



KOMPOZİT MALZEMELERİN KAPLANABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

INVESTIGATION OF COATING CAPABILITY OF COMPOSITE MATERIALS

Yelda AKÇİN^{1*}, Osman ASİ², Önder YEŞİL²

¹Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, 03000, Afyonkarahisar.
yeldaakcin@aku.edu.tr

²Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Uşak Üniversitesi, 64000, Uşak
osman.asi@usak.edu.tr, onder.yesil@usak.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 06.03.2013, Kabul Tarihi/Accepted: 01.04.2013

doi: 10.5505/pajes.2013.52724

*Yazışılan yazar/Corresponding author

Özet

Kompozit malzemeler günümüzde, yüksek dayanım/yoğunluk ve yüksek elastisite modülü/yoğunluk oranının önemli olduğu savunma sanayinde, deniz taşımacılığında, otomotiv ve uzay sektöründe çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak tribolojik davranışları ve düşük aşınma dirençleri gibi yüzey özellikleri ile ilgili nedenlerden dolayı kullanım alanları sınırlanmaktadır. Malzemelerin bu özelliklerinin iyileştirilebilmesi için yapılacak çalışmalardan en önde geleni ise kaplamadır. Bu çalışmada, günümüzde yaygın olarak kullanılmaya başlanılan plazma sprey kaplama yöntemi ile sert seramik tozları ($Al_2O_3 + TiO_2$ ve CrO_3) cam elyaf takviyeli ve karbon elyaf takviyeli epoksi matrisli kompozit malzemelerin yüzeyine kaplama işlemi yapılmış ve elde edilen kaplamaların fiziksel, mekaniksel ve metalografik özellikleri incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Cam elyafı, Karbon elyafı, Kompozit malzeme, Sert seramik tozları, Plazma sprey kaplama.

Abstract

Nowadays, composite materials are widely used in the sectors that are overrated high strength / density and high elasticity modulus / density ratios such as defense industry, marine transportation, automotive and aerospace industry. However, because of the surface properties such as tribological behavior and low wear resistance their application areas are limited. Coating is the prominent process in order to improve these properties of the materials. In this study, hard ceramic powders ($Al_2O_3 + TiO_2$ and CrO_3) are coated to surface of glass fiber and carbon fiber reinforced epoxy matrix composite materials with plasma spray coating method started to be widely used nowadays and physical, mechanical and metallographic properties of obtained coatings were examined.

Keywords: Glass fiber, Carbon fiber, Composite material, Hard ceramic powder, Plasma spray coating.

1 Giriş

Kompozit malzemeler çok iyi dayanım/yoğunluk oranlarından dolayı günümüz endüstrisinde çok yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Ancak tribolojik davranışlar ve düşük aşınma dirençleri gibi yüzey özellikleri ile ilgili nedenlerden dolayı kullanım alanları sınırlanmaktadır. Malzemelerin aşınma dayanımları değişik yöntemlerle iyileştirilebilir. Bunlardan birisi de, plazma sprey kaplama yöntemidir. Ancak metallere uygulanan standart plazma sprey prosedürleri, cam elyaf ve karbon elyaf takviyeli kompozit malzemelerin ısıya duyarlılıkları ve polimerik malzemelerin erimelerinden dolayı uygun değildir. Kaplama işlemi sırasında önlemler alınmazsa aşırı ısı kompozit malzemeye zarar verebilir. Aşırı ısınmadan kaçınmak için sıvı gaz püskürterek kaplama sırasında kontrollü atmosfer ile soğutma sağlamak, sprey parametrelerinin kontrol etmek veya ısıdan zarar gören malzemeler için özel yapışan kaplamalar üretmek gibi farklı yöntemler uygulanmıştır. Bu yaklaşımlar içerisinde en çok tercih edilen yöntemler sprey parametrelerinin kontrolü (uzaklık, hız, açı...) ve sprey sırasında soğutma sisteminin kullanılmasıdır [1].

