

Al-SiC Kompozitlerde Seramik Kaplamaların Islanabilirliğe Etkisi

The Effect Of Ceramic Coatings On The Wettability Of Al-SiC Composites

Araş. Gör. Çağrı **Tekmen**

Prof. Dr. Ümit **Cöcen**

Dokuz Eylül Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İzmir

Research Assis. Çağrı **Tekmen**

Prof. Dr. Ümit **Cöcen**

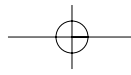
Dokuz Eylül University, Metallurgical and Materials Engineering, İzmir

Özet

Metal matriksli kompozitlerde seramik katkı fazının sıvı metal tarafından ıslanabilme derecesi kompozitlerin özelliklerinin belirlenmesinde önemli bir faktördür. Ancak, SiC gibi kovalent bağlı seramik katkı fazlarının sıvı alüminyum tarafından ıslanabilirliği oldukça düşüktür. Bu çalışmada, ıslanabilirliği artırıcı yöntemler, farklı seramik malzemeler ile kaplanan SiC partiküllerinin sıvı alüminyum tarafından ıslanabilirliği ve kaplamaların arayüzey ve kompozit özelliklerine etkisi incelenmiştir.

Abstract

The wettability of ceramic reinforcements by liquid aluminum plays an important role on the composite properties. Unfortunately, the wettability of covalent bonded SiC ceramic reinforcements by aluminum alloy is generally poor. In this study, methods to promote wettability, the effect of different ceramic coatings on the wettability of SiC reinforcements by liquid aluminum and the effect of coating on the interface and composite properties have been investigated.



Şekil 1-a. AlSi7Mg bazlı SiC partikül takviyeli kompozit malzemeden üretilmiş bir hızlı tren fren diski (1)
Figure 1-a. Brake rotors for high speed train made from a SiC particulate reinforced AlSi7Mg aluminum (1)



Şekil 1-b. %20 SiC partikül takviyeli A359 alüminyum alaşımından yapılmış bir araba fren diski (2)
Figure 1-b. Brake disc made of A359 Al alloy reinforced with 20 vol.% of ceramic SiC particles (2)

Giriş

Özellikle uzay ve otomobil endüstrilerinde yeni mühendislik malzemelerine duyulan ihtiyaç ve modern teknolojinin ilerlemesi, metal matriksli kompozitlerin (MMK) hızla gelişmesine neden olmuştur. MMK'ler, yüksek dayanım ve sertlik, yüksek aşınma direnci, yüksek termal ve mekanik yorulma direnci ve sürünme direnci gibi üstün

özelliklere sahip olduklarından tercih edilmektedir. Birçok farklı uygulama alanında kullanılan MMK'lerden bazı örnekler Şekil 1'de verilmiştir. Şekil 1-a'da, Alman Knorr Bremse AG firması tarafından, AlSi7Mg bazlı SiC partikül takviyeli kompozit malzemeden üretilmiş bir hızlı tren fren diski görülmektedir. Şekil 1-b'de ise, Alcan firması tarafından, %20 SiC partikül takviyeli A359 alüminyum

alaşımından üretilmiş bir araba fren diski görülmektedir [1, 2].

Genel anlamda, ıslanabilirlik, sıvının katı yüzeyinde yayılabilme yeteneği olarak tanımlanabilir [3]. Şekil 2'de görüldüğü üzere, katı altık üzerinde duran bir sıvı damlasının katı yüzeyi ile yaptığı temas açısı (θ) ıslanabilirliğin fiziksel bir ölçüsüdür.

Introduction

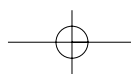
Especially in aerospace and automotive industries, the necessity of new engineering materials and the progress in modern technology are the most important motivations for the development of composites. Metal matrix composites (MMCs) are quite attractive due to their high strength and hardness, high wear resistance, high thermal and mechanical fatigue

resistance and creep resistance. Among the various and numerous applications a few arbitrary examples are given in Figure 1. Brake rotors for German high speed train developed by Knorr Bremse AG and made from SiC particle reinforced AlSi7Mg aluminum alloy, and discs of car brakes made by Alcan from A359 aluminium alloy reinforced with 20 vol.% of SiC particles are shown in Figure 1 (a) and (b), respectively [1,

2].

Wettability can be defined as the ability of a liquid to spread on a solid surface [3]. As shown in Figure 2, the angle (θ) of contact between the liquid drop and solid surface describes the physical extent of wettability.

