

EJONS

International Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences

(Ulusal Fen, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi)

<https://ejons.org/index.php/ejons>

e-ISSN: 2602 - 4136

Araştırma Makalesi

Doi: <https://doi.org/10.5281/zenodo.11531844>

Pultrüzyon Yöntemi İle İmalatı Yapılan Kompozit Malzemelerin Alev Sprey Kaplama Yöntemi İle Seramik Malzemelerle Kaplanmasında Kaplama Özelliklerinin İncelenmesi

Abdulsamet GÖR¹, Osman ASİ^{2*}¹ Uşak Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Uşak.² Uşak Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Uşak.*Sorumlu Yazar e-mail: osman.asi@usak.edu.tr**Makale Tarihçesi**

Geliş: 12.05.2024

Kabul: 13.06.2024

Anahtar KelimelerPultrüzyon,
Kompozit malzeme,
Alev sprej kaplama,
Kaplama özellikleri.

Öz: Bu çalışmada, pultrüzyon yöntemi ile imalatı yapılan kompozit malzemelerin alev sprej kaplama yöntemi ile $Cr_2O_3 + TiO_2$ kaplanmasında kaplama özelliklerinin incelenmesi yapılmıştır. Pultrüzyon işlemi, sabit bir kesite sahip yüksek elyaf hacimli sürekli profillerin üretimini sağlayan, az emek gerektiren ve minimum atık malzeme üreten otomatik bir işlemdir. Kaplama yapılacak olan pultrüzyon yöntemi ile imalatları yapılan kompozit lama profillerinin imalatında sürekli cam elyafı ve matris malzemesi olarak polyster reçine kullanılmıştır. Kaplama yapılacak olan numuneler profillerden elmas disk testere yardımıyla planyada kesilerek hazırlanmıştır. Plaka şeklindeki kompozit malzemelere alev sprej kaplama yöntemi ile $Cr_2O_3 + TiO_2$ seramik tozların kaplama işlemleri yapılmıştır. Kaplama yapılan malzemelerin kaplama kalitesini incelemek için standartlara uygun numuneler hazırlanıp mikroyapı incelemeleri, sertlik ölçümleri, yüzey pürüzlülüğü ölçümleri ve yapışma mukavemeti değerlerinin tespiti için deneyler yapılmıştır. Mikroyapı incelemesi ve sertlik ölçümü yapılacak olan numuneler bakalite alınmış ve zımparalama-parlatma cihazında yüzeyleri parlatılmıştır. Numunelerin mikroyapı incelemeleri optik ve SEM mikroskopunda yapılmıştır. Kaplamaların porozite miktarlarının ölçümleri, optik mikroskopta bulunan Clemex görüntü analiz programı ile yapılmıştır. Kaplamaların mikrosertlik değerleri mikro sertlik ölçme cihazında ölçülmüştür. Numunelerin yapışma mukavemetleri, ASTM C-63 standardına göre çekme deneyi cihazında belirlenmiştir. Kaplama yapılan kompozit malzemelerin kaplama yüzeylerinde sertliğin 778 HV, porozite miktarının %10, yüzey pürüzlülük değerinin $2.113 \mu m$ ve yapışma mukavemetinin 16.3 MPa olduğu tespit edilmiştir.

Atf Künyesi: Gör, A. ve Asi, O. (2024). Pultrüzyon Yöntemi İle İmalatı Yapılan Kompozit Malzemelerin Alev Sprej Kaplama Yöntemi İle Seramik Malzemelerle Kaplanmasında Kaplama Özelliklerinin İncelenmesi, International Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences, 8(2):253- 259. **How to cite:** Gör, A. ve Asi, O. (2024). Investigation of Coating Properties of Composite Materials Manufactured by Pultrusion Method and Coating of Ceramic Materials with Flame Spray Coating Method International Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences, 8(2):253-259.