Bu çalışmada; cam elyaf ve karbon elyaf takviyeli epoksi matrisli kompozit malzemelerin plazma sprey yöntemi kullanılarak $Al_2O_3 + TiO_2$ ve CrO_3 ten oluşan sert seramik tozları ile kaplanabilmesi ve daha sonra bu kaplamaların özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda plazma sprey kaplama yöntemi kullanılarak sert seramik tozları ile kaplanan cam ve karbon elyaf takviyeli epoksi matrisli kompozit malzemeler optik ve SEM

mikroskobunda incelenmiş, mikrosertlik değerleri belirlenmiş ve çekme deneyine tabi tutularak kaplamaların altlık malzemeye yapışma mukavemetleri ölçülmüştür.

2 Materyal-Metod

Plazma sprey kaplama yönteminin temel esası kaplanılmak istenilen seramik, metalik, karbür, oksit, plastik veya kompozit karakterli tozların plazma enerjisi ile ergitilmesi ve kaplanılmak istenen yüzeye püskürtülmesine dayanır. Plazma oluşturmak için bir gaz kütlelerine enerji verilerek kararlı gaz yapısının bozulması ve denge dışı yoğun bir enerji bulutunun ortaya çıkması sağlanır. En yaygın ve basit yöntem gaz kütlelerine elektrik enerjisi verilmesidir. Plazma sprey kaplama yönteminin en büyük avantajı çok yüksek sıcaklıklara çıkılarak ergimesi zor olan seramik ve metal alaşım tozlarının kolayca ergitilmesini sağlamasıdır. Seramik tozları, yüksek aşınma dayanımları ve sertlikleri, hammaddelerinin kolay bulunabilirliği ve buna bağlı olarak ucuzluğu, korozyon ve termal özelliklerinin iyi olması gibi nedenlerle önemli bir kaplama malzemesidir. Ancak ergime sıcaklıklarının çok yüksek olması bu tozların kaplanabilirliğini sınırlandırmaktadır. Plazma sprey kaplama teknolojisi sayesinde yüksek ergime sıcaklığına sahip bu malzemeler de kolayca kaplanabilmeye başlanmıştır. Plazma sprey kaplama prosesinde, plazma, sprey tabancası içerisinde bulunan anot ile katot arasında oluşturulur. Anot ile katot arasına verilen yüksek voltaj arkı plazma gazlarının (Ar , H_2 , N_2 , He) nötr durumlarının bozulmasına neden olur ve disosiyasyon, iyonizasyon, rekombinasyon olayları sonucunda plazma meydana gelir. Isınan gazlar genişler ve partiküllerin hızının

daha da artırılması için dar bir boğazlı bir nozul içerisinden geçirilir. Kaplama tozları ise taşıyıcı Ar gazı ile bu oluşturulan plazma huzmesinin içine beslenir. Bu çok sıcak olan gaz içerisinde ergiyen tozlar altlık malzemenin üzerine püskürtülür. Altlığa çarpan tozlar yassılaştır ve lamelli bir kaplama yapısı oluşturur [2]-[3].

Bu çalışmada, daha önceden üretilmiş olan cam ve karbon elyaf takviyeli epoksi matrisli kompozit malzemeler kumlama işlemine tabi tutulduktan sonra üzerine Ni-Al astar, $Al_2O_3+TiO_2$ ve CrO_3 tozlarının kaplama işlemi METSER Kaplama Makine Bakım Onarım Sanayi Tic. Ltd. Şirketi imalathanesinde yapılmıştır. Kaplama işleminin uygulanmasında kullanılan cihaz METCO 6P II'dir. Numunelere uygulanan plazma sprey kaplama parametreleri Tablo 1' de verilmiştir.

Tablo 1: Plazma sprey parametreleri.