The magnitude of the contact angle will describe the wettability as:
 $\theta = 0^\circ$ perfect wetting



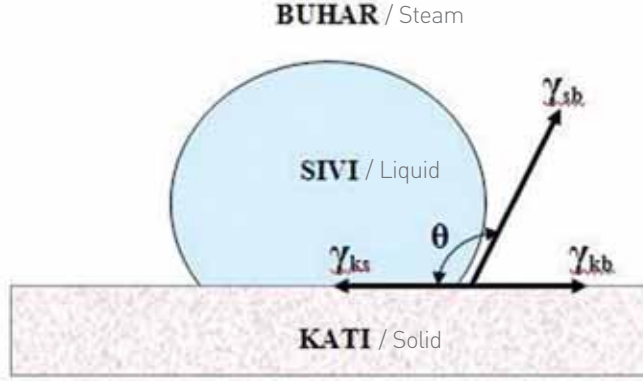
Şekil 1'den de anlaşılacağı üzere, ıslanabilirliğin bir ölçüsü olan θ değeri; $\theta = 0^\circ$ ise çok iyi ıslanabilirlik $0^\circ < \theta < 180^\circ$ ise kısmen ıslanabilirlik $\theta = 180^\circ$ ise ıslanabilirliğin olmadığını göstermektedir.

Şekilde gösterilen, γ (temas açısı), γ_{kb} (katı-buhar arayüzey enerjisi), γ_{sb} (sıvı-buhar arayüzey enerjisi) ve γ_{ks} (katı-sıvı arayüzey enerjisi) arasındaki bağıntı aşağıdaki gibidir:

$$\gamma_{kb} = \gamma_{ks} + \gamma_{sb} \cdot \cos \theta$$

Yukarıda verilen her üç arayüzey enerjisi, birim alandaki Helmholtz serbest enerjisi veya yüzey gerilmesi şeklindedir. Bir sıvı, katı altlık üzerine damlatıldığında, katı-buhar arayüzey enerjisinin bir kısmı sıvı-katı ve sıvı-buhar arayüzey enerjileri ile yer değiştirir. Sıvının yayılması ancak sistemin serbest enerjisinde bir azalma olursa gerçekleşir [4].

Temas açısındaki azalma, sıvı



Şekil 2. Katı altlık üzerinde duran sıvı damlasının katı yüzeyi ile yaptığı temas açısı
Figure 2. A contact angle between a solid substrate and liquid drop.

damlasının yüzey alanının artmasına ve dolayısıyla sıvının toplam yüzey serbest enerjisinin artmasına neden olur. Buna bağlı olarak da katının toplam yüzey serbest enerjisinde bir azalma meydana gelir. Bunların dengede bulunması halinde, temas açısının küçük olduğu kararlı-hal şartları meydana gelir. Matematiksel olarak bu denge durumu yukarıda verilen Young's denklemi ile ifade edilir.

Al/SiC Metal Matrisli Kompozitlerde Islanabilirliğin Önemi

Metal matrisli kompozitlerin (MMK) döküm yoluyla üretimi, yöntemin ucuz olması ve farklı üretim parametreleri kulla-

narak kompozit özelliklerini değiştirme imkanı olduğundan yaygın olarak kullanılmaktadır. Çok iyi bilindiği üzere, takviye fazı ve matris alaşımı arasındaki arayüzey özellikleri, MMK'lerin mekanik davranışlarında önemli bir etkiye sahiptir. Şekil 3'ten de anlaşılacağı üzere, MMK'lerin yüksek elastisite modülü ve dayanıma sahip olması, uygulanan dış kuvvetlerin matris tarafından takviye fazına dağılımı ve transferi ile mümkün olacağından takviye fazı ile matris arasında güçlü bir arayüzey olması bu anlamda çok önemlidir. Metalurjik açıdan ise katkı fazının matris alaşımı tarafından yeterince ıslatılabilmesi, arayüzeyde çok düşük oran-

$0^\circ < \theta < 180^\circ$ partial wetting
 $\theta = 180^\circ$ no wetting

The relation between θ (contact angle), γ_{sv} (specific energy of the solid-vapor interface), γ_{lv} (specific energy of the liquid-vapor interface) and γ_{sl} (specific energy of the solid-liquid) is determined by the following equation:

$$\gamma_{kb} = \gamma_{ks} + \gamma_{sb} \cdot \cos \theta$$

Each specific energy is an energy per unit area of Helmholtz free energy, or surface tension force. When a liquid drop is put on a solid substrate, it will replace a portion of the solid-vapor interface by a liquid-solid and

a liquid-vapor interface. The spreading of liquid will occur only if this results in a decrease in the free energy of the system [4].

The decrease in contact angle causes an increase in the surface area of the liquid consequently an increase in the overall surface free energy of the liquid. Thus, a decrease will occur in the overall surface free energy of the solid. At equilibrium of these energies, stable-state conditions will occur where the contact angle is minimum and this equilibrium state is referred as Young's equation as given above.