Investigation of Coating Properties of Composite Materials Manufactured by Pultrusion Method and Coating of Ceramic Materials with Flame Spray Coating Method

Article Info

Received: 12.05.2024.

Accepted: 13.06.2024

Keywords

Pultrusion,
Composite materials,
Flame spray coating,
Coating properties.

In this study, the coating properties of composite materials manufactured by pultrusion method were examined in $\text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$ coating with flame spray coating method. The pultrusion process is an automatic process that enables the production of high fiber volume continuous profiles with a constant cross section, requires little labor and produces minimum waste material. Continuous glass fiber and polyester resin were used as matrix material in the production of composite plate profiles, which were manufactured by the pultrusion method to be coated. The samples to be coated were prepared by cutting the profiles on a planer with the help of a diamond disc saw. Coating of $\text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$ ceramic powders was carried out on plate-shaped composite materials using the flame spray coating method. In order to examine the coating quality of the coated materials, samples in accordance with the standards were prepared and experiments were carried out to determine microstructure examinations, hardness measurements, surface roughness measurements and adhesion strength values. The samples for microstructure examination and hardness measurement were taken in bakelite and their surfaces were polished in a sanding-polishing device. Microstructural examinations of the samples were carried out using optical and SEM microscopes. Measurements of porosity amounts of the coatings were made with the Clemex image analysis program on the optical microscope. Microhardness values of the coatings were measured on a microhardness measuring device. The adhesion strength of the samples was determined in the tensile test device according to ASTM C-63 standard. It was determined that the hardness on the coating surfaces of the coated composite materials was 778 HV, the porosity amount was 10%, the surface roughness value was $2.113 \mu\text{m}$ and the adhesion strength was 16.3 MPa.

1.Giriş

Elyaf takviyeli polimer matrisli kompozit malzemeler son yıllarda çeşitli endüstrilerdeki yapısal ve fonksiyonel uygulamalarda kullanımı çok artmıştır (Atlıhan, 2013; Bunsell vd., 2005). Elyaf takviyeli polimer matrisli kompozit malzemelerin imalatında çok farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler arasında, özellikle pultrüzyon yönteminin özel kullanım alanları vardır. Pultrüzyon işlemi, sabit bir kesite sahip yüksek elyaf hacimli sürekli profillerin üretimini sağlayan bir işlemdir (Starr, 2000). Az emek gerektiren ve minimum atık malzeme üreten otomatik bir işlemdir. Pultrüzyon prosesi, yüksek hammadde dönüşüm verimliliği sağlar ve elyaf hacim oranı %80'e ulaşabilir. Pultrüzyon yöntemi ile üretilen kompozit profiller yüksek dayanım/ağırlık oranları, düşük bakım gereksinimleri ve özellikle korozyon dayanımları sebebiyle çeşitli endüstrilerde kullanılan geleneksel malzemelerin çoğunun yerini alma potansiyeline sahiptir (Meyer, 1985, Vedernikov vd., 2020). Özellikle, ulaşım, havacılık, rüzgar türbinleri, enerji santralleri ve enerji taşımacılığı, deniz taşımacılığı, inşaat, arıtma tesisleri, soğutma kuleleri gibi pek çok yerlerde kullanılan profillerde daha çok tercih edilmektedir (Advani ve Hsiao, 2012).

Kompozit malzemelerin çok önemli avantajları yanında bazı özel durumlarda dezavantajları bulunmaktadır. Özellikle, aşınma probleminin olduğu yerlerde, kimyasal etkilere maruz kalan çalışma ortamlarında ve yüksek uygulama sıcaklıklarında kullanılmaları durumunda önemli sorunlar ile karşılaşabilmektedir. Kompozit malzemelerin farklı çevre şartlarına maruz kalması mekaniksel özelliklerini olumsuz olarak etkilemektedir (Tekin ve ark., 2016, Esendemir ve Cabioglu 2013). Kompozit

malzemelerin yapısında meydana gelen delemasyonlar ve elyaf yerleştirme açıları mekaniksel özellikleri etkilemektedir (Atlıhan ve Ergene, 2018). Bahsedilen durumlarda kompozit malzemelerin istenilen performanslarını elde etmek için yapılan işlemlerden birisi de kompozit malzemelere termal sprej kaplama uygulamalarının yapılmasıdır (Thakur ve Vasudev, 2022; Pawlowski, 2008).