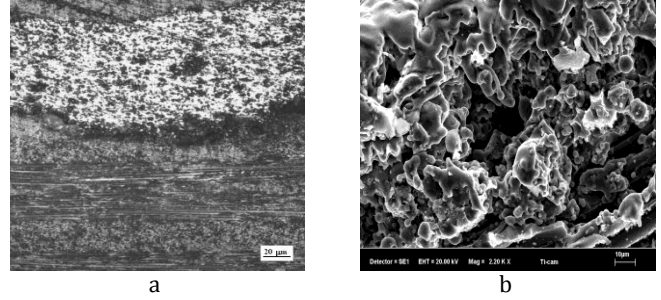
Kullanılan Toz	Kullanılan Gazların Flowmetre Değerleri		Atış Hava	Mesafesi	Hava Seti
	Oksijen	Asetilen			
Ni-Al Astar 95/5	34	34	2 Bar	180 mm	YOK
CrO_3 (% 99)	34	34	4 Bar	60 mm	4 Bar
$Al_2O_3+TiO_2$ (60/40)	32	30	4 Bar	75 mm	4 Bar

Çalışmada, cam elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine $Al_2O_3+TiO_2$ kaplanmış numune, karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine $Al_2O_3+TiO_2$ kaplanmış numune, cam elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine Ni-Al Astar + $Al_2O_3+TiO_2$ kaplanmış numune, karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine CrO_3 kaplanmış numune ve cam elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine CrO_3 kaplanmış numune olmak üzere 5 farklı numune üretilmiştir. Kaplama yapılan bu numunelerden optik mikroskop ve SEM incelemeleri için hassas kesme cihazında numuneler elde edilmiştir. Bu numunelerden optik mikroskop ve SEM'de görüntüler alınmış, kaplama yapısı gözlemlenmiş ve kaplama kalınlıkları belirlenmiştir. Daha sonra kaplamaların mikrosertlik değerlerinin belirlenmesi için bakalite alınmış numunelerin mikrosertlik cihazında sertlik değerleri ölçülmüştür. En son ise kaplamaların yapışma mukavemeti tayini için çekme deneyi yapılmıştır. Bunun için kaplanmış numunelerden 1.5x1.5 cm ebatlarında numuneler kesilmiş, bu numuneler 1.5x1.5x10 cm ebatlarında hazırlanmış demir kuponlara çift taraflı olarak yapıştırıcı ile yapıştırılmış ve yapıştırıcının iyi tutması için 24 saat bekletilmişlerdir. Daha sonra hazırlanan bu düzenekler çekme deneyi cihazında teste tabi tutulmuşlardır.

2.1 Kaplamaların Optik Mikroskop ve SEM İncelemeleri

Kaplama işlemi sonrası optik mikroskopta ve SEM de incelenmek üzere numuneler kesilmiş, bakalite alınıp zımparalanmıştır. Numunelerin çeşitli büyütmelerde resimleri çekilmiş, kaplama yüzeyleri incelenmiştir. Plazma sprey kaplamaların karakteristik özellikleri poroziteli olmalarıdır. Porozite, kaplamanın sertlik, aşınma direnci ve yapışma mukavemetini azalttığı için istenmeyen bir özelliktir. Porozite miktarı ergitme gücünün artırılması, sprey mesafesinin kısaltılması gibi parametre kontrolleriyle en aza indirilmeye çalışılır [4]-[5]. Ancak yapılan çalışmada altlık malzeme olarak

kompozit malzeme kullanılması, elyafların ve epoksi matrisin çok yüksek ısılarda bozulmaları nedeniyle sprey mesafesinin uzun tutulması kaplamanın poroziteli bir yapıya sahip olmasına neden olmuştur. Şekil 1 (a) ve (b) de cam elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine $Al_2O_3+TiO_2$ kaplanmış numunenin yapısındaki poroziteler ve ergimemiş partiküller görülmektedir. Şekil 1 (a)'da kaplama yüzeyinin ortasından alınmış optik mikroskop resminde görülen porozitelerin yapısı, aynı yerin SEM görüntüsünde de net olarak görülebilmektedir (Şekil 1 b).