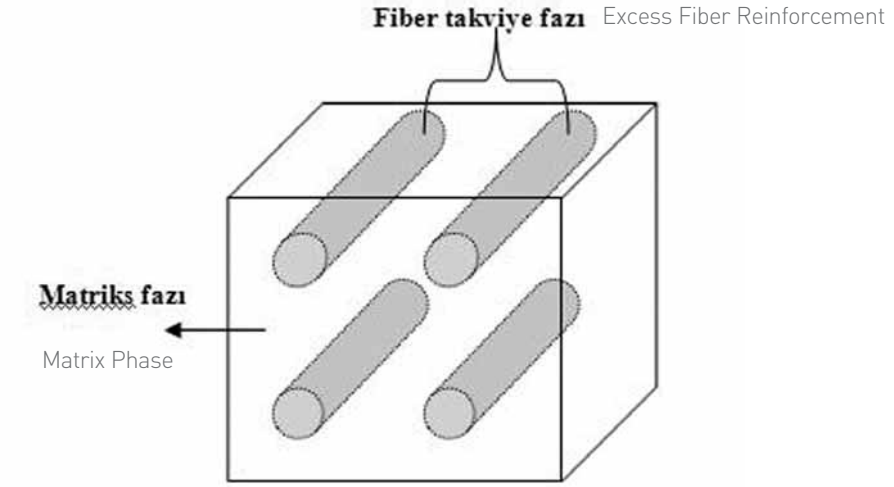
Wetting in Al/SiC system

Casting of metal matrix composites (MMCs) is an attractive processing method for these advanced materials since it is relatively inexpensive, and offers a wide variety of material and processing condition options. As known, the mechanical properties of MMCs are strongly related to the structure and properties of this reinforcement/metal interface. As seen from Figure 3, a strong interface leads to transfer and distribution of load from the matrix to the reinforcement. From metallurgical consideration the desired interfacial region in a composite relies on, an intimate contact between the

larda ve hızlarda kimyasal reaksiyonların olması, fazlar arasında çok az veya hiç difüzyon olmaması ve dolayısıyla katkı fazının bozunmaması çok önemlidir [3–5].

SiC gibi kovalent bağlı seramiklerin 900°C'nin altında sıvı alüminyum tarafından ıslanabilirliği oldukça düşüktür. İyonik ve kovalent yapıdaki katı malzemeler, atomların kararlı elektronik yapısı ve atomlar arası güçlü bağ yapısı ile tanımlanır. Bu yapıdaki malzemelerin sıvı metal ile etkileşimi ancak atomlar arası bağların kısmen veya tamamen ayrılması ve katı faz ile kimyasal reaksiyon sonucu mümkün olabilmektedir [6].

Metal eriyik yüzeyinde oluşacak bir oksit tabakası takviye fazının ergimiş alaşım tarafından ıslanabilirliğini azaltmaktadır. Bu oksit tabakası, özellikle üstten ilave edilen takviye partiküllerinin matriks alaşımına karışmasına engel olmaktadır. Alüminyumun yüksek oksijen afinitesi nedeniyle alüminyum bazlı sistemlerde oksit oluşumuna engel olmak oldukça güçtür. Zhou ve arkadaşları çalışmalarında, Al/SiC kompozitlerde ıslanabilirliğin zayıf olmasının ana sebebinin seramik partikül yüzeyinde mevcut ince bir gaz tabakasından dolayı olduğunu belirtmişlerdir. Mevcut gaz tabakasının sıvı alüminyumun SiC partikülleri ile temasını engellediği ve eriyik içerisindeki katkı fazı oranının belirli bir kritik değeri aştığında gaz tabakasının bir köprü görevi yapıp bütün partiküllerin eriyikten dışarı atılmasına neden olduğunu belirtmişlerdir [7]. Farklı



Şekil 3. Fiber takviyeli kompozit malzemenin şematik görünümü
Figure 3. A schematic illustration of a fiber reinforced composite.

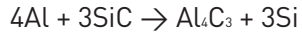
reinforcement and the matrix in order to establish satisfactory wetting of the reinforcement by the matrix and a very low rate of chemical reaction at the interface, and little or no inter-diffusion between the component phases, so that the reinforcement is not degraded [3–5].

Wetting of covalent bonded SiC ceramics is usually very poor especially below 900°C by liquid aluminum. Ionic and covalent solids are characterized by a closed, stable electronic configuration of atoms and high strength inter-atomic bonds. Interactions with these bodies and molten metals are thought to be possible only through partial or complete dissociation of the inter-atomic bonding and chemical reaction with the solid phase [6].