Kaplama yapılacak altlık malzemenin ve kaplama malzemesi olan seramik tozların teknik özelliklerine göre çeşitli termal sprej kaplama yöntemleri kullanılmaktadır. Termal sprej kaplama yöntemlerinden olan alev sprej, plazma, HVOF ve ark kaplama yöntemleri geniş kullanım alanı bulmaktadır (Thakur ve Vasudev, 2022). Termal sprej kaplama yöntemlerinde, kaplama yöntemleri, kullanılan altlık malzemenin çeşidi, çalışma ortamları, istenilen özellikleri sağlama için farklı kaplama malzemeleri kullanılmaktadır. Termal sprej kaplama yöntemlerinde yaygın olarak kullanılan seramik tozları, yüksek sıcaklıklara dayanıklı, korozyon direnci yüksek ve aşınma dayanımı yüksek kaplama malzemeleridir.

Modern kaplama yöntemlerinden alev sprej kaplama yönteminin diğer kaplama yöntemlerine göre avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Alev sprej kaplama yöntemiyle elde edilen kaplamaların hızlı ve kolay uygulanabilirliği, düşük uygulama sıcaklığı ve düşük maliyetli olması avantajları arasındadır. Bu kaplamaların dezavantajları ise büyük tane boyutu, yüksek porozite miktarı ve çatlak uzunluğunun fazla olmasıdır (Pawlowski, 2008). Termal sprej kaplama işlemi istenilen şartlarda gerçekleştirilebilmesi için kaplama yapılacak olan altlık malzemenin, kaplama yapılacak kaplama malzemesinin ve termal kaplama yönteminin uygulama parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Polimer matrisli kompozit malzemelerin ısıya duyarlılıklarından dolayı kaplama parametrelerinin uygun seçilmesi gerekmektedir. Kaplama işlemi için parametreler kompozit malzemelere uygun seçilmezse, aşırı ısı kompozit malzemelere zarar verebilmektedir (Leopera-Valle ve McDonald, 2015; Gonzalez vd., 2016).

Bu çalışmada; pultrüzyon yöntemi ile imalatı yapılan sürekli cam elyaf takviyeli polyster matrisli kompozit lama profillerden hazırlanan numunelere alev sprej yöntemi kullanılarak $Cr_2O_3 + TiO_2$ seramik tozlarının kaplama işlemleri yapılmıştır. Kaplama yapılan malzemelerin kaplama kalitesini incelemek için mikroyapı incelemeleri, sertlik ölçümleri, yüzey pürüzlülüğü ölçümleri ve yapışma mukavemeti değerlerinin tespiti için deneysel çalışmalar yapılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