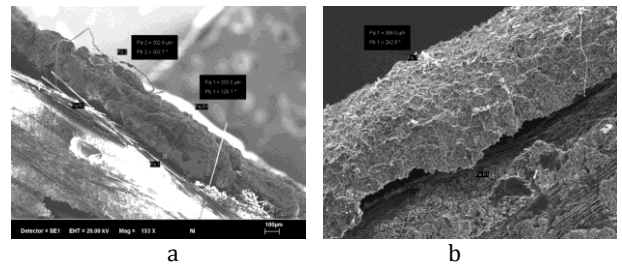
Şekil 1: Cam elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine $Al_2O_3+TiO_2$ kaplanmış a) Numunenin optik mikroskop görüntüsü, b) SEM görüntüsü.

Ayrıca kaplama kalınlığının tüm yüzey boyunca sabit bir kalınlıkta olmadığı da Şekil 1(a)'da görülmektedir. Bunun nedeni kumlama işlemine tabi tutulan altlık malzemenin yüzeyinde oluşan girinti-çukurlardır. SEM' de çekilen resimlerde belirlenen kaplama kalınlıkları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2: Numunelerde elde edilen kaplama kalınlıkları.

Numuneler	Kaplama Kalınlığı (µm)
$Al_2O_3+TiO_2$ (Cam Elyaf)	124-155
$Al_2O_3+TiO_2$ (Karbon Elyaf)	268-283
CrO_3 (Cam Elyaf)	253-260
CrO_3 (Karbon Elyaf)	280-386
NiAl Astar+ $Al_2O_3+TiO_2$ (Cam Elyaf)	302-333

Cam elyaf takviyeli kompozit malzeme üstüne Ni-Al astar + $Al_2O_3+TiO_2$ kaplanmış numunenin SEM resimlerinde kaplama altlık arasında yer yer ayrılmalara görülmüş, buna kaplama kalınlığının yüksek olmasının neden olduğu düşünülmüştür. (Şekil 2a). En kalın kaplamaya sahip olan karbon elyaf takviyeli kompozit üzerine CrO_3 kaplanmış numunede ise hiç ayrışma olmadığı yine SEM fotoğraflarında görülmektedir (Şekil 2b).



Şekil 2: a) Cam elyaf takviyeli kompozit altlık üzerine Ni-Al astar + $Al_2O_3+TiO_2$ kaplama(153X), b) Karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme altlık üzerine CrO_3 kaplama(150X).

124-155 µm kaplama aralığıyla en düşük kaplama kalınlığına sahip olan cam elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine Al₂O₃+TiO₂ kaplanmış numunede hiçbir ayrılma gözlemlenmemiştir. 268-283 µm kalınlık aralığına sahip karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine Al₂O₃+TiO₂ kaplanmış numune ve 253-260 µm kalınlık aralığına sahip cam elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine CrO₃ kaplanmış numunelerin SEM görüntülerinde bir ayrılmaya rastlanmamıştır. Al₂O₃+TiO₂ kaplamalar daha uzun atış mesafesinden yapıldığı için kaplamalardaki porozite miktarları ve büyüklüğü CrO₃ kaplamalara göre daha fazla olduğu görülmüştür.

2.2 Kaplamaların Mikrosertlik Değerleri

Shimadzu HMV-2 marka mikro sertlik ölçme cihazında sertlikleri ölçülen numunelerin sertlik değerleri Tablo 3 te verilmiştir. Sertlik değerleri yüzeyin farklı noktalarında yapılan 3 farklı ölçümün ortalaması olarak belirlenmiştir.

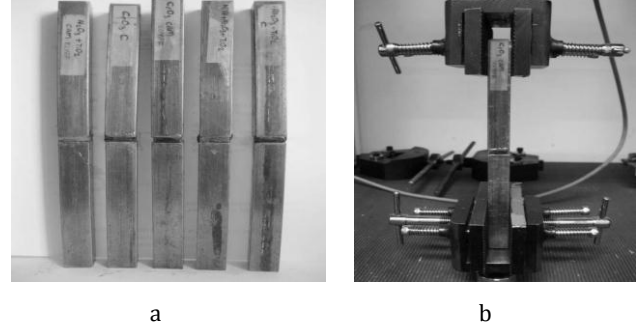
Tablo 3. Numunelerin sertlik değerleri.

