

Seramik Liflerin Üretimi, Özellikleri ve Kullanımı

Yusuf ULCAI
Doç. Dr.

Uludağ Ün. Tekstil Müh. Böl., BURSA

Oksit, nitrit veya karbit esaslı olan seramikler metalik olmayan inorganik malzemelerdir. Yoğunlukları organik malzemelerden yüksek fakat metallarinkinden daha düşük olan seramik lifler, cam ve karbon lifinin kullanıldığı yerlerde kullanım alanı bulurlar.

Seramik lifler organik ve diğer liflerin sahip olmadıkları bazı özellikleri gösterirler. Bunların en önemlilerinden biri ısıl kararlılığıdır. Mukavemet ve elastik modül gibi yapısal özellikler, inert ve hatta oksitleyici ortamlarda bile 1200-1400°C'e kadar korunabilmektedir. Seramik liflerin kalın filament çapı, yüksek elastik modülü ve düşük kopma uzaması kullanımında bazı zorlukları ortaya çıkarmakla birlikte; uygun kullanım ile 2 ve 3 boyutlu dokuma ve çapraz dokuma yapılar oluşturabilmektedir. Bu yazıda, seramik liflerin üretim teknikleri, özellikleri ve kullanım alanları verilecektir.

THE PRODUCTION, PROPERTIES AND USE OF CERAMIC FIBRES

Ceramics are frequently defined as inorganic non-metallic materials, oxide or non-oxide. The main ceramics are oxides, nitrites and carbides. Often they have the same kind of applications as silica, carbon and glass fibres. Ceramics have higher densities than organic materials but lower than metals.

Ceramic fibers have many unique properties compared with organic and other fibres. Foremost is the thermal stability far beyond the capabilities of organic and even most metal fibres. Structural properties such as strength and modulus may be retained to 1200-1400°C in inert and oxidizing atmospheres. Compared with organic fibres, ceramic fibres have high elastic module and low elongations to break. These if combined with high filament diameter can lead to low breaking strengths and difficulty in handling. It is possible, with proper handling, to fabricate these fibres into useful structures including two and three dimensional woven fabrics and braids.

1. GİRİŞ

Seramikler metalik olmayan inorganik malzemelerdir. Oksitler, nitritler ve karbitler seramik malzemelerin esasını oluştururlar. Silika, karbon ve cam lifinin kullanıldığı yerlerde uygulama alanı bulurlar.

Alışlagelmiş tekstil lifleri, tabii ve sentetik organik polimerlerden müteşekkildir. Cam, asbestos ve karbon lifleri bilinen istisnalardır. Seramik liflerin önemi ve

üretim hacmi, malzeme alanındaki gelişmelerin hızlanmasına paralel olarak, her geçen gün artmaktadır.

Askeri ve sanayi kullanım alanlarındaki, daha hızlı, daha yüksek performanslı, daha sert ve daha yüksek sıcaklıklardaki kullanımlar için gerekli malzemeye olan ihtiyaç, yeni liflerin işleme, gelişim ve bulunması çalışmalarına hareketlilik getirmiştir. Jet motorlarında, supersonik yönlendirme uçları ve kanatlarda, ve daha etkili sıcaklık değişimi gerektiren kullanım alanları için kullanılan metal ve seramik matriks esaslı kompozitlerin takviyelendirilmesi için yüksek sıcaklık özellikleri gereklidir. Metallerde göre düşük yoğunluk, yüksek katılık, düşük elektrik iletkenliği, düşük ısıl iletkenlik gibi diğer özellikler, pahalı spor eşyalarında, elektronik devre kartlarında, otomobil sanayi ve ticari havacılık pazarlarında uygulama alanı bulmaktadır.

Karbon liflerinin enteresan özelliklerinden biri, 1500°C üzerinde mikro yapısının kararlılık göstermesidir. Oksitlenen ortamlarda sınırlı ömrü olmasına rağmen, karbon lifleri, yüksek sıcaklık gerektiren kullanım alanlarındaki uygulamalar için, lif takviyeli kompozit malzemelerde yeterli takviyelendirme sağlayan tek lif olarak bilinir. Karbon liflerinin yüksek sıcaklıklardaki kullanım ömürleri liflere koruyucu tabaka (haşıl) ile uzatılabilir. Fakat bu konudaki esas çözüm, şu andaki seramik liflerinin kusuru olan mikro yapıdaki ısıl kararlılığın geliştirilmesidir. Böylece seramik liflerinin düşük sıcaklıklardaki mükemmel özelliklerinden yüksek sıcaklıklarda da faydalanılmış olacaktır. Seramik lifleri oksitlenmeye karşı daha fazla kararlılık göstereceklerdir. Bu yüzden seramik liflerinin geliştirilmesi staretjik bir gerekliliktir.

Seramik lifler, organik ve diğer liflerle karşılaştırıldığında, birçok enterasan özelliklere sahiptirler. Seramik liflerin ısıl kararlılığı organik liflerden ve hatta çoğu metal liflerden daha iyidir. Mukavemet ve modül gibi yapısal özellikler, inert ve hatta oksitleyici şartlarda dahi 1200-1400°C'ye kadar korunabilmektedir. Mekanik yükleme olmaksızın, bazı seramik lifler erime noktalarına çok yakın sıcaklıklara kadar bu kararlılıklarını muhafaza edebilmektedirler. Karbon liflerinin mekanik özellikleri de, yüksek sıcaklıklarda kararlılık göstermekte hatta mekanik özellikler daha yüksek sıcaklıklara çıkabilmektedirler. Fakat bu durum sadece inert ortamlar için geçerlidir. Kaplamasız (haşılsız) seramik lifi 800°C'den önce okside olmaya başlar. Bu nedenle, bu haliyle birçok kullanımlar için uygun değildir. Seramik liflerinin çoğu, derişik asit, baz ve baz-metal muameleler dışında, mükemmel bir kimyasal inertliğe sahiptirler. Bu kimyasal kararlılık, bazı oksit esaslı ve oksit esaslı olmayan seramik lifleri için, oksidasyona karşı direnci de dahil edecek şekilde, yüksek sıcaklıklarda muhafaza edilebilir. Seramik lifler, organik liflerle karşılaştırıldığında çok yüksek elastik modul ve basınç mukavemetine sahiptirler. Seramik liflerinin bu özellikleri, metallerin çıkabildiği yüksek sıcaklıklarda kullanılabilmesine, işlenebilmesine imkân tanımakta ve metal ve seramik matriks esaslı kompozit malzemelerde mükemmel bir takviye elamanı olabilmektedir.

Sürekli seramik liflerinin kesikli seramik liflerine göre kompozit kullanımındaki bir avantajı önceden belirlenmiş ve karışık yönlerde takviyelendirmiş yapılar üretilebilmesidir. Dokuma, örme (braided), filamant sarma ve diğer tekstil üretim işlemleri, takviye elamanı seramik life ön şekil vermek için kullanılabilir. Kesikli seramik liflerinin sürekli seramik liflerine göre bir avantajı ise genellikle maliyet bakımından ucuz olmalarıdır. Seramik liflerinin geneldeki dezavantajı ise, kopma uzamalarının %1'den daha küçük olmalarıdır.

Seramik liflerinin yoğunlukları organik malzemelerinkinden daha yüksek fakat metallerinkinden daha düşüktür. Bir de seramik liflerinin çok düşük olan üretim hacimlerinden dolayı pahalı olmaları unutulmamalıdır. Fakat bazı kullanım alanlarındaki önemi, maliyet faktörünün negatif etkisini dengelemektedir. Seramik liflerin yüksek elastik modülü ve düşük kopma uzaması, kalın filament çapı ile beraber mütalâ edildiğinde kullanımdaki zorluğu ortaya çıkmaktadır. Seramik lifler genellikle katlanmada kırıldıklarından dolayı düğüm atılmaya uygun değildirler. Bununla beraber bazıları kırılmadan birkaç cm çapında ilmek haline getirilebilirler. Bu tiplerden, uygun kullanım ile, 2 veya 3 boyutlu dokuma veya örme yapılar üretmek mümkündür.