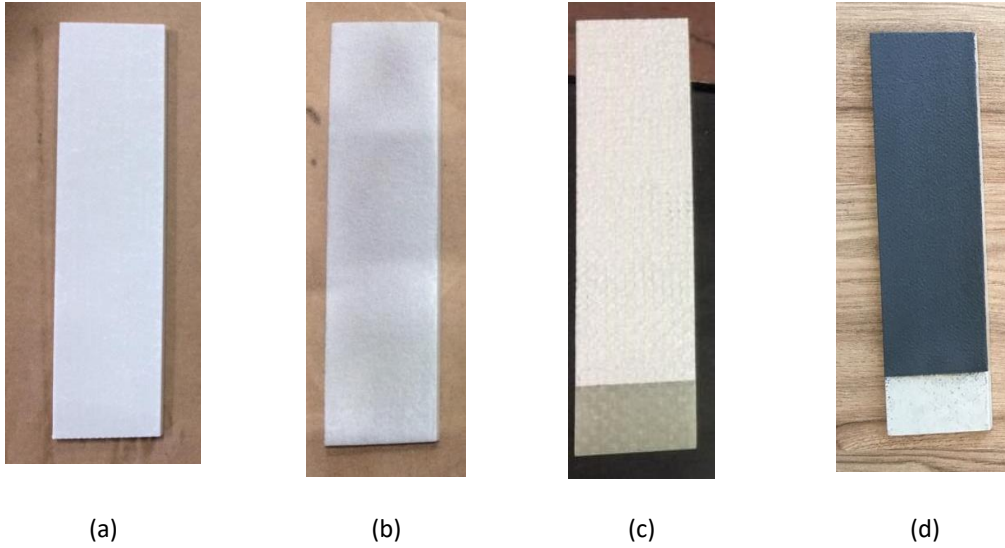
Bu çalışmada; cam elyaf takviyeli polyster matrisli 50mm x 6mm kesit ölçülerine sahip 6 metre uzunluğunda kompozit lama profilleri pultrüzyon yöntemi ile üretilmiştir. Kompozit malzeme üretiminde takviye elemanları olarak 4800 Tex sürekli cam elyafı, matris malzemesi olarak IR 355 izoftalik doymamış polyster reçine ve dolgu malzemeleri kullanılmıştır. Kompozit malzemelerin imalatında dolgu malzemesi olarak kalsit, reaksiyon hızlandırıcı, Trigonox C, Perkadox 16, Ultraviyole koruyucu, Akışkanlık sağlayıcı ve yanmazlık katkısı kullanılmıştır. Kompozit malzemeler tamamen cam elyaf takviyeli olup; 196 cam elyaf fitil, sürekli elyaf cam keçe ve polyster matrisli olarak üretilmiştir. Kompozit malzemelerin pultrüzyon yöntemi ile imatları Pul-Tech FRP Kompozit Yapı Teknolojileri İmalat Sanayi ve Tic. A.Ş.'nde gerçekleştirilmiştir.

Kaplama yapılacak olan numuneler profillerden elmas disk testere yardımıyla planyada kesilerek hazırlanmıştır. İmatları yapılan kompozit malzemelerden 5x20 cm ölçülerinde numuneler kesilerek kumlama işlemine tabi tutulmuşlardır. Numunelere kumlama işleminden sonra Al astar kaplama işlemi uygulanmıştır. Bu işlem kaplama yapılacak altlık malzemeye astar etkisi yaparak daha iyi tutunma sağlamaktadır. Alev sprej kaplama yöntemi kullanılarak, kompozit malzemelerin yüzeyine $Cr_2O_3 + TiO_2$ seramik tozunun kaplama işlemi yapılmıştır. Bu malzeme sert ve aşınmaya dayanıklı bir yüzeye ihtiyaç duyulan durumlarda tercih edilmektedir. Kaplama işlemi METSER Kaplama Makine Bakım Onarım Sanayi Tic. Ltd. Şirketi imalathanesinde yapılmıştır. Numunelere uygulanan alev sprej kaplama parametreleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Alev Sprey Kaplama İşlemi Parametreleri

Püskürtme Başlığı	Metco Thermo Spray 5P
Püskürtme mesafesi	10-12 cm
Püskürtme Oranı	2g/sn
Oksijen Basıncı	15 Psi
Asetilen Basıncı	15 Psi
Uygulama Sıcaklığı	1500-2000 °C

Aşağıdaki Şekil 1'de çalışma kapsamında imalatı yapılan kompozit profillerden hazırlanan numune, kumlama işlemi yapılmış olan numune, Al astar kaplama işlemi yapılmış numune ve alev sprej kaplama yöntemi ile yüzeylerine $\text{Cr}_2\text{O}_3+\text{TiO}_2$ seramik tozunun kaplama işlemi yapılmış numunelerin örnek resimleri verilmiştir. Alev sprej yöntemi ile kompozit malzemelerin yüzeyine seramik tozlarının kaplama işlemleri başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Kaplama işlemleri sonucunda kaplama yapılan kompozit malzemelerde herhangi bir hasarın meydana gelmediği görülmüştür.

