

Cam Küre Takviyeli Polipropilen Kompozit Malzemelerin Delaminasyon Faktörünün Deneysel Olarak İncelenmesi

Fatih ÖZKAYA¹, Fatih ÖZEN^{2,4*}, Erdinç İLHAN³, Salim ASLANLAR⁴

¹ Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Bölümü, Sakarya.

² Batman Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine ve İmalat Mühendisliği Bölümü, Batman.

³ Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Adapazarı Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Sakarya.

⁴ Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya.

e-posta: fatihozkaa@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6414-2794>

*Sorumlu yazar: fatihozen@subu.edu.tr

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2915-8456>

eilhan@subu.edu.tr

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3873-1680>

aslanlar@subu.edu.tr

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6676-110X>

Geliş Tarihi: 22.03.2019;

Kabul Tarihi: 26.10.2019

Öz

Anahtar kelimeler

Polimer matrisli kompozitler; İşlenebilirlik; Delaminasyon; Polipropilen.

Bu çalışmada, cam küre takviye fazlı polimer matrisli kompozit malzemenin delinmesi sonucu ortaya çıkan delaminasyon faktörünün etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Takviye fazı olarak ağırlıkça %5, %10 ve %20 takviye oranında cam küre kullanılmıştır. Matris malzemesi olarak Polipropilen tercih edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, kesme hızı ve ilerleme arttıkça