Numuneler	Sertlik (HV)	Uygulanan Yük (gr)	Süre (sn)
Al ₂ O ₃ +TiO ₂ (Cam Elyaf)	356	200	20
Al ₂ O ₃ +TiO ₂ (Karbon Elyaf)	345	200	20
CrO ₃ (Cam Elyaf)	854	500	20
CrO ₃ (Karbon Elyaf)	523	500	20
Ni-Al+Al ₂ O ₃ +TiO ₂ (Cam Elyaf)	1108	500	20

Tablodaki verilere göre en sert kaplama 1108 HV ile cam elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine Ni-Al astar + Al₂O₃+TiO₂ kaplanmış numunedir. Deney sonuçlarına göre numuneye astar kaplama yapılmasının kaplama-altlık malzeme arasında iç gerilmelerden doğan uyumsuzluğu engellediği, bu yüzden sertlik değerinin diğer numunelere göre oldukça yüksek çıktığı yorumu yapılmıştır. Ayrıca iç gerilmelerin engellenmesinden dolayı en yüksek yapışma mukavemetinin de bu kaplamada çıkması beklenmiştir. Ancak deneyler sonucunda ara kaplama yapılmasına rağmen en düşük yapışma mukavemeti bu numunede görülmüştür. Bunun üzerine ara kaplama ile artan kaplama kalınlığı miktarının yapışma mukavemetini olumsuz etkilediği sonucuna ulaşılmıştır. CrO₃ kaplama yapılan numunelerin sertlik değerleri Al₂O₃+TiO₂ kaplama yapılan numunelerin sertlik değerlerinden daha yüksek çıkmıştır.

2.3 Çekme Deneyi

Kaplama yapılan numuneler, yapışma mukavemetini belirlemek için ASTM C-63 standardına göre çekme deneyine tabii tutulmuşlardır. Çekme deneyi için hazırlanan karbon ve cam elyaf takviyeli kompozit malzemeler üzerine plazma sprej yöntemiyle sert seramik tozları kaplanmış numunelerden, 1.5x1.5cm boyutlarında kesilerek numuneler hazırlanmıştır. Bu numuneleri üzerine yapıştırıp çekme deneyine tabi tutmak için 1.5x1.5x10 cm ebatlarında test kuponları hazırlanmış, numuneler kuponların üzerine yapıştırıcı ile yapıştırılmıştır. Numunelerin her iki yüzeylerine de ince bir film şeklinde homojen olarak yapıştırıcı sürülüp 2 tane test kuponu arasına eksenleri çıkışacak şekilde yerleştirilmiştir. Daha sonra bu düzenek iyice yapışması ve ara yüzeyde bir dolgu malzemesi oluşabilmesi için 24 saat boyunca bekletilmiştir. Şekil 3 (a)'da çekme deneyi için hazırlanmış test kuponları Şekil 3 (b)'de ise çekme cihazına yerleştirilmiş numuneler görülmektedir.



Şekil 3: a) Çekme deneyi için hazırlanmış test kuponları, b) Çekme cihazına yerleştirilmiş numuneler.

Numunelerin çekme deneyi ile elde edilen maksimum taşıyabildikleri kuvvetleri gösteren sonuçlar Tablo 4'te verilmiştir. Yapışma mukavemeti değerleri 3 farklı ölçümün ortalaması olarak belirlenmiştir.

Tablo 4: Çekme deneyi sonuçları.