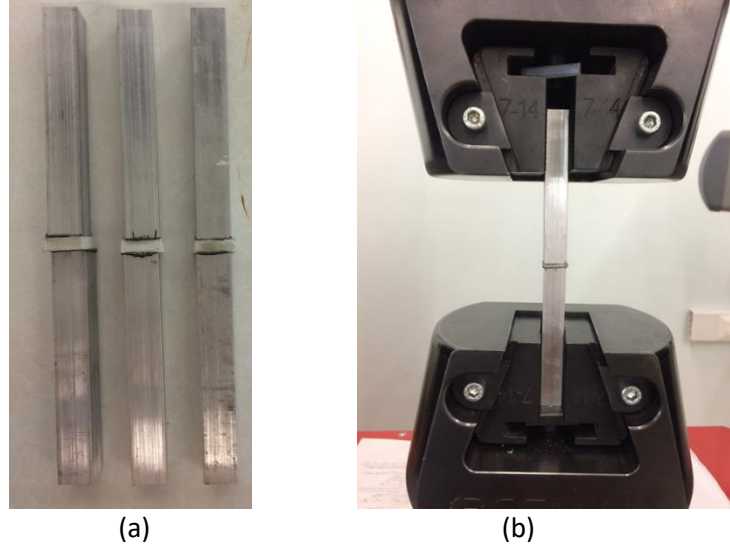


Şekil 1: İmalatları yapılan ve kaplama işlemi yapılan kompozit malzemeler
a) imalatı yapılan kompozit malzeme, b) Kumlama işlemi yapılmış, c) Al astar kaplama yapılmış, d) seramik malzeme kaplama işlemi yapılmış malzeme.

Pultrüzyon yöntemi ile imalatları yapılan kompozit malzemelerden hazırlanan ve yüzeyine kaplama yapılan numunelerin mikroyapı incelemeleri, yüzey pürüzlülüklerinin, sertlik değerlerinin belirlenmesi ve yapışma mukavemetlerinin tespiti için hassas kesme cihazında numuneler elde edilmiştir. Mikroyapı incelemesi ve sertlik ölçümü yapılacak olan numuneler bakalite alınmış ve zımparalama-parlatma cihazında yüzeyleri parlatılmıştır. Numunelerin mikroyapı incelemeleri optik ve SEM mikroskobunda yapılmıştır. Kaplamaların porozite miktarlarının ölçümleri Nikon marka optik mikroskopta bulunan Clemex görüntü analiz programı ile yapılmıştır. Kaplamaların mikrosertlik değerleri, bakalite alınmış numuneler yüzeyinde, Shimadzu HVM-2 marka mikro sertlik ölçme cihazında ölçülmüştür. Sertlik değerleri kaplama yüzeyinin farklı noktalarında yapılan 5 farklı ölçümün ortalaması olarak belirlenmiştir. Kaplamaların yüzey pürüzlülük değerlerinin ölçümü TR 200 el tipi pürüzlülük ölçüm cihazı ile yapılmıştır. Yüzey pürüzlülük değerleri kaplama yüzeyinin farklı noktalarında yapılan 3 farklı ölçümün ortalaması olarak belirlenmiştir.

