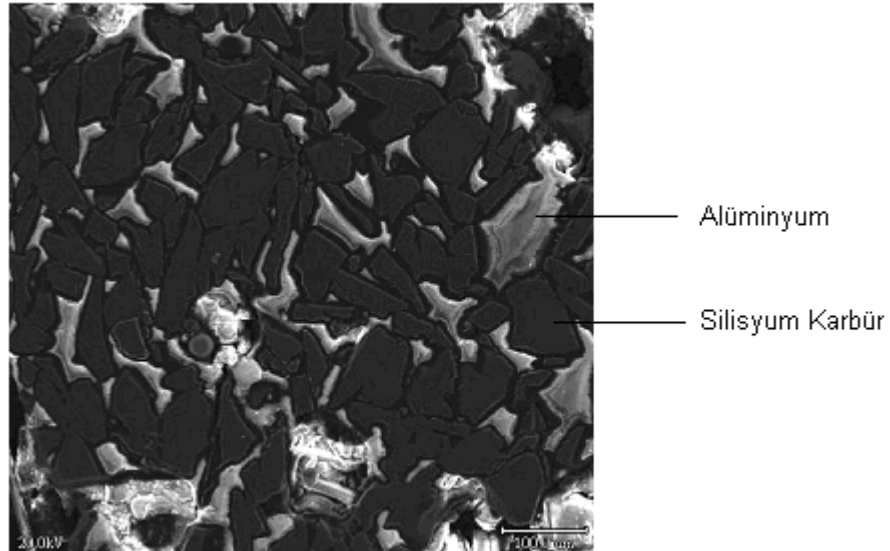
Çizelge 7.3 Etial 140 alaşımının bileşimi [4]

Fe	Si	Cu	Mn	Mg
0,60	11,50 – 13,50	0,10	0,40	0,10
Zn	Ni	Ti	Pb	Sn
0,10	0,10	0,15	0,10	0,05



Şekil 7.18 Sıvı alüminyum emdirme prosesinin şematik görüntüsü.

Sıvı metal emdirme prosesinden sonra üretilen alüminyum matrisli, silisyum karbür takviyeli kompozit numunenin mikroyapısı Şekil 6.19’da verilmiştir.



Şekil 7.19 Alüminyum matrisli silisyum karbür takviyeli kompozitin SEM görüntüsü

8. SONUÇLAR

1-Thünemann ve diğerleri (2007) yaptıkları çalışmalarda SiC tozlarını polimetilsiloksan bağlayıcı kullanarak 1000°C 'de 3 saat sinterlemişlerdir. Preform kompozisyonuna ve üretim parametrelerine bağlı olarak elde edilen eğme mukavemeti değerleri 3,6 MPa ile 31 MPa arasında değişmektedir. Xiaoyu ve diğerleri (2008), yaptıkları çalışmalarda 900°C 'nin üzerindeki sinterleme işlemlerinde SiC tozunun yüzeyinde SiO_2 tabakası oluştuğunu bildirmişlerdir. Oluşan SiO_2 'nin yer değiştiren bağları preformun mukavemetini arttırmaktadır. Yapılan çalışmalarda 1100°C 'de 3 saat sinterleme yapıldığı takdirde basma mukavemetinin 3.8MPa olduğu belirtilmiştir. Aynı sıcaklıkta 4 saat sinterleme yapıldığı takdirde basma mukavemetinin 5MPa'ya yaklaştığı görülmüştür. Bununla birlikte, gereğinden fazla SiO_2 'nin gözenekleri tıkadığı, dolayısıyla da alüminyum alaşımlarının içine infiltre olamadığı belirtilmiştir.

Yukarıda değinilen bilgilerin ışığında sinterleme işleminin 1000°C 'de 3 saat yapılmasına karar verilmiştir. Elde etmiş olduğumuz preformlarda bileşimlere bağlı olarak mukavemet değerlerinin 1,802 MPa ile 4,235 MPa arasında değiştiği görülmüştür.

2-Kolloidal silikanın eğme mukavemeti ve poroziteye olan etkileri de çalışmalarda incelenmiştir. Kullanılan kolloidal silika miktarının iki katına çıkarılmasıyla mukavemet değerlerinde artış, porozite değerlerinde ise azalma tesbit edilmiştir. Porozite değerlerindeki azalmaların kolloidal silikanın taneler arasında kalarak gözenek oranını azaltmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

3-Organik bağlayıcı olan PVA miktarındaki artış ile porozite değerlerinde ve gözenek boyutlarında artış, eğme mukavemeti değerlerinde ise azalma tesbit edilmiştir. Elde edilen en yüksek porozite oranı %59,37'lik değer ile 1P20 kodlu numuneye aittir.

4-PVA katkılı numunelerin kırık yüzeylerinden elde edilen mikroyapı görüntülerinde taneler arasındaki porozitelerin yanı sıra yaklaşık 250 mikron çapında küresel poroziteler de göze çarpmaktadır. Bu durum yapılan çözelti hazırlama işlemi sırasında polivinil alkolün yapıda homojen çözülemediğini böylece preform yapısında kalan kütleli PVA'ların pişirme işlemi sırasında uzaklaşması ile büyük porozitelerin oluştuğu düşünülmektedir.

5- 27-07-02-05 nolu ve “Sıkıştırılmalı Döküm Yöntemiyle Alüminyum Matrisli Hibrid Takviyeli Kompozit Üretimi ve Karakterizasyonu” konulu APK projesinin bir bölümü olarak yapılan bu çalışmalar sonucu ulaşılan yaklaşık 4 megapascallık preform mukavemetinin ve % 44,36 oranında açık porozite miktarının sıkıştırılmalı döküm yönteminde uygunluğu için döküm çalışmalarının devam etmesi gerektiği ve mukavemetin yeterli olmaması durumunda kolloidal silika miktarının artırılmasıyla mukavemetin artırılabilceği saptanmıştır.

KAYNAKLAR

Aguilar-Martinez, J.A., Pech-Canul, M.I., Rodriguez-Reyes, M. ve De La Pena, J.L., (2003), "Effect of Processing Parameters on the Degree of Infiltration of SiCp Preforms by Al-Si-Mg Alloys", *Materials Letters*, 57:4332-4335.

Ahlatçı, H., Candan, E. ve Çimenoglu, H., (2003), "%60 SiC-Al Kompozitlerin Aşınma Davranışına SiC Partikül Boyutunun Etkisi", *İTÜ Dergisi*, Cilt:2 (3): 37-42.

Akyol Taş Firma Kataloğu, (2004)

Altinkök, N., Demir, A. ve Ozsert, I., (2003), "Processing of Al₂O₃/SiC Ceramic Cake Preforms and Their Liquid Al Metal Infiltration", *Composites Part A*, pg:577-582

Asthana, R., (1998), *Solidification Processing of Reinforced Metals*, Trans Tech Publications, Inc., Uetikon-Zuerich Switzerland.

Baklouti, S., Bouaziz, J., Chartier, T. ve Baumard, J.F., (2001), "Binder Burnout and Evolution of the Mechanical Strength of Dry-pressed Ceramics Containing Poly(Vinyl Alcohol)", *Journal of the European Ceramic Society* 21:1087-1092.

Balaban, C., (2005), *Karbotermal Redüksiyon Yöntemiyle Ön Şekillendirilmiş Silisyum Karbür Üretim Parametrelerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Chawla, N. ve Chawla, K. K., (2005), *Metal Matrix Composites*, Springer, New York.

Chawla, K. K., (1998), *Composite Materials Science and Engineering*, Springer-Verlag, New York.

Dönertaş, K., (2005), *Etil Silikat Bağlı Silisyum Karbür Plaka Üretim Parametrelerinin İncelemesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Ergün, N., (2006), *Borkarbür-Silisyumkarbür Kompozitlerinin Reaktif Sıcak Presleme ile Üretilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

Geçkinli, E. A., (1991), *İleri Teknoloji Malzemeleri*, İTÜ, İstanbul.

Isobe, T., Tomita, T., Kameshime, Y., Nakajima, A. ve Okada, K., (2006), "Preparation and Properties of Porous Alumina Ceramics with Oriented Cylindrical Pores Produced by an Extrusion Method", *Journal of the European Ceramic Society* 26:957-960.

Koçer, T., (2002), *Basınçlı İnfiltrasyon Yöntemiyle Üretilen Al₂O₃ ve SiC Partikül Takviyeli Al-Mg Metal Matriksli Kompozitlerin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

LeBeau, M.J. ve Boonyongmaneerat, Y., (2007), "Comparison Study of Aqueous Binder Systems for Slurry-based Processing", *Materials Science and Engineering A* 458:17-24.

Lee, W.E. ve Rainforth, W.M., (1994) *Ceramic Microstructures Property Control by Processing*, Chapman & Hall, London.

Lyckfeldt, O. ve Ferreira, J.M.F., (1998), "Processing of Porous Ceramics by Starch Consolidation", *Journal of the European Ceramic Society* 18:131-140.

Öğünç, H., (2006), Sıcak Presleme ile Sinterlenmiş α -SiC Matriksli B₄C Kompozitlerinin Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

Pech-Canul, M.I., Katz, R.N. ve Makhlof, M.M., (2000), “Optimum Conditions for Pressureless Infiltration of SiC_p Preforms by Aluminium Alloys”, Journal of Materials Processing Technology 108:68-77.

Schwartz, M. M., (1997), Composite Materials Volume I: Properties, Nondestructive Testing, and Repair, Prentice-Hall PTR Prentice-Hall, Inc., New Jersey

Seyed Reihani, S.M., (2006), “Processing of Squeeze Cast Al6061-30vol% SiC Composites and Their Characterization”, Materials and Design 27: 216-222.

Shen, X., Ren, S., He, X., Qin, M., ve Qu, X., (2008), “Study on Methods to Strengthen SiC Preforms for SiC_p/Al Composites by Pressureless Infiltration”, Journal of Alloys and Compounds, 468:158-163.

Soboyejo, W. O., ve Srivatsan T. S., (2006), Advanced Structural Materials Properties, Design Optimization, and Applications, CRC Press, New York.

Soboyejo, W. O., ve Srivatsan T. S., (2006), Advanced Structural Materials Properties, Design Optimization, and Applications, CRC Press, New York.

Suresh, S., Mortensen A. ve Needleman, A., (1993) Fundamentals of Metal-Matrix Composites, Butterworth-Heinemann, USA.

Szafran, M. ve Wisniewski, P., (2001), “Effect of the Bonding Ceramic Material on the Size of Pores in Porous Ceramic Materials”, Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 179: 201-208.

Thünemann, M., Beffort, O., Kleiner, S. ve Vogt, U., (2007), “Aluminium Matrix Composites Based on Pre-ceramic-Polymer-Bonded SiC Preforms”, Composites Science and Technology, 67:2377-2383.

Wilkes, T.E., Young, M.L., Sepulveda, R.E., Dunand, D.C. ve Faber, K.T., (2006), “Composites by Aluminium Infiltration of Porous Silicon Carbide Derived From Wood Precursors”, Scripta Materialia 5555:1083-1086.

İNTERNET KAYNAKLARI

[1] http://en.wikipedia.org/wiki/Polyvinyl_alcohol

[2] <http://www.colloidalsilica.com/>

[3] <http://www.azom.com/Details.asp?ArticleID=1385>

[4] http://www.ustunkardeslermetal.com/kul_biy_al_kul.htm

[5] http://encyclopedia.jrank.org/DEM_DIO/DEXTRINE_BRITISH_Gum_STARCH_Gum.html

ÖZ GEÇMİŞ

Doğum Tarihi :07.12.1983

Doğum Yeri :İstanbul

Lise :Korkmaz Yiğit Lisesi (Arnavutköy/İSTANBUL)

Lisans :2001-2006 Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği
Bölümü

Yük.Lisans :2006-2009 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Ens. Metalurji ve
Malzeme Mühendisliği ABD. Üretim Programı

Çalıştığı Kurum

Kotekna Gözetim A.Ş. (Devam Ediyor)