Numune	Ni-Al astar + Al ₂ O ₃ +TiO ₂ (Cam elyaf)	Al ₂ O ₃ + TiO ₂ (Karbon elyaf)	CrO ₃ (Cam elyaf)	Al ₂ O ₃ +TiO ₂ (Cam elyaf)
	Yapışma Mukavemeti	5400 N	7350 N	8250 N

Karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine CrO₃ kaplanmış numunede çekme cihazına yerleştirme sırasında altlık-kaplama arasında ayrılma meydana gelmiş dolayısıyla deney yapılamamıştır. Zaten bu numunenin SEM görüntülerinde kaplamanın altlığa hiç yapışmadığı gözlemlenmiştir. Diğer sonuçlardan ise görülmektedir ki kaplama kalınlığı kaplamanın yapışma mukavemetini olumsuz etkileyen bir etkidir. Kalınlık arttıkça yapışma mukavemeti düşmektedir. En iyi yapışma mukavemeti en ince kaplama olan cam elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine Al₂O₃+TiO₂ kaplanmış numunede, en düşük yapışma mukavemeti ise en kalın kaplama olan karbon elyaf takviyeli kompozit malzeme üzerine CrO₃ kaplanmış numunede görülmüştür. Kaplamaların yapışma mukavemeti artan tabaka kalınlığı nedeniyle azalır. Çünkü tabaka kalınlığı arttıkça altlık malzeme ile kaplama malzemesi arasındaki uyumsuzluk artmaktadır. Termal genleşme uyumsuzluğunun giderilmesine yönelik uygulanan ara metalik kaplamalar (Ni-Al, Ni-Cr, NiAlCrY), yapışma mukavemetini olumlu yönde geliştirir [1]-[6].

3 Sonuçlar ve Tartışma

Cam elyaf ve karbon elyaf takviyeli epoksi matrisli kompozit malzemelere plazma sprej yöntemi kullanılarak Al₂O₃+TiO₂ ve CrO₃ ten oluşan kaplamaların özelliklerinin incelenmesi ile aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Plazma sprej yöntemi kullanılarak Al₂O₃+TiO₂ ve CrO₃ gibi sert seramik tozları cam elyaf ve karbon elyaf takviyeli kompozit malzemeler üzerine kaplanabilmektedir,
- Plazma sprej kaplama işlemi sırasında sprej mesafesi kaplamanın mikroyapısını doğrudan etkilemektedir. Kaplama mesafesinin uzun olması kaplamanın poroziteli bir yapıya sahip olmasına

neden olmaktadır. Mesafe arttıkça porozite miktarı ve porozitelerin büyüklüğü artmaktadır,

- Kaplama kalınlığı, kaplamanın altlığa yapışma mukavemetini etkileyen en önemli faktördür. Kalınlık arttıkça kaplamanın yapışma mukavemeti düşmektedir,

4 Teşekkür

Bu çalışma Uşak Üniversitesi BAP Birimi tarafından 2010/TP002 numaralı proje ile desteklenmiştir.

5 Kaynaklar

- [1] Akçin, Y., "Kompozit Malzemelerin Kaplanabilirliğinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Uşak Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011.

- [2] Üstel, F., Soykan, Ş., Çelik, E. ve Avcı, E., "Plazma Sprey Kaplama Teknolojisi", *Metalurji Dergisi*, Vol. 97, No. 1, 31-37, 1995.
- [3] Soykan, Ş. H., Üstel, F. ve Çelik, E., *Çelik Yüzeylerin Kaplanması*, ERDEMİR, Kdz. Ereğli, Zonguldak, Şubat 2006.
- [4] Visconti, I.C., Paesano, A. ve Penasa, M., "An investigation of antiwear coatings on fibre-reinforced plastics", *Composites Manufacturing*, Vol. 3, No.1, 14-19, 1992.
- [5] Altuncu, E. ve Üstel, F., "Plazma Sprey Kaplamaların Yapışma Özellikleri ve Proses Parametreleri ile İlişkisi", *Yüzey İşlemler*, 2011.
- [6] Yılmaz, Ş., İpek, M., Çelebi, G.F. ve Bindal, C., "The effect of bond coat on mechanical properties of plasma-sprayed Al₂O₃ and Al₂O₃-13wt% TiO₂ coatings on AISI 316L stainless steel", *Vacuum*, Vol. 77, 315-321, 2004.