Kaplama yapılan kompozit malzeme numunelerin yapışma mukavemetleri ASTM C-63 standardına göre çekme deneyi cihazında belirlenmiştir. Kaplama yapılmış numunelerden kesme cihazında 1.5x1.5 cm ölçülerinde kesilerek numuneler hazırlanmıştır. Bu numuneleri, üzerine yapıştırıp çekme deneyine tabi tutmak için 1.5x1.5x10 cm ölçülerinde paslanmaz test kuponları hazırlanmış,

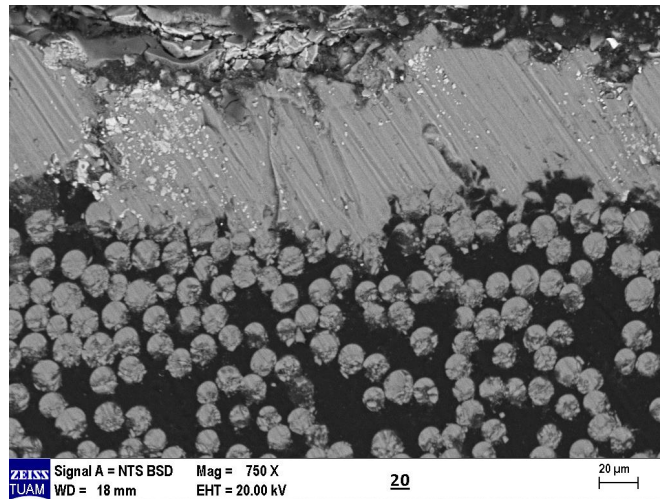
numuneler kuponların üzerine çok kuvvetli yapıştırıcı ile yapıştırılmıştır. Numunelerin her iki yüzeylerine de ince bir film şeklinde homojen olarak yapıştırıcı sürülüp 2 tane test kuponu arasına eksenleri çakışacak şekilde yerleştirilmiştir. Bunun ardından bu düzeneğin iyice yapışması ve ara yüzeyde bir dolgu malzemesi oluşabilmesi için 24 saat boyunca bekletilmiştir. Şekil 2 (a)'da çekme deneyi için hazırlanmış test kuponları Şekil 2 (b)'de ise çekme cihazına yerleştirilmiş numuneler görülmektedir. Numunelerin çekme deneyinde elde edilen maksimum kuvvet değerleri kaplama alanlarına bölünerek yapışma mukavemeti değerleri tespit edilmiştir. Her bir grup için 3 adet deney yapılarak ortalama değerleri alınmıştır.



Şekil 2: Numunelerin çekme deneyleri (a: çekme deneyi için hazırlanmış test kuponları, b: çekme cihazına yerleştirilmiş numuneler.)

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada, pultrüzyon yöntemi ile imatları yapılan polyster matrisli kompozit malzemelere alev sprej kaplama yöntemi ile kaplama işlemleri sonucunda, kaplamaların mikroyapı analizleri için numuneler kesilip bakalite alma işlemleri, yüzey zımparalama ve parlatma işlemleri sonucunda SEM ve optik mikroskopta incelemeleri yapılmıştır. Aşağıdaki Şekil 3'de kaplamaların SEM görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3: Kompozit malzeme üzerine Cr₂O₃ +TiO₂ kaplanmış numunenin SEM görüntüsü

Numunelerin SEM mikroskobunda çeşitli büyütmelerde görüntüleri çekilmiş, kaplama yüzeyleri incelenmiştir. Kaplama işleminin başarılı bir şekilde gerçekleştiği, kaplama ile altlık kompozit malzeme arasında herhangi bir birleşme hatasının meydana gelmediği tespit edilmiştir. Kaplama malzemesi olan