Generally, the presence of oxide films on a melt surface leads to non-wetting by molten alloys of reinforcement particles. This oxide layer creates a resistance to reinforcement particle penetration of a molten matrix, especially when the particles are added from the top of a cast. Aluminum has high oxy-

gen affinity, therefore very difficult to avoid oxide formation in aluminum-based systems. Zhou and Xu, have proposed that this gas layer may be the main reason for their poor wettability. The layer prevents molten matrix material from coming into contact with the surface of individual particles and additionally, when the particle concentration in a melt reaches a critical level, the gas layers can form a bridge leading to total rejection of particles from the melt [7]. The contact angle of various ceramic phases by liquid aluminum is summarized in Table 1. It shows that in general the value of contact angle decreases with an increase in aluminum liquid temperature, and wettability is improved at higher temperatures, normally above 900°C. The reason of lower contact angles at higher temperatures is the degradation of the oxide layer on the liquid metal surface thus leads the liquid metal spread on the ceramic surface [6]. However, higher temperatures during fabrication of the composites may cause degradation of SiC reinforcements according to the reaction given below, and in addition increase the cost of produc-

seramik malzemelerin sıvı alüminyum tarafından ıslanabilirliği konusunda yapılan deney sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. Tablodan, artan sıvı alüminyum sıcaklığı ile ıslanabilirliğin arttığı ve özellikle 900°C ve üzerindeki sıcaklıklarda yüksek düzeyde ıslanabilirlik elde edildiği görülmektedir. Yüksek sıcaklıklarda temas açısının düşük olması, sıvı damla yüzeyindeki metal oksit tabakasının bozunması nedeniyle sıvı metalin seramik üzerinde daha kolay yayılabilmesinden kaynaklanmaktadır [6]. Ancak uygulamada bu kadar yüksek sıcaklıklara çıkılması aşağıda verilen reaksiyon sonucu SiC katkı fazının bozunmasına neden olacağından ve üretim maliyetini artıracığından ıslanabilirliği artıracak farklı yöntemler araştırılmaktadır.



Islanabilirliği Artırıcı Yöntemler

a- Alaşım Elementi İlavesi

Islanabilirliği artırmak için sıvı alaşıma ilave edilen reaktif elementler matriks/katkı fazı arayüzey özelliklerini iyileştirmektedir. Örneğin sıvı alaşıma magnezyum, kalsiyum, titanyum veya zirkonyum ilavesi, eriyik metalin yüzey gerilme kuvvetini ve katı-sıvı arayüzey enerjisini azalttığından ıslanabilirliği artırmaktadır [8]. Alüminyum bazlı kompozitlerde magnezyumun (Mg), matriks alaşımına ilavesi ve katkı fazlarının dağılımında diğer elementlere göre daha fazla etkili olduğu ve özellikleri iyileştirdiği bilinmektedir. Magnezyumun sıvı alüminyum alaşımına ilavesi ıslanabilirliği artırmaktadır çünkü magnezyumun yüzey gerilme kuvveti (0,599 Nm⁻¹) alüminyumun yüzey gerilme kuvvetinden (0,760 Nm⁻¹) daha düşüktür. Magnezyum aynı zamanda katkı fazı yüzeyindeki reaksiyonların gerçekleşmesine ve

Tablo 1. Farklı seramik katkı fazları ile sıvı alüminyum arasındaki temas açıları (1)

Table 1. Contact angles between different ceramic reinforcements and liquid aluminum (1)

Seramik Katkı Fazı Ceramic Reinforcement	Sıcaklık Temperature (°C)	Temas Açısı Contact Angle (θ)
SiC	900	150
	1100	34
	1100	42
B ₄ C	900	135
	1100	120
	1100	119
Al ₂ O ₃	900	90
	900	120
	1100	70
	1100	80
	1100	83

tion.
4Al + 3SiC → Al₄C₃ + 3Si

Methods to promote wettability

a- Addition of alloying elements

When reactive elements are added to improve wettability, it also improves the matrix/reinforcement interface properties. For example, the addition of magnesium, calcium, titanium, or zirconium to the melt may promote wetting by reducing the surface tension of the melt, decreasing the solid-liquid interfacial energy of the melt, or inducing wettability by chemical reaction [8]. It has been found that for aluminum-based composites, magnesium has a greater effect in incorporation reinforcement particles in the melt and improving their distribution, than other elements. The addition of magnesium to aluminum melt improves wetting because of the lower surface tension of magnesium (0,599 Nm⁻¹) compared with that of aluminum (0,760 Nm⁻¹). Magnesium can also reduce the solid-liquid interfacial energy by aiding the reaction

at the surface of the reinforcement particles and forming new compounds at the interface. However, the excess of magnesium leads to form Mg₃Al₂ phase which deteriorate the mechanical properties and also reduces the casting fluidity [3].

b- Particle treatment

Heat treatment of SiC particles before dispersion in the melt aids their transfer by causing desorption of adsorbed gases from the particle surface. Heating SiC particles to 900°C assists in removing surface impurities desorption of gases, and altering the surface composition due to the formation of an SiO₂ (Figure 4) layer on the surface [10].