Seramik liflerin mukavemeti, yapı kusur ve çatlaklarına son derece duyarlıdır, ki bu da lifin yüksek modülünün bir fonksiyonudur. Düşük (kısa) kopma uzunluğu, çatlak etrafında gerilim transferini önler. Yapının gözenekliliği, yapıdaki yabancı parçacıklar ve büyük kristal partikülleri, lif mukavemetini önemli derecede düşürürler. Verilen bir malzemenin birim ünite hacminde sabit sayıda kusur vardır. Birim uzunlukta daha düşük lif hacmi, yani lif çapının daralması, verilen uzunluk için, büyük miktarda kusur olma şansını azaltır. Filament yüzeyinin hasar görmesi de, lifin mukavemetini önemli ölçüde düşüren diğer bir çeşit kusurdur. Korunmasız (hasılsız) kullanılan ve işlenen liflerde yüzey hatalarının sayısı ve boyutları büyür, ki bu da lif mukavemetini önemli derecede düşürür.

Seramik liflerinin çapı 3-140 μm arasında değişir. Tekstil liflerinin lineer yoğunluklarını belirlemek için kullanılan denye veya teks terimleri, genelde seramik liflerini üretenlerin tekstil orijinli olmalarıyla ve seramik liflerinin yoğunluklarındaki çok farklılıktan dolayı kullanılmaz. Birde, yoğunluktaki bu geniş dağılımdan dolayı, eğer seramik liflerinin lineer yoğunlukları denye veya teks şeklinde ifade edilirse, lif ve özellik karşılaştırılmalarında karışıklığa sebebiyet verebilir. Seramik liflerinin bir kısmının yapılarındaki lifin, teorik yoğunluğu esas alan denye veya teksin bu liflerin lineer yoğunluklarını ifade etmede kullanılmasını engellediği gözardı edilmemelidir. Bazı seramik liflerin ve karşılaştırmasını yaptığımız karbon vb liflerin özellikleri Tablo 1.'de verilmiştir.

2. SERAMİK LİF OLUŞUM TEKNİKLERİ

Seramik lifler teorik olarak birden fazla metodla üre-

Tablo 1. Bazı seramik ve diğer sanayi tipi liflerin özellikleri

Lifin ticari veya generik adı	Yoğunluğu (g/cm^3)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Elastik Modülü (GPa)	Çapı (μm)	Erieme Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
Nexel [®] 312 (seramik)	2.7	1725	138	3.5	1400
Nexel [®] 440 (seramik)	3.05	2070	186	10-12	1400
Nexel [®] 480 (seramik)	3.05	2040	220	10-12	1400
Saffil [®] (seramik)	3.3	2000	300	3	-
Tyranno [®] (SiTiCO)	2.35	2740	206	-	-
Alix [®] (seramik)	3.2	2600	250	9	-
Nicalon [®] SiC (seramik)	2.6	2000	180	10-20	-
Fiber FP [®] (seramik)	3.95	1380	379	20±5	2645
SiC (seramik)	3.08	3440	400	133	-
β -SiC (seramik)	3.3	3500	430	140	-
Al_2O_3 (seramik)	3.95	1900	380	20	2050
Bor (seramik)	2.7	3100	393	140	-
E-cam (cam)	2.54	3450	72	10	-
S-cam (cam)	2.49	4300	87	10	-
T-300 [®] (PAN karbon)	1.76	3200	228	7	-
T-40 [®] (PAN karbon)	1.81	5650	276	7	-
P-55 [®] (Püch karbon)	2.00	1900	380	10	-
Kevlar [®] 49 (aramid)	1.44	3650	131	11.9	-
Çelik (%0.9 C) (metal)	7.8	4250	210	100	1300
Paslanmaz çelik (metal)	8.0	1000	198	100	-
Berilyum (metal)	18.5	1265	300	-	1250
Volfram (metal)	19.3	3500	360	-	3400

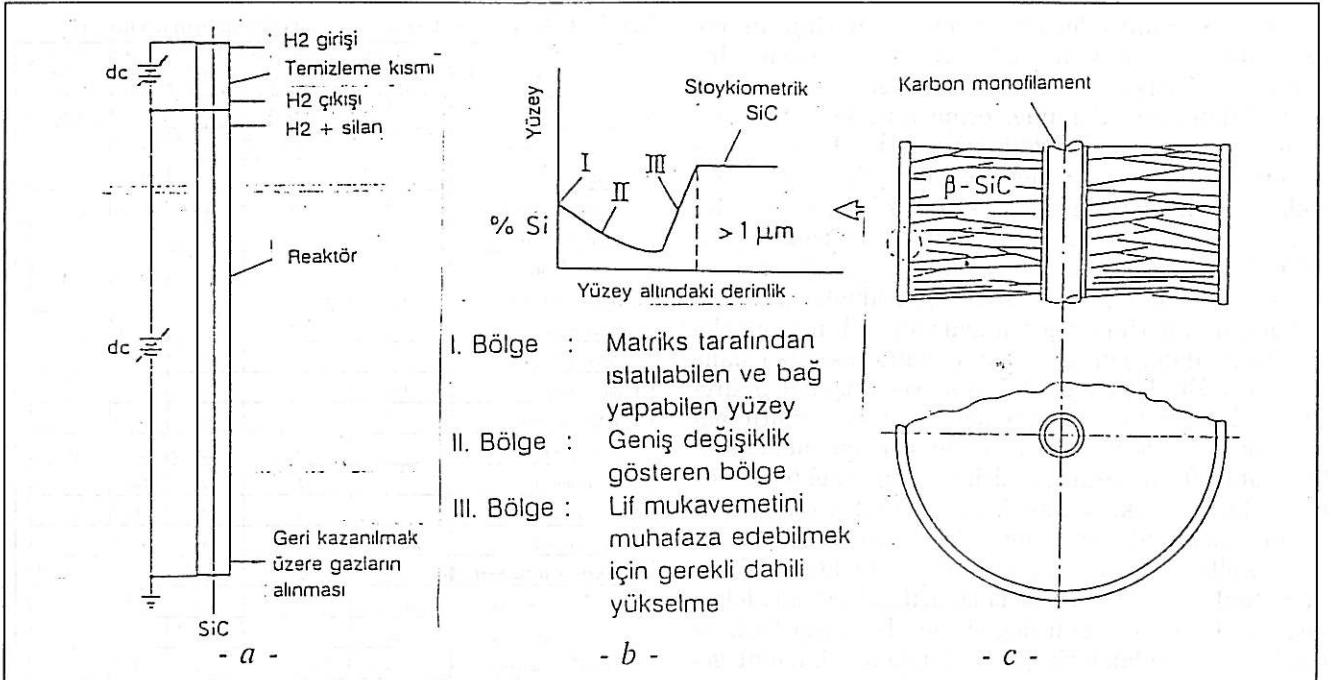
tilebilir. Burada mümkün altı (6) metod hakkında kısa bilgi verilecektir. Bunlardan da, kimyasal buhar yolu ile depolama, polimer başlangıç maddesi ve sol-gel tekniği genel olarak uygulama alanı bulan metodlardır. Son ikisi, organometalik polimerlerden oldukça yeni teknikler kullanarak seramik liflerini üretmeyi içerir. Diğer üç (3) metod, eriyik eğiirme, çamur eğiirme ve tek kristal büyümesi, daha az başvurulan tekniklerdir.

Seramik lif alanındaki büyük hamle, şüphesiz yüksek sıcaklık seramik liflerini üretmek için silikon ve karbon veya nitrojen ihtiva eden polimerlerin kontrollü şartlarda sıcaklık etkisiyle eritilmesi (pyrolysis) düşündürmektedir. Seramik liflerinin pyrolysis yoluyla üretilmesi, silikon, karbon, nitrojen ve bor ihtiva eden polimerlerle SiC, Si₃N₄, B₄C ve BN elde edecek şekilde kullanılmaktadır.

2.1. Kimyasal Buhar Depolama Tekniği (CVD)

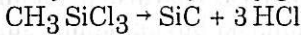
Bu metodta, malzeme buhar fazında iken ısıtılmış bir öz madde (volfram veya karbon filament) üzerine, bir kompozit filament oluşturmak için depozit edilir. Depozite edilen malzeme, buhar fazındaki gazların bir ayrışım ürünüdür. Meselâ; bor, bortriklorid ve hidrojenin ayrışmasından depolanabilmektedir. Silikon karpid de, alkilklorosilan ve hidrojenin ayrışmasından depolanabilmektedir.

Bu teknik kullanarak elde edilen SiC lifi 1300 $^{\circ}\text{C}$ 'a kadar ısıtılmış volfram üzerine buhar halinde depo edilir. Reaktif gaz karışımı hidrojen ve alkil silis ihtiva eder. Genelde %70 hidrojen ve %30 silis reaktöre bir uçtan Şekil 1.a'da görüldüğü gibi girmektedir. Reaktörün gi-



Şekil 1. a) CVD işlem ile monofilament üretimi reaktörü, b) ve c) Monofilament SiC lif yüzeyindeki bileşim değişiminin şematik gösterimi

riş ve çıkışında sızmaları önlemek için civa contalar kullanılır. Volfram öz maddesi ($d=13 \mu\text{m}$) hem doğru akım (250mA) ve hem de yüksek hızlı frekans (60mHz) ile optimum sıcaklık profili elde etmek için ısıtılır. $100 \mu\text{m}$ çapında SiC monofilament elde edilmesi yaklaşık 20 saniye alır. Elde edilen monofilament, reaktörün altından alınarak bir bobine sarılır. Bu işlem için, metil-triklorsilan bir silikon atomu bir de karbon atomu ihtiva ettiğinden ideal bir hammaddedir. Burada beklenti stoykiyometrik SiC depolanması olmalıdır. Gerçekleşen kimyasal reaksiyon aşağıdaki gibidir.



Genellikle, serbest karbon ve katı veya sıvı silikon, SiC ile karıştırılır. Son monofilament $100-150 \mu\text{m}$ çapında olup dışta esas olarak $\beta\text{-SiC}$, volfram üzerinde de $\alpha\text{-SiC}$ ihtiva eder. Diğer bileşimlerinde katlı veya dereceli varyasyonları bu teknikte depolanabilir.

Volfram (tungstun) öz maddesini kullanmak, bu maddenin ağır ve pahalı olması sebebiyle bir dezavantajdır. Bu teknikte bir öz maddesi olarak işlev görebilecek, kabul edilebilir özellikleri ile ticari karbon liflerinin geliştirilmesi, bu teknikte üretilen seramik liflerin ekonomi ve ağırlık yönündeki dezavantajlarını bir derece azaltacaktır. Bu teknikte öz maddenin düzgün ısıtılmasının lif düzgünlüğü üzerindeki önemli etkisi de mutlaka göz önünde tutulmalıdır.

British Petrolleri (BP) silikon karbit monofilamentini ve Textron Speciality Materials'da silikon karbit ve bor monofilamentlerini üretmekte bu tekniği kullanmaktadır.

2.2. Başlangıç Polimeri Kullanarak Lif Elde Etme Teknikleri

CVD yöntemi ile elde edilen seramik lifleri kalın ve

eğrilebilir (fleksi) olmadıklarından, ince, sürekli ve eğrilebilir seramik lifleri elde etmek için yapılan araştırmalar 1970'li yıllarda neticelerini vermeye başladı. Bu tekniği de kimyasal ve ısıl olmak üzere iki kademede incelemek yerinde olur.

-Başlangıç Lifinin Kimyasal Dönüşümü

Başlangıç lifinin, harici maddelerin kimyasal reaksiyonu ile diğer bileşimlere dönüşümü birkaç teknik ile yapılır. Karbon lifi, silikon veya silikon monoksit buharı gibi karbit oluşturan bir malzemenin mevcudiyetinde, ısıtma ile metal karbit haline dönüştürülebilir. Diğer bir değişim tekniği; bir metal, organometalik veya oksit başlangıç lifinin, nitrojen veya amonyak ile nitrik asit tuzu oluşturmak için nitritlenmesini ihtiva eder. Metal teller veya metal ihtiva eden polimer lifler, uygun bir atmosferde ısıtılarak oksit, karbit veya nitratlarına dönüştürülebilir. Metal ve bor lifleri, karbon içeren buharda ısıtılarak karbitlerine dönüştürülebilir.

-Başlangıç Lifinin Isısal Dönüşümü

Bu işlemde, seramiklerin başlangıç maddesi olan inorganik polimerler, eriyik eğirme (lif çekme) veya çözücü yardımlı kuru eğirme metoduyla, lif haline getirilirler. Bu başlangıç liflerinin, yeniden erimelerini önleyebilmek için molekül zincirlerinin çapraz bağlarla bağlanması gerekir. Bu da, kür (polimerizasyon) ile temin edilerek kararlı hale getirilirler ve sonra da ısıl yolla (pyrolyze) seramik liflere dönüştürülürler.

Japon Profesör Yajima ve arkadaşlarının 1970'in başlarındaki çalışması ile buldukları ve sonraları Nicolon ticari ismiyle üretilen SiC lifi bu teknik ile üretilmektedir. Yajima'nın SiC yapımında kullandığı üretim algoritması şematik olarak Şekil 2.'de verilmektedir.

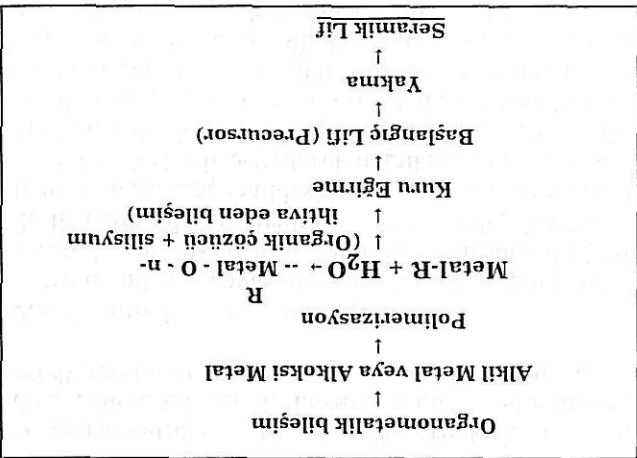
Bu teknikte, başlangıç polimeri hazırlamanın mali-

meşinden sonra, uygun maddelerin uzaklaştırılması için ısıtılırlar. Bu da yeni kimyasal reaksiyonlara sebebiyet olur ve yoğunlaşmayı temin eder. Kuruma esnasında ki gevşeme ve göçümlü kaybindan dolayı, lifin kesit alanı tam dairesel olmayabilir. Yeteri dercedeki yüksek atışma sicaklıkları ile, lik düşürülebilir ve böylece bu amorf lifler, polikristal hale getirilebilirler. Belli bir kristalleşme, mekanik ve kimyasal özellikleri geliştirilmek için arzu edilebilir. Yüksek sicaklıklarda asırı zamanda işlem ise, kristal boyutlarının istenmeyen artmasına sebep olur ki, bu da lifin mekanik özelliklerini zayıflatır.

Bu tekniğe ait bir işlemin akış şeması Şekil 3. 'de verilmiştir.

Organometalik bileşim
↓
Alkil Metal veya Alkoksil Metal
↓
Polimerizasyon
R
Metal-R + H₂O → Metal-O-n
↓ (Organik göçümlü + silisyum ihtiva eden bileşim)
↓
Kuru Egitme
↓
Başlangıç Lifi (Precursor)
↓
Yakma
↓
Seramik Lifi

Şekil 3. Sol-gel tekniği işlem akışı



Şekil 2. SIC lifinin üretim aşamalarının sematik gösterimi

Şekil 2. SIC lifinin üretim aşamalarının sematik gösterimi

Şekil 2. SIC lifinin üretim aşamalarının sematik gösterimi

Şekil 2. SIC lifinin üretim aşamalarının sematik gösterimi

Şekil 2. SIC lifinin üretim aşamalarının sematik gösterimi

Şekil 2. SIC lifinin üretim aşamalarının sematik gösterimi

Şekil 2. SIC lifinin üretim aşamalarının sematik gösterimi

Şekil 2. SIC lifinin üretim aşamalarının sematik gösterimi

Şekil 2. SIC lifinin üretim aşamalarının sematik gösterimi

Şekil 2. SIC lifinin üretim aşamalarının sematik gösterimi

Şekil 2. SIC lifinin üretim aşamalarının sematik gösterimi

Şekil 2. SIC lifinin üretim aşamalarının sematik gösterimi

Şekil 2. SIC lifinin üretim aşamalarının sematik gösterimi

Şekil 2. SIC lifinin üretim aşamalarının sematik gösterimi

Şekil 2. SIC lifinin üretim aşamalarının sematik gösterimi

Şekil 2. SIC lifinin üretim aşamalarının sematik gösterimi

Şekil 2. SIC lifinin üretim aşamalarının sematik gösterimi

Şekil 2. SIC lifinin üretim aşamalarının sematik gösterimi

Şekil 2. SIC lifinin üretim aşamalarının sematik gösterimi

Şekil 2. SIC lifinin üretim aşamalarının sematik gösterimi

Şekil 2. SIC lifinin üretim aşamalarının sematik gösterimi

Şekil 2. SIC lifinin üretim aşamalarının sematik gösterimi

Şekil 2. SIC lifinin üretim aşamalarının sematik gösterimi

Şekil 2. SIC lifinin üretim aşamalarının sematik gösterimi

Şekil 2. SIC lifinin üretim aşamalarının sematik gösterimi

Şekil 2. SIC lifinin üretim aşamalarının sematik gösterimi

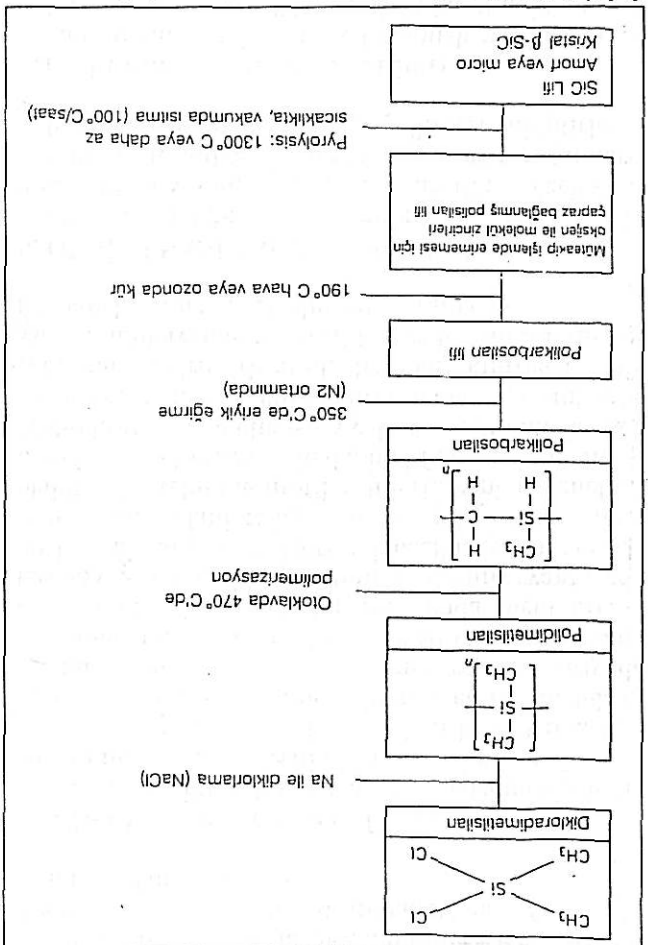
Şekil 2. SIC lifinin üretim aşamalarının sematik gösterimi

Şekil 2. SIC lifinin üretim aşamalarının sematik gösterimi

Şekil 2. SIC lifinin üretim aşamalarının sematik gösterimi

Şekil 2. SIC lifinin üretim aşamalarının sematik gösterimi

Şekil 2. SIC lifinin üretim aşamalarının sematik gösterimi



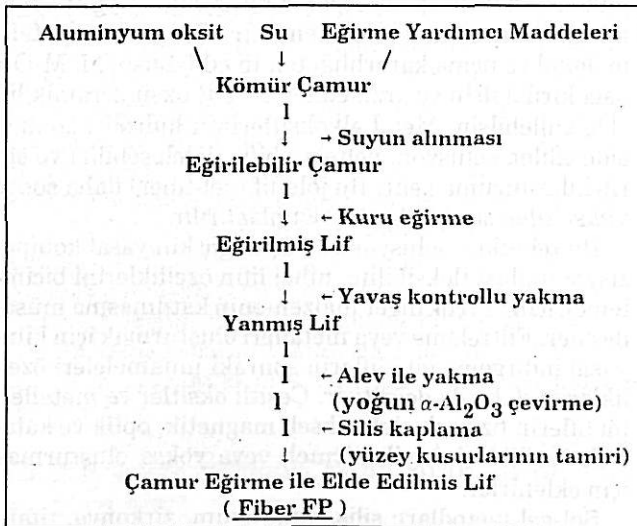
3M şirketi Nextel seramik liflerinin üretiminde bu metodu kullanır.

2.4. Eriyik Eğirme Tekniği

Kristal seramik malzemelerin bu teknikle üretilmesi, bu malzemelerin yüksek erime noktaları, hatta bazen erimeksizin ayrışmalarından dolayı çok güçtür ya da imkânsızdır. Erimenin mümkün olduğu durumlarda ise, çok düşük olan eriyik viskozitesinin zorlukları ortaya çıkmaktadır. Böyle bir eriyik düzelerden ekstrüze edilebilse dahi lif değil damlalar oluşur. Bu problemin üstesinden gelen bir teknik, erimiş seramik akıntısı üzerinde sertleşen bir kabuk, deri oluşturulması esasına dayanır. Bu tip üretim tekniğinin bir örneği, propan atmosfer ortamına ince erimiş oksit seramik akıntısı ekstrüze etmektir. Bu atmosfer, eriyik akıntı üzerinde karbonlu bir kabuk, koruyucu tabaka oluşturur ve eriyik seramiğin lif formunda kalmasını temin eder.

2.5. Çamur Eğirme Tekniği

Bu teknikte, taşıyıcı akışkan içindeki dağınık kristal seramik parçacıklarının, eriyik ve kuru metod eğirme ile lif haline dönüştürülmesi temin edilir. Bu teknik, polimer başlangıç maddesinin ısısal dönüşümü gibi diğer tekniklerle birleştirilerek uygulanır. Viskozitesi artabilen, yüksek molekül ağırlıklı organik polimer ihtiva eden taşıyıcı akışkan sonunda yakılır ve böylece başlangıç polimeri seramik lif formuna dönüştürülür. Yakma ve dönüştürme genellikle birkaç ısıtma kademesinde gerçekleşir ve bu kademeler lifin alev içinden geçişini ihtiva edebilir. Dönüştürülmemiş lif içindeki seramik parçacıklarının mevcudiyeti, dönüşüm ve yakma esnasında az çekmenin olması demektir. Bununla beraber, parçacıklar çok küçük olmak zorundadır (genellikle 1 μm 'den daha küçük). Aksi takdirde bu parçacıklar lif içerisinde kusur olarak hareket edecekler ve ciddi şekilde lifin mukavemetini zayıflatacaklardır. Bu tekniğin, akış plânı Şekil 4.'de bu teknikle üretilen Fiber FP için verilmiştir.



Şekil 4. Çamur eğirme tekniği akış şeması

Bu teknik, Du Pont tarafından Fiber FP ve PRD-166 liflerinin, Mitsui Mining tarafından Almax lifinin üretiminde kullanılmaktadır.

2.6. Tek Kristal Büyümesi Tekniği

Sürekli tek lifler, bir eriyik veya malzemenin buharından büyütülebilir. Safılıkları çok yüksektir. Tane sınırı olmadığından yüksek sıcaklıklarda mekanik özelliklerinde düşme görülmemektedir, çünkü lif tek bir kristaldir. Bütün atomlar tamamen regular periyodik bir sırada düzenlendiğinden, lif özellikleri anizotropiktir. Halbuki polikristal lifler, çok sayıda küçük kristallerden meydana geldiği ve atomları bütün oryantasyonlarda sıralandığından, izotropik özellik gösterirler. Bazı uygulama alanları için, anizotropik özellik avantaj olabilir. Bu teknikle üretilen liflerin çapları genellikle büyüktür (> 100 μm). Bu da, bu liflerin eğilme (fleksibilite) lerinin kötü olmasına yol açar. 150 mm/dak gibi yavaş üretim hızları, yüksek üretim maliyetlerini de beraberinde getirir. Bununla beraber, kimyasal saflık, yüksek mukavemet ve ısısal kararlılık, bu liflerin performanslarının yüksek olmasını temin eder.

3. OKSİT ESASLI SERAMİK LİFLERİ

Oksit lifleri, yüksek teorik mukavemet ve modül, oldukça düşük yoğunluk, kimyasal inertlik ve özelliklerini yüksek sıcaklıklarda ve hatta oksitleyici ortamlarda dahi muhafazası gibi istenilen özelliklere sahiptirler.

3.1. Alüminyum Oksit (Alumina)

Alüminyum oksit, birçok kullanışlı özelliklerinden dolayı uzun zamanlardan beri kullanılmaktadır. Bu özellikler şöyle özetlenebilir:

- Fiziksel: Yüksek erime noktası,
Düşük yoğunluk (metallerle karşılaştırıldığında),
Yüksek aşınma direnci,
- Kimyasal: Korrozyona karşı direnç,
Düşük buharlaşma,
- Mekanik: Yüksek çekme ve basma mukavemeti,
Yüksek elastik modülü,
Düşük statik yorulma (sürünme),
- Isısal: Yüksek kullanım sıcaklığı,
Düşük ısısal genişleme,
Yüksek ısısal iletim,
- Elektrik: Düşük dielektrik sabiti.

Kütle seramiklerindeki özelliklerin çoğu, lif özellikleri olarak da mütealâ edilebilir. Buna, yüksek modül, yüksek basma mukavemeti, oksidasyona karşı direnç gibi özelliklerde dahildir.

Karbon ve silikon karbit gibi bu liflerin bazıları yüksek mukavemet ve uzun kopma uzamalarına sahip olmalarına rağmen, bu lifler alüminyum oksit lifinin yüksek sıcaklıklarda oksitleyici ortamlara karşı gösterdiği direnç kadar bir direnç gösteremezler.

Alüminyum oksit lifinin bir dezavantajı lif formunda işlenmesinin güçlüğüdür. Çamur eğirme, tek kris-

tal büyümesi, sol-gel,eriyik eğirme başarıyla kullanılan lif oluşturma teknikleridir. Bazı durumlarda, yüksek oranlı aliminyum oksit muhteviyatlı alüminyum oksit - silis lifleri, alüminyum oksit lifleri olarak isimlendirilir. Bu konuda genel kabul gören eğilim ise, içindeki alüminyum oksit oranı %98'den fazla olan liflere alüminyum oksit lifi olarak isimlendirmektir.

Du Pont'un Fiber FP lifi, Mitsui Mining Co.'nin Almax'ı ve Sophikon Inc.'nin Sapphire lifi buna örneklerdir.

3.2. Alüminyum Oksit/Silis

Alüminyum oksit'e çok küçük miktarlarda dahi silis eklenmesi, alüminyum oksit'in life dönüştürülmesi işlemini kolaylaştırır. Bunun yanı sıra, alüminyum-silis lifleri, alüminyum oksit liflerinden daha ucuzdurlar. Silisin eklenmesiyle, elastik modülün düşürülmesi gibi bazı özellikler önemli şekilde etkilenirler. Eğer kullanım kolaylığı ve lifin manipülasyonu önemli ise, bu durum faydalıdır. Fakat eğer kompozit takviyelendirmesi için mekanik katılık, tokluk önemli ise silisin eklenmesi zararlıdır.

Sumitomo Chemical Co.'nin Altex'i (%85 Al₂O₃ ve %15 SiO₂) ve ICI'nin Saffil'i (%96 Al₂O₃ ve %4 SiO₂) bu liflere birer örnektir.

3.3. Alüminyum Oksit/Silis/Bor

3M şirketinin ürettiği Nextel 312 (%62 Al₂O₃, %24 SiO₂ ve %14 B₂O₃) ve Nextel 440 (%70 Al₂O₃, %28 SiO₂ ve %2 B₂O₃) lifleri bu tipe örneklerdir.

3.4. Alüminyum Oksit/Zirkonya

Kütle alüminyum oksite kısmen kararlı Zirkonya eklenmesi ile alüminyum oksit'in mukavemet ve tokluğunun arttığı gözlemlenmiştir. Du Pont'un PRD-166 lifi buna bir örnektir.

4. OKSİT ESASLI OLMAYAN SERAMİK LİFLER

Oksit olmayan lifleri oluşturmak, bu malzemenin yüksek erime sıcaklıkları ve yoğunlaşmaya veya gözenekleri uzaklaştırmaya olan direncinden dolayı, oldukça güçtür. Silikon-karbit, yüksek sıcaklıktaki oksidasyona olan dirençlerinden dolayı, en çok araştırılan, üzerinde çalışılan, okside olmayan liflerdir. Silikon-karbit, yüksek sıcaklıktaki oksidasyon esnasında, oksidasyonu yavaşlatan ve/veya durduran bir engel gibi davranan, yüzey üzerinde koruyucu bir silis tabakası oluşturur. Diğer silikon ihtiva eden liflerde bir dereceye kadar bu özelliğe sahiptirler. Oksit esaslı olmayan seramik lifleri, oksit esaslı seramik liflere nazaran daha iyi statik yorulma mukavemetine (sürünme) ve tane büyüme direncine sahiptirler. Çekme mukavemetleri ve kopma uzamaları da, oksit esaslı seramik liflerinkinden daha yüksektirler. Kimyasal dirençleri de normal olarak çok iyidir.

4.1. Silikon-Karbit

Silikon-karbit lifleri, mükemmel bir özellik kombi-

nasyonuna sahip olduklarından dolayı, büyük bir kullanım potansiyeline sahiptirler. Aşağıdaki özellikleri mükemmel bir kombinasyonu temin edebilir.

1- Yüksek mukavemet,

2- Yüksek modül,

3- Yüksek ısı direnci, ve

4- Mükemmel kimyasal direnç.

Bunlardan başka, aşağıda verilen özellikler de eklenebilir veya ayrı bir lifte bulunabilir.

5- Yüksek ısıl kararlılık,

6- İyi oksidasyon direnci, ve

7- Yüksek sıcaklıklara maruz kaldıktan sonra mekanik özelliklerini muhafaza edebilme.

Polimerin ısı ile çözülmesi suretiyle yapılan silikon-karbit lifleri stoykiometrik SiC değildirler, ve oksijen ile serbest karbon ihtiva ederler. Bu durum, yüksek sıcaklıktaki kararlılığını negatif yönde etkiler. İç oksitlenme, 1200°C'nin üzerinde inert ortamlarda dahi, mekanik özelliklerin düşüşüne sebep olur.

Textron'un SCS-6 lifi, British Petroleum Co.'nin Sigma lifi, Niccon Carbon Co. Ltd. nin Nicalon'u ve Dow Corning'in Kristal Silikon-karbit lifi bu tipe ait örneklerdir.

4.2. Silikon-Nitrit

Silikon-nitrit lifi de, silikon-karbit gibi, iyi oksidasyon ve korrozyon direncine sahiptir. Bununla birlikte, kısmen, ilk oksidasyon esnasında oluşan koruyucu silikon kaplamasından dolayıdır. Tonen silikon-nitrit lifi bu tipe bir örnektir.

4.3. Silikon-Karbit-Nitrit

Rhone-Poulenc firması, önce polisilazan ihtiva eden polimerik başlangıç lifini eğirir, sonrada silikon-karbit-nitrit seramik lifini üretmek için bunu ısı ile çözmeye tabi tutar. Bu seramik lifler (fiberamik), 1400°C'ye kadar amorf yapıdadırlar. Bu sıcaklıkta ve okside edici bir ortamda mukavemetinin %80'ini muhafaza eder. Halen geliştirilmekte olan bu lif hem kesikli hemde sürekli formda üretilmektedir. Dow Corning'in HPZ'si bu lif tipine bir örnektir.

4.4. Bor

Bor liflerinin dikkate değer, bilinen özellikleri, fevkalâde yüksek mukavemet/ağırlık oranı, yüksek erime sıcaklığı ve 1000°C'ye kadar mukavemetini muhafaza etmesidir. Bununla beraber, zayıf bir oksidasyon direncine sahiptirler.

Textron'un Textron Bor filamentini buna bir örnektir. Daha önce Avco olan Textron firması, bor lifini ince bir volfram tel üzerine bor triklorid gazından borun kimyasal buhar olarak depolanması (CVD) yoluyla üretir. 100 µm ve 140 µm çaplarında iki tipi vardır. Textron'un ürettiği monofilament bor'un büyük bir kısmı, uzay ve diğer hava araçlarının parçaları için epoksi matriks esaslı kompozitlerde kullanılır. Alüminyum matriks esaslı kompozit uygulamaları için de çalışmalar devam etmektedir.

5. UYGULAMALAR

Sürekli seramik lifleri, malzeme bilimcilerinin ve tasarım mühendislerinin, halihazırdaki organik ve metal malzemelerden daha hafif, daha katı, daha mukavim, daha yüksek sıcaklıklara ve kimyasal dirence dayanıklı yapılar meydana getirmelerini sağladı. Bu liflerin, organik, metal ve seramik matriks esaslı kompozitlerde kullanılabilmeleri bir avantajları oldu. Tabii ki, her kullanım alanında olduğu gibi bu liflerin kullanıldığı alanlarda da faydalar olduğu gibi kullanım problemleride vardır.

Seramik lifler, genellikle, işleme yardımcı olabilmek için organik maddelerle kaplanırlar (haşılınırlar). Bu kaplama (haşıl) maddeleri, lifin kompozit oluşturmak için matriks malzemesini takviyelendirmeden önce ısısal olarak ayrıştırlar veya çözülürler.

5.1. Kompozit Dışı Kullanımlar

Sürekli seramik liflerinin kullanım alanlarını; yüksek sıcaklık engellenmesi, filitreleme, ve özellikle yalıtım gerektiği alanlar olarak sıralayabiliriz. Kompozit dışı kullanımlarda, genellikle, yüksek sıcaklıklardaki fevkalâde oksidasyon dirençlerinden dolayı oksit esaslı seramik lifleri kullanılır.

3M firmasının Nextel312 seramik lifinden dokunan kumaşlar, ocak (fırın) kayışları, alev perdeleri, jontalar, duvar yalıtımları, ocaklar ve kömür yakan güç santrallerinde yüksek sıcaklık filitreleri olarak kullanılırlar. Yine Nextel 312 lifinden oluşturulan örme (braided) yapılar, ısı ölçücülerin (thermocouple), elektrik kablolarının, yakıt hatlarının ve uzay mekiğinin kapı boşluğu gibi önem arzeden yerlerde conta ve salmastra olarak kullanılır.

Yüksek sıcaklık yalıtım uygulamalarında, seramik liflerinin mukavemet, katılık, sürünme gibi yapısal özelliklerinden yüksek değerler istenmemektedir. Dolayısıyla, daha ucuz alternatifler bulmak mümkündür.

5.2. Organik Matriks Esaslı Kompozitlerde Kullanımı

Epoksi ve termoplastik matriks esaslı kompozitlerde takviye elamanı olarak daha çok organik ve karbon lifleri kullanılır. Cam ve asbestos liflerinin takviye elamanı olarak kullanılması da iyi bilinmektedir. Organik matriks esaslı lif takviyeli kompozit malzemelerin sıcaklıkları 500°C'dan daha düşük olduğu için, seramik liflerin kimyasal ve ısı dirençlerinin iyi olması, bu kullanım alanlarında bir avantaj olmamaktadır. Organik matriks esaslı kompozitlerin kritik önem arzeden kullanım alanları için, katılık veya mukavemetin ön plana çıktığı durumlarda, karbon veya aramid lifler, seramik liflerden daha kolay kullanılabilirliği ve daha ucuz oldukları için tercih edilirler.

Seramik liflerin organik matriks esaslı lif takviyeli kompozit pazarına ehemmiyetli miktarlarda girmemesine rağmen, bu liflerden faydalanılacak uygun yerlerde vardır. Düşük ısısal genişleme, yüksek ısısal iletim, düşük elektrik iletimi ve düşük dielektrik sabitinin is-

tendiği elektronik devre kartlarında, seramik liflerden takviye elamanı olarak faydalanmak düşünülebilir.

Seramik lifleri, cam lifi v.b. gibi diğer takviye elamanları ile kıyaslandığında, organik matrikslerin hem katılıklarını, hem yorulma dirençlerini daha iyi arttırdığı, ve dielektrik sabitini düşürdüğü görülecektir. Organik esaslı matrikslerde kullanılan organik takviye elamanlarının yanı sıra yapıya seramik liflerinde eklenmesiyle, takviye elamanları içindeki bu karışım, seramik liflerinin daha yüksek katılık ve basma mukavemetlerinden dolayı kompozit yapının özelliklerini geliştirecektir. Bu tip karışımların bazı yüksek performanslı spor eşyalarında (kayak, gibi) uygulandığı görülmektedir. Wilson'un grafit (karbon), DuPont'un Kevlar aramid ve FP alumina (aliminyum oksit) lifleri, yüksek katılık takviye değerlerinden dolayı uygulama alanı bulurlar.

5.3. Metal Matriks Esaslı Kompozitlerde Kullanımı

Metal matriks esaslı kompozitlerin gelişmesi, 1960'lerden bu yana devam etmektedir, fakat ticari adaptasyonu yavaş olmaktadır. Metal matriks esaslı kompozit malzemelerin, takviyelendirilmemiş metallere göre üstünlüğü; yükseltilmiş mukavemet, tokluk, yüksek sıcaklık özellikleri, dinamik ve statik yorulma dirençleri, ısısal özelliklere göre tasarım edilebilme ve aşınma dirençleri gibi niteliklerinden dolayıdır. Bu avantajlara rağmen, güç işlenebilirlik, yüksek lif maliyetleri ve metallere göre hasar toleranslarının daha az olmasından dolayı, kullanım alanları oldukça sınırlıdır.

Metal matriks esaslı lif takviyeli kompozit malzemelerin üretimi, takviyelendirici lifin erimiş metalle temasında bütün özelliklerini muhafaza etmesini şart koşar. Aliminyum, magnezyum, demir ve volfram gibi metallerin eriyiklerine ve bu ortamın kimyasal etkisine en iyi direnci aliminyum oksit lifleri gösterir. Diğer bazı seramik liflerin kullanımı da, özel üretim tekniklerinin ve koruyucu tabakanın (haşıl) kullanılması ile mümkün olmaktadır.

5.4. Seramik Matriks Esaslı Kompozitlerde Kullanımı

Takviyesiz seramikler birçok uygulama alanlarına sahiptirler, fakat tokluk ve hasar toleransları kullanım alanlarını sınırlar. Hasar toleranslarını arttırabilmek için, lif ile takviyelendirilir. Seramik matriks esaslı kompozitlerin üretimi kalıplama ve pekiştirme için yüksek sıcaklığı gerektirir. Nihai kullanım alanı göz önüne alınmasa dahi, sadece seramik ve/veya ateşe dayanır metal lifleri bu kompozitlerin üretiminde fiziksel yapı ve özelliklerini muhafaza edebilecek liflerdir.

Halihazırdaki malzemelerin kimyasal inertliğinin ve yüksek sıcaklıklardaki yapısal kullanımının üstünde bir kimyasal inertliğe ve yüksek sıcaklıkta kullanıma sahip olabilmeleri, seramik matriks esaslı kompozitlerin avantajları içinde sayılabilir. En iyi süper alaşımların kullanım sıcaklıkları 1100°C'ın altındadır. Se-

ramik matriks esaslı seramik lif takviyeli kompozitler 1200°C - 1400°C'a kadar çalışabilmektedir. Malzemenin kullanım sıcaklığındaki 100°C - 200°C lik bir artış, yakıt verimliliği, motor basıncı, kullanım ömrünün uzaması gibi önemli gelişmeler demektir. Güç ve pahalı üretim işlemleri vede seramik liflerin pahalı olması seramik matriks esaslı kompozitlerin kullanımını sınırlandırmaktadır.

Metal matriks esaslı kompozitlerde olduğu gibi, seramik matriks esaslı kompozitlerin gelişmeleri de genellikle hükümetler yani devlet tarafından desteklenmektedir. Bu çalışmaların pahalı ve mali olarak riskli olması sebebiyle, genelde bu maliyet riski büyük gruplara dağıtılır. Japonya, seramik liflerinin ve kompozitlerinin ticari olarak kullanımları yönünde bir milli politika ya sahiptir. A.B.D.'deki bu konu ile ilgili çalışmaların çoğu, Savunma Bakanlığı, Enerji Bakanlığı ve NASA tarafından desteklenmektedir. Avrupa'daki çalışmalar içinde de, kısmen Fransız hükümetinin desteklediği "Societe Europeene de Propulsion -(SEP)"'in silikon karbit ve ve Japonların Nikalon lifi ile oluşturdukları seramik matriks esaslı kompozit araştırmaları sayılabilir.

Çok bilinen seramik kompozitlerinden biride, A.B.D.'nin uzay mekiğinde kullandığı "Fibrous Refractory Composite Insulation (FRCI)" dir. Bu yalıtım amaçlı kompozit 3M şirketinin Nextel 312 seramik lifi ile yüksek saflıktaki silikondan müteşekkildir.

6. SONUÇ VE SERAMİK LİFLERİN GELECEĞİ HAKKINDAKİ GÖRÜŞLER

Cam ve cam-seramiklerden ateşe daha dayanıklı oksitlenmeyen sistemlere geçildikçe, tokluk ve oda sıcaklığındaki güvenilirlik, kopma işinin 10 KJ/m²'den daha fazla olması ve kopmadaki şekil değiştirmenin (ϵ) yaklaşık %1 gibi değere yaklaşması ile, önemli bir derece artırılabilir. Bu özellikleri elde etmek için, lif-matriks arabirim bölgesinin kontrolü esastır. Lif-matriks arabirimindeki bağın veya bağların, liflerin kaymasına ve liflerin ard arda yük transferi yapacak ve matrikste seri çatlakların meydana gelmesine mücadele edecek kadar zayıf olması istenir. Bununla beraber, lif-matriks arabirimindeki çok zayıf bir bağ, malzemenin non-lineer davranışlarındaki mukavemetini düşürecektir. Lif-matriks arabirimindeki kayma gerilmesi ile lif çekilmesinden dolayı iyileşecek olan tokluğun optimize edilmesi gerekir. Seramik matriksler karbon lifleri ile takviyelendirildiğinde, lif-matriks arabirimindeki bağ zayıftır. Seramik liflerde ise, seramik lifin matriks ile reaksiyonunu korumak ve lif-matriks arabirimini nitelendirmek için seramik liflerin kaplanması gerekir. Farklı kaplamalar (haşıl) ve çok değişik lif-matriks sistemleri kullanarak, değişik özelliklerde kompozit malzeme tasarlamak mümkündür. Bu tasarımlarda, lif-matriks arabiriminin nasıl kontrol edileceği ve arabirimdeki bağın kopmasından sonra lif kayma sürtünmesinin nasıl kontrol edileceğinin anlaşılması bir gerekliliktir. Önemlisi, bu parametreler ölçülebilmeli ve kom-

pozit yapının kopma davranışlarıyla sayısal olarak ilişkilendirilebilmelidir. Bu konuda, yazarın diğer araştırmacıların çalışmaları devam etmektedir.

Yüksek sıcaklık kompozitlerinin esas itici gücü, mühendislik malzemelerinin yüksek sıcaklık kullanım ranjlarını geliştirmesidir. Bu konuda bugüne kadar üretilen kompozitlerin ümit verici sıcaklık ranjı 1000°C ve biraz üzerindedir. Bu sıcaklığı 2000°C'ye kadar yükseltmek büyük gelişmeleri gerektirmektedir. Bu yüksek sıcaklık bölgesinde (1000°C - 2000°C), şu andaki kompozitlerin mekanik özelliklerinde çok önemli ve büyük miktarlarda düşüşler gözlenmektedir. Bunun ana sebepleri şunlardır:

1- Takviye elamanı olan liflerin ısısal kararsızlığı, ve

2- Lif-matriks arabirim başına, özellikle kompozit yapı gerilimlere maruz kaldığında matriks çatlamasından dolayı yapıya giren, çürütücü (corrosive) parçacıkların etkisidir.

Buna alternatif bir yaklaşım, mekanik özelliklerini yüksek sıcaklıklarda muhafaza edebilecek seramik liflerinin geliştirilmesidir. SiC (silikon karbit) sistemlerinde bu yönde bir eğilimle çalışmalar yapılmaktadır. Burada istenen, düşük yoğunlukta, yaklaşık 3 GPa mukavemetinde ve 400 GPa kadar bir modülde, küçük çaplı seramik lifi üretilmesidir. Böyle bir lif geliştirilse dahi, bu konuda ki problem, muhtemelen pahalı olmasıdır. Karbon lifi geniş çaptaki özellikleri ve farklı sıcaklıklardaki kullanım alanları için pazarda mevcut iken, yeni üretilecek yüksek sıcaklıktaki ateşe dayanıklı yeni bir lifin uygulama alanı, hemen hemen ve sadece ultra yüksek performanslı seramik matriks esaslı kompozitler ve belki metal matriks esaslı kompozitler olacaktır. Bu sahada yeni liftten istenen gerekli üretim miktarı oldukça az olacaktır. Bu da, bu liflerin çok pahalı olmasının sebeplerinden biridir. Bununla beraber, yeni liflerin geliştirilmesi, üretim için kullanılan usullerin geliştirilmesi ihtimalini de beraberinde getirecektir.

Bu gelişmelerin yanı sıra, eğer lif-matriks arabirimini degradasyonu çözüldürse, lif-matriks atmosfer uyumluluğunun kontrolü için, geliştirilmiş harici kaplamaların (haşıl) tasarlanmasına ihtiyaç olacaktır. Yüksek ısı uygulamalarında, ısı engel katları, endotermik reaksiyon ihtimalini azaltacak olan kompozit içindeki ısının düşüşünü temin etmek için gerekli olabilir.

Sürekli seramik liflerinin birçok enteresan, nadir ve değerli özellikleri ve uygulamaları vardır. Seramik liflerinin yeterli gelebileceği daha sıcak, daha hızlı, daha dayanıklı uygulamalar için talep ve ilgi vardır.

Bugün, lif üretimi hala oldukça küçük miktarlardadır, bu yüzden de pahalıdır. Daha da ötesi, metal matriks esaslı kompozitlerin ve seramik matriks esaslı kompozitlerin işlenmeleri hala oldukça güçtür. Bu pahalı işlem de, pahalı kompozitlerin üretilmesine sebep olur. Eğer bu liflerin kullanımı artarsa, bu liflerin üretilen miktarları da artacak, bu da lif maliyetini azaltacaktır. Stratejik olmayan ve kısmen pahalı sayılmayan başlangıç maddeleri seramik lif üretiminde kullanıldığı için, bu liflerin fiyatları libre (\approx 454 g) başına 10-25

US\$ kadar düşebilecektir. Yeni metal ve seramik esaslı kompozit üretim teknolojileri bulunur ve geliştirilirse, işlem güçlükleri azalacak bunların kompozitlerinin de fiyatları da düşecektir. Gelecekte bu duruma gelebilmek, biri diğerine bağlı olan hem fiyatları aşağı çekmek hem de yeni kullanım alanları bulmak gibi güç meselelerin başarılmasına bağlıdır.

Düşük maliyetin yanı sıra, daha mukavim, oksidasyona daha dirençli ve statik yorulma dirençleri (sürünme) daha yüksek olan yeni liflere ihtiyaç vardır. Oksit lifleri iyi oksidasyon direncine sahiptirler fakat polikristal tiplerinin yüksek sıcaklıktaki statik yorulma (sürünme) dirençleri sınırlıdır. Non-oksit lifleri daha iyi statik yorulma direncine sahiptirler fakat yüksek sıcaklıktaki oksidasyondan dolayı ayrışır. Silikon karbit ve silikon nitrit lifleri gibi silikon ihtiva eden non-oksit lifleri, oksidasyonun başlangıcında lif yüzeyinde meydana gelen silikon dioksit kaplamasının koruyucu etkisinden dolayı, halihazırda iyi performans gösteren liflerdir.

Diğer önemli ihtiyaç, sürekli seramik liflerinin kullanımını ihtiva eden üretim metodlarıdır. Farklı uygulama alanları, lif oryantasyonunun farklı bileşimlerini zorunlu kılar. Sürekli seramik liflerinin kesikli tiplerine göre en büyük avantajı, önceden belirlenmiş yönlerde oryente edilebilmeleridir. Belli yön ve bölgelerde takviyelendirmenin istendiği kompozitlerde bu durum önemlidir. Dokuma, örme (braided) sarma ve diğer metodların geliştirilmesi gereklidir. Kopma uzunluğu %1'den daha az olan bu lifleri işleyebilmek, tekstil teknolojistlerinin maharetlerini göstermelerine bağlıdır. 3 boyutlu takviyelendirilmiş yapılar ve ön-şekillendirmeler için geliştirilmiş sistemlere ihtiyaç vardır. Kompozitlerin çoğu, takviye edici lifin bulunduğu katmanların üçüncü yönde hiç veya çok az bir takviye ile üst üste konulması ile elde edilir. Üçüncü yönde takviyelendirmenin olmaması zayıf kayma gerilmesi ve sıyrılmalara sebep olmaktadır.

Sürekli seramik liflerinin uygulaması, performansı ve lif üretimindeki daha ileri gelişmeler inkişaf ederken, seramik liflerden üretilen kompozit malzemeler daha fazla yüksek teknoloji problemlerini çözecektir. Bu alanlarda karşılaşılabilecek olan problemlerin, çözülmesi hem ciddi hem de cazip olacaktır.

KAYNAKÇA

- BANEY, R. H., "Some Organometallic Routes to Ceramics", Ultra Structure Processing of Ceramics, Glasses and Composites, Ed. L. L. Hench ve D. R. Ulrich, John Wiley & Sons, sayfa 245-255, (1984).
- BEOTHY, L., "Silicon Nitride and Silikon Carbide From Organometallic & Vapor Precursors", Ultra Structure Processing of Ceramics, Glasses and Composites, Ed. L. L. Hench ve D. R. Ulrich, John Wiley & Sons, sayfa 272-291, (1984).
- CHAWLA, K., Composite Materials: Science and Engineering, Spinger-Verlag, New York, (1987).
- FETT, T.; MUNZ, D., "Why can Microcracks in Ceramics Propagate at Extremely Low Stress Intensity Factors?", Journal of Materials Science Letters, V11, sayfa 257-260, (1992).
- FIGUERIDO, J. L.; BERNARDO, C. A.; HUTTINGER, R. T. K., Carbon Fibers, Filaments and Composites, Kluwer Academic Publishers, (1989).
- HOLISTER, G.S.; THOMAS, C., Fiber Reinforced Materials, Elsevier Publishing Co. Inc., New York, (1966).
- MACKENZIE, J. D., "Application of Sol-Gel Methods for Glass and Ceramic Processing", Ultra Structure Processing of Ceramics, Glasses and Composites, Ed. L. L. Hench ve D.R. Ulrich, John Wiley & Sons, sayfa 15-26, (1984).
- MALLICK, I. K., Fiber Reinforced Composites: Materials, Manufacturing and Design, Marcel Dekker Inc., New York, (1988).
- MCCREIGHT, L.R.; RAUCH, H.W.; SUTTON, W.H., Ceramic and Graphite Fibers and Whiskers, V1, Academic Press, New York, (1965).
- MORLEY, J. G., High Performance Ceramic Composites, Academic Press, Harcourt Brace Jovanovich Publishers, (1987).
- National Materials Advisory Board, High Performance Synthetic Fibers for Composites, Publication NMAB-458, National Academy Press, Washington, D.C., (1992).
- PHILLIPS, L. N., Design with Advanced Composite Materials, Springer-Verlag, London, (1989).
- RAUCH, H. W.; MCCREIGHT, L. R.; SUTTON, W. H., Ceramic and Graphite Fibers and Whiskers, V3, Academic Press, New York, (1968).
- RUSSELL-FLOYD, R.S.; HARRIS, B.; JONES, R.W.; COOKE, R.G.; WANG, T.H.; LAURIE, J.; HAMMETT, F.W., "Sol-Gel Processing of Fiber-Reinforced Ceramic Shapes", British Ceramics Transactions, V92, N1, sayfa 8-12, (1993).
- SCOLA, E., Composite Materials for Combined Functions, Hyden Book Co. Inc., New Jersey, (1973).
- SINCLAIR, R.A., "Pyrolysis of Polysilanes", Ultra Structure processing of Ceramics, Glasses and Composites, Ed. L. L. Hench ve D. R. Ulrich, John Wiley & Sons, sayfa 256-271, (1984).
- SZWEDA, A.; HENDRY, A.; JACK, K.H., "The Preparation of Silikon Nitride From Silika by Sol-Gel Processing", Special Ceramics 7, Ed. D. Taylor ve P. Popper, British Ceramic