seramik tozların kaplama işleminden önce Al astar kaplama işleminin yapılması kaplama işleminin başarılı olmasında önemli rol oynamıştır. Kaplama yüzeylerinin bazı bölgelerinde porozitelerin meydana geldiği tespit edilmiştir. Alev sprej kaplamaların belirgin özellikleri poroziteli yapıda olmalarıdır. Kaplamanın sertlik değerinin, aşınma direncinin ve yapışma mukavemetini yüksek olması için kaplamada meydana gelen porozite miktarının düşük oranlarda meydana gelmesi gerekmektedir (Bradaia vd., 2008). Yapılan çalışmada altlık malzeme olarak kompozit malzeme kullanılması, elyaf ve matris malzemelerinin çok yüksek ısılarda bozulmaları nedeniyle sprej mesafesinin uzun tutulması kaplamanın poroziteli bir yapıya sahip olmasına neden olmuştur. Şekil 3'te kompozit malzeme üzerine $Cr_2O_3 + TiO_2$ kaplanmış numunenin yapısındaki poroziteler ve ergimemiş partiküller görülmektedir. Kompozit malzeme numunelerinin kaplama işleminden önce kumlama işlemi uygulanmasından dolayı numunelerin kaplama kalınlığının tüm yüzey boyunca sabit bir kalınlıkta olmadığı tespit edilmiştir. Kaplama yapılan cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin deneyler sonucunda elde edilen sertlik, porozite, yüzey pürüzlülüğü ve yapışma mukavemeti değerleri Tablo 2'te verilmiştir.

Tablo 2: Kaplama yapılan kompozit malzemelerin kaplama özellikleri

Kaplama Malzemesi	Kompozit Malzemede Kullanılan Elyaf Türü ve Reçine	Kaplama Sertlik Değeri (HV)	Porozite %	Yüzey Pürüzlülüğü Ra (μm)	Kaplama Yapışma Mukavemeti (MPa)
$Cr_2O_3 + TiO_2$	Cam elyafı Polyester Reçine	778	10	2.113	16.3

Tablo 2'de verilerde de görüldüğü gibi kaplama yapılmış olan kompozit malzemelerin kaplama sertlik değeri 778 HV olarak tespit edilmiştir. Kaplama numunelerinin optik mikroskopta yapılan incelemeler sonucunda porozite miktarının %10 olduğu tespit edilmiştir. Yüzey pürüzlülük cihazında yapılan ölçümler sonucunda kaplama yüzeylerinde ölçülen yüzey pürüzlülüğü 2.113 μm olarak elde edilmiştir. Çekme deneyi cihazında yapılan yapışma mukavemeti deneyleri sonucunda, kaplamaların yapışma mukavemeti değeri 16.3 MPa olarak elde edilmiştir.

Alev sprej kaplama yöntemiyle kaplanmış seramik kaplamaların meydana gelen mikroyapıları kaplamaların mekaniksel özelliklerini önemli derecede etkilemektedir. Mikroyapıda meydana gelen porozite, ergimemiş partiküller, mikro çatlaklar ve ara yüzey kusurları kaplamaların mekaniksel özelliklerini olumsuz olarak etkilemektedir (Bradaia vd., 2008). Bu çalışmada elde edilen kaplama özellikleri literatürde verilen farklı polymer matrisli kompozit malzemelere uygulanan termal spray kaplama çalışmaları ile benzerlik göstermekte ve sonuçlar kaplama işleminin başarılı bir şekilde gerçekleştirildiğini göstermektedir (Rezzoug, vd., 2018).