During the fabrication of the composites based on Al-Si-Mg alloys with oxidized SiC particles, the SiO₂ layer reacts with liquid aluminium alloy to form a polycrystalline layer of MgAl₂O₄ spinel and Mg₂Si. The thickness of the MgAl₂O₄ layer depends on the thickness of the SiO₂ layer on the SiC particles. A lower oxidation level leads to a thinner layer of MgAl₂O₄ in the composite,

arayüzeyde yeni bileşiklerin oluşmasına neden olduğu için katı-sıvı arayüzey enerjisini azaltmaktadır. Ancak, fazla miktardaki magnezyum (ağ.%3 gibi), mekanik özelliklere olumsuz etkisi olan düşük ergime sıcaklığına sahip bileşiklerin (Mg_5Al_8 gibi) oluşmasına ve ayrıca dökümün akıcılığının azalmasına neden olmaktadır [3].

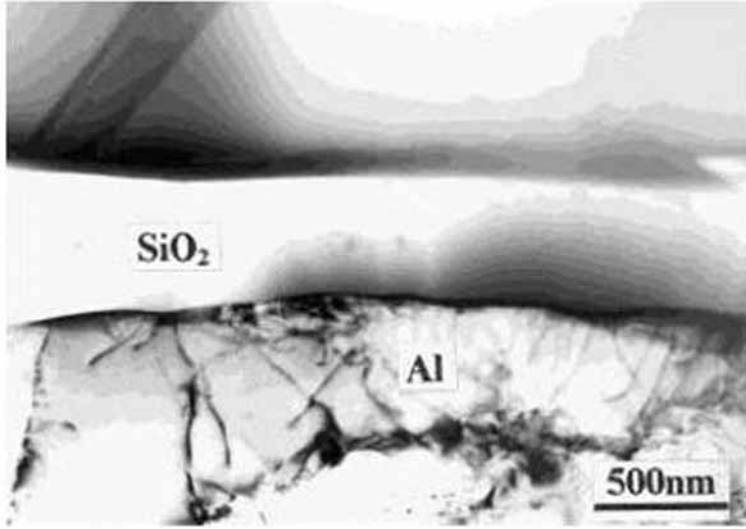
b- Katkı Fazının Isıl İşlemi

Seramik katkı fazının matris alışımla ilavesinden önce ısı işlemi ile katkı fazı yüzeyine absorbe olmuş gazların giderilerek yüzeyin temizlenmesi ıslanabilirlik açısından önem taşımaktadır. SiC partiküllerine $900^{\circ}C$ 'de yapılacak bir ön ısıtma işlemi ile yüzey empürütelerinin giderilmesi, gazların desorpsiyonu ve yüzeyde bir SiO_2 tabakasının oluşması sağlanır (Şekil 4). Bu işlem ıslanabilirliği artırdığından birçok araştırmacı tarafından uygulanmaktadır [10].

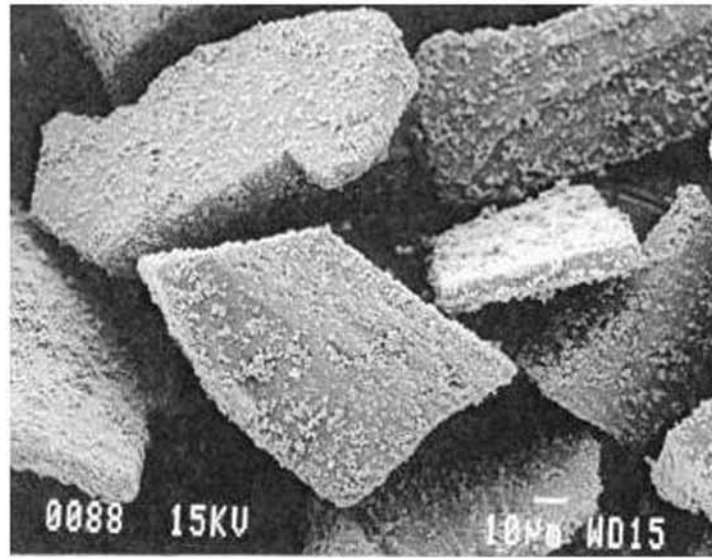
SiC partiküllerinin termal oksidasyonu ile elde edilen SiO_2 kaplamanın sıvı alüminyum ile temas etmesi halinde $MgAl_2O_4$ spineli ve Mg_2Si reaksiyon ürünleri meydana gelmektedir. $MgAl_2O_4$ tabakasının kalınlığı SiO_2 tabakasının kalınlığına bağlı olup tabaka kalınlığı arttıkça SiC partiküllerinin korunması da artmaktadır. Ancak aşırı kalınlık kırılma yaratacağından bunun optimizasyonu oldukça önemlidir [4].

c- Katkı Fazının Kaplanması

Genelde metal olmayan bir katkı fazının sıvı metal tarafından ıslanabilirliği zordur. Bunun nedeni önceden de açıklandığı gibi, metal karbür ve metal oksitlerin iyon ve kovalent bağlarının kararlılığıdır. Bu durumu iyileştirmenin bir diğer yolu da katkı fazının ıslanabilir bir metal ile kaplanmasıdır. Çünkü sıvı metaller katı metalleri çoğunlukla ıslatabilir ve metaller arası bileşiklerin oluşması durumunda



Şekil 4. Al/SiC arayüzeyinde SiO_2 tabakasını gösteren TEM görüntüsü [11]
Figure 4. TEM image of a SiO_2 layer at the Al/SiC interface [11]



Şekil 5. Ni kaplanmış SiC partiküllerine ait SEM görüntüsü [14]
Figure 5. SEM image of Ni coated SiC particles [14]

resulting in lesser effective protection. However, a thicker layer results in a brittle interface, thus lowering the strength of the composite [4].

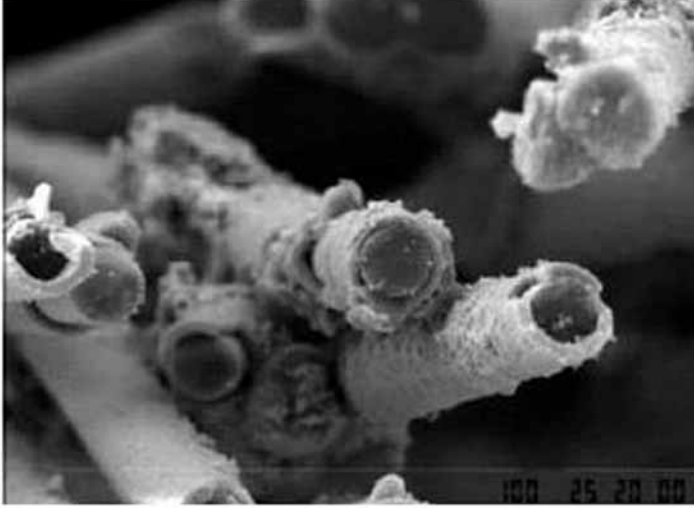
c- Reinforcement coating

In general, the surface of non-metallic particles is difficult to wet by a liquid metal. As explained before, this is due to the stability of ionic and covalent bonded metal carbides and metal oxides. Another way to improve wettability is coating ceramic particles with a wettable metal. This is because the liquid metals almost always wet solid metals, and wettability is highest in the case of mutual solubility or

formation of inter-metallic compounds. Different coating methods are applied including chemical vapor deposition (CVD), plasma vapor deposition (PVD), electroplating, cementation, plasma spraying and sol-gel processes [11].

Nickel and copper are wet well by many alloys, and these metals have been used as a coating material. In addition, silver, and chromium have also been used as coating materials [7, 12-16]. However, nickel (Figure 5) is the most used metal in aluminum based composites.

In addition to metallic coatings, ceramic coatings such as, SiO_2 , BN, Al_2O_3 , TiO_2 (Figure 6), MgO



Şekil 6. TiO₂ kaplanmış SiC fiberlere ait SEM görüntüsü [17]
Figure 6. SEM image of a TiO₂ coated SiC fibres [17]

ıslanabilirlik en yüksek seviyede olur. Katkı fazının kaplanması, kimyasal buhar çökertme (CVD), fiziksel buhar çökertme (PVD), akımla ve akımsız elektrolitik kaplama, sementasyon, plazma sprey ve sol-jel teknikleri kullanılmaktadır [11].

Nikel ve bakır birçok alaşım tarafından ıslatılabilmektedir ve kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bunların yanı sıra, gümüş, bakır ve krom da literatürde kaplama olarak kullanılan metaller arasındadır [7, 12-16]. Alüminyum bazlı kompozitlerde ise en sık kullanılan metal kaplama nikteldir (Şekil 5).

Metalik kaplamaların yanı sıra SiO₂, BN, Al₂O₃, TiO₂ (Şekil 6), MgO ve SnO₂ gibi seramik kaplamalar da SiC ile alüminyum arasında koruyucu bir tabaka oluşturmasına karşın yeniden ergitme sıcaklıklarına çıkıldığında ve özellikle bu sıcaklıklarda uzun süre bekletildiğinde kaplama bozunarak Al₄C₃ oluşumuna neden olmaktadır. Tablo 2'de farklı seramik kaplamaların Al/SiC arayüzey ve kompozit özelliklerine etkisi verilmiştir. Ancak, kaplamaların üretim sırasında sıvı metal ile etkileşimleri ve dolayısıyla katılaşmaya, içyapıya ve mekanik özelliklere etkisi tam olarak bilinmemektedir.

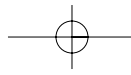
SiC partiküllerinin oksidasyonu dışındaki diğer seramik kaplamalar genelde sol-jel ve kuru karıştırma yöntemleri ile elde edilmektedir. Alkositlerin hidroliz reaksiyonlarına dayalı bir proses olan sol-jel yöntemi ile SiC yüzeyinde sürekli ve ince bir oksit tabakası oluşturmanın maliyeti oldukça düşük ve uygulaması çok kolaydır [17]. Sol-jel yöntemi ile elde edilen MgO ve Al₂O₃ kaplamaların kalınlığı ortalama 50nm'dir. Her iki kaplama da SiC partiküllerinin alüminyum ile temasını engellemekte etkilidir. Bunun yanı sıra, TiO₂ kaplamanın süresiz olduğu ve yüksek sıcaklıklarda uzun süre bekletilmesi durumunda SiC'ün bozunarak Al₄C₃

ve SnO₂ have been used as coating material. Ceramic coatings also act as a protective layer between the matrix and reinforcements. However, for durations longer than 2 h at higher temperatures during processing and remelting, leads to degradation of SiC with the formation of Al₄C₃ crystal and silicon release. The effect of different ceramic coatings on the Al/SiC interface and composite properties are given in Table 2. However, there is still lack of information about the interaction between the ceramic coating and liquid metal during fabrication and its effect on solidification, microstructure and mechanical properties of the composites.

The other type of oxide coatings are mostly carried out by the sol-gel or dry-mixing technique. Sol-gel process based on hydrolysis reactions of alkoxides allows surfaces to be coated with continuous and thin oxide films and has advantages such as low process cost and is easily manufactured [17]. The coating thickness of MgO and Al₂O₃ coatings produced by sol-gel process is about 50nm. Both coatings prevent the interaction of SiC particles and aluminum. In addition TiO₂ coating obtained by a dry mixing process has been found to be discontinuous on SiC particle which leads the degradation of SiC particles [17].

Conclusions And Recommendations

The application of coatings to the reinforcement during fabrication of metal matrix composites is an important step, having promising effects on the interfacial, physical and mechanical properties of the composites. Metallic coatings improve the wettability of the reinforcement and prevent the excessive interfacial reaction by enrichment of the coated metal in the matrix near to the interface. The metal coating process is economically viable, but leads to unwanted alloying. Electroless nickel coating of SiC particles is an economic way to obtain a uniform coating and because of this it is the favorable method among metallic coatings. A ceramic coating reduces the interfacial reaction by acting as a diffusion barrier between the reinforcement and the matrix. Most of the ceramic coating techniques are expensive. However, SiO₂ coating obtained by thermal treatment of SiC particles is the most economic method.



Tablo 2. Seramik kaplamaların AlSiC arayüzey ve kompozit özelliklerine etkisi (2)
Table 2. Effect of different ceramic coatings on the AlSiC interface and composite properties (2)

Kaplama Malzemesi Coating Material	Kaplama Yöntemi Coating Method	Kompozit Üretim Yöntemi Composite Fabrication Method	Etki Effects
SiO ₂	Kuru karıştırma Dry mixing process	Karıştırmalı döküm Stir casting	700°C'de Al ₄ C ₃ oluşumunu engellemekte ancak 800°C'nin üzerinde koruyucu etkimin kalkması. Significant reduction of Al ₄ C ₃ process formation at 700°C and no protection above 800°C.
	Termal oksidasyon Thermal oxidation	Basınçlı infiltrasyon Pressure infiltration	Al'nin SiO ₂ ile temas etmesi durumunda Al ile SiC arasındaki reaksiyon gerçekleşmektedir. Once Al reacts with SiO ₂ reaction between Al and SiC proceeds.
	Termal oksidasyon Thermal oxidation	Compcasting	Arayüzey reaksiyonları alaşım bileşenlerine ve SiO ₂ 'nin kalınlığına bağlıdır. Interfacial reaction is dependent on alloy composition and thickness of SiO ₂ layer.
Al ₂ O ₃	Kuru karıştırma Dry mixing process	Karıştırmalı döküm Stir casting	Arayüzey reaksiyonlarında artış. Increase in interfacial reaction.
	Sol-jel Sol-gel	İnfiltrasyon Infiltration	Koruma özelliği zayıf. Not effective protection in particulates.
TiO ₂	Kuru karıştırma Dry mixing process	Karıştırmalı döküm Stir casting	Al ₄ C ₃ oluşumunu engellemekte oldukça etkili. Remarkable reduction in Al ₄ C ₃ formation
	Sol-jel	-	Çok etkili değil. Not very effective.
	Sol-gel	-	-
SnO ₂	Sol-jel	Karıştırmalı döküm	Partiküllerin korunmasında arayüzeyde oluşan MgO/Ti tabakası etkindir.
SbO ₂	Sol-gel	Stir casting	MgO/Ti reaction layer formed in the interface is responsible for the protection of particles.

oluşturduğu yapılar çalışmalarda gözlenmiştir [17].

Sonuçlar ve Öneriler

Metal matrisli kompozitlerin üretiminde seramik katkı fazlarının kaplanması kompozitlerin arayüzey, mekanik ve fiziksel özelliklerine olumlu bir etkisi vardır. Metalik kaplamalar, katkı fazının ıslanabilirliğini artırmakla beraber, istenmeyen arayüzey

reaksiyonlarını engellemektedir. Ekonomik bir yöntem olan metalik kaplamanın en büyük dezavantajı matris alaşımında istenmeyen alaşım elementlerine sebep olmasıdır. Akımsız nikel kaplama ile SiC katkı fazının kaplanması yöntemin ekonomik ve kaplamanın homojen olması nedeniyle metalik kaplamalar arasında en uygun yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır.

Metalik kaplamaya göre daha pahalı bir yöntem olan seramik kaplamalar da matris ile katkı fazı arasında koruyucu bir tabaka oluşturarak arayüzey reaksiyonlarını azaltmaktadır. Seramik kaplamalar arasında özellikle SiC katkı fazının oksidasyonu ile elde edilen SiO₂ tabakası hem ekonomik hem de koruyucu etkiye sahip olması açısından uygulamada sıkça kullanılmaktadır.

Kaynaklar/Bibliography

1. C. Cayron, Thesis, 2000, Lausanne, EPFL, France.
2. J.W. Kaczmar, K. Pietrzak, W. Wlosinski, J. of Mater. Process. Tech. 106 (2000) 58.
3. J. Hashim, L. Looney, M.S.J. Hashmi, J. Mater. Process. Tech. 119, (2001) 324.
4. T. P. D. Rajan, R. M. Pillai, B. C. Pai, J. of Mater. Sci. 33 (1998) 3491.
5. J. Hashim, L. Looney, M.S.J. Hashmi, J. Mater. Process. Tech. 119, (2001), 329.
6. A.R. Kennedy, A.E. Karantzalis, Mater. Sci. and Eng. A264 (1999) 122.
7. W. Zhou, Z.M. Xu, J. Mater. Process. Tech. 63, (1997), 358
8. E. Candan, Turkish J. Eng. Env. Sci. 26 (2002), 1.
9. H. Ribes, R. Dasilva, M. Suery, T. Breteau, Mater. Sci. Tech. 6, (1990), 621.
10. Mingyuan Gu, Yanping Jin, Zhi Mei, Zengan Wu, Renjie Wu, Mater. Sci. and Eng. A252 (1998) 188.
11. T.W. Chou, A. Kelly, A. Okura, Composites, 16, (1985), 187.
12. B.C. Pai, P.K. Rohatgi, Mater. Sci. Eng. 21, (1975), 161.
13. C.A. Leon, R.A.L. Drew, Composites: Part A 33 (2002) 1429.
14. F. Kretz, Z. Gacsi, J. Kovacs, T. Pieczonka, Surface and Coat. Tech. 180 -181 (2004) 575.
15. Libo Li, Maozhong An, Gaohui Wu, Surface and Coat. Techn. (2005)
16. A. R. Boccaccini, P. Karapappas, J. M. Marijuan, C. Kaya, J. of Mater. Sci. 39 (2004) 851.
17. L. P. Lefebvre, G. L'Esperance, M. Suery, J. of Mater. Sci. 32 (1997) 3987.