4.Sonuç

Bu çalışmada, pultrüzyon yöntemi ile imalatı yapılan kompozit malzemelerin alev sprej kaplama yöntemi ile $Cr_2O_3 + TiO_2$ kaplanmasında kaplama özelliklerinin incelenmesi yapılmıştır. Çalışma kapsamında, cam elyaf takviyeli polyester matrisli 50x6 kesit ölçülerine sahip 6 metre uzunluğunda kompozit lama profilleri pultrüzyon yöntemi ile üretilmiştir. Kompozit profillerden hazırlanan numunelere alev sprej kaplama yöntemi ile $Cr_2O_3 + TiO_2$ seramik tozların kaplama işlemleri yapılmıştır. Kaplama yapılan numunelerin mikroyapı incelemeleri optik ve SEM mikroskobunda yapılmıştır. Kaplamaların porozite miktarlarının ölçümleri, optik mikroskopta bulunan Clemex görüntü analiz programı ile yapılmıştır. Kaplamaların mikrosertlik değerleri, numunelerin yüzeyinde, mikro sertlik ölçme cihazında ölçülmüştür. Numunelerin yapışma mukavemetleri, ASTM C-63 standardına göre çekme deneyi cihazında belirlenmiştir. Kaplama yapılan kompozit malzemelerin kaplama yüzeylerinde sertlik değerlerinin 778 HV, porozite miktarının %10, yüzey pürüzlülük değerinin 2.113 μm ve yapışma mukavemetinin 16.3 MPa olduğu tespit edilmiştir. Deney sonuçları, alev sprej kaplama yöntemi kullanılarak $Cr_2O_3 + TiO_2$ seramik tozlarının pultrüzyon yöntemi ile imalatı yapılan cam elyaf takviyeli polyester matrisli kompozit profillere başarılı bir şekilde kaplama işleminin yapılabildiğini göstermiştir.

Kaynaklar

- Advani, S.G., Hsiao, K.T., (2012). *Manufacturing Techniques For Polymer Matrix Composites (PMCs)*, Oxford, Woodhead Publishing Limited.
- Atlihan G., (2013). Buckling analysis of delaminated composite beams, *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*, 20, 276-282.
- Atlihan, G., Ergene, B. (2018). Vibration analysis of layered composite beam with variable section in terms of delamination and orientation angle in analytical and numerical methods. *Acta Physica Polonica A*. 134(1), 13-17.
- Bradaia, M.A., Bounarb, N., Benabbasb, A., Ati, A., (2008). Study of microstructure, phases and microhardness of metallic coatings deposited by flame thermal spray, *Journal of materials Processing Technology* 200, 410–415.
- Bunsell, A.R., Joannès, S., Thionnet A., (2005). *Fundamentals of Fibre Reinforced Composite Materials*, Oxon, CRC Press.
- Esendemir, Ü., Cabioglu, A.M., (2013). Investigating bearing strength of pin-loaded composite plates in different environmental conditions, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 32, 22, 1685-1697.
- Gonzalez, R., Ashrafizadeh, H., Lopera, A., Mertiny P., McDonald A., (2016). A Review of Thermal Spray Metallization of Polymer-Based Structures, *Journal of Thermal Spray Technology*, 25(5), 897.
- Lopera-Valle, A., McDonald A., (2015). Application of Flame-Sprayed Coatings as Heating Elements for Polymer-Based Composite Structures, *Journal of Thermal Spray Technology*, 24 (7), 1289.
- Meyer, R.W., (1985). *Handbook of Pultrusion Technology*, New York, Chapman and Hall.
- Pawlowski, L., (2008). *The Science and Engineering of Thermal Spray Coatings*, Second Edition, John Wiley & Sons Ltd, England, 67-74.
- Rezzoug, A., S. Abdi, S., A. Kaci, A., Yandouzi, M., (2018). Thermal Spray Metallisation Of Carbon Fibre Reinforced Polymer Composites: Effect Of Top Surface Modification On Coating Adhesion And Mechanical Properties, 333, 13-23.
- Starr, T.F., (2000). *Pultrusion For Engineers*, Boca Raton, CRC Press.
- Tekin, A., Esendemir, Ü., Öndürücü, A., (2016). C.B.Ü. Soma MYO Tek. Bil. Der. Sayı 21, Cilt I, 27-37.
- Thakur, L., Vasudev, H., (2022). *Thermal Spray Coatings*, Oxon, CRC Press, 1-37.
- Vedernikov, A., Safonov, A., Tucci, F., Carlone, P., Akhatov, I., (2020). Pultruded Materials And Structures: A review. *Journal of Composite Materials*. 54 (26):4081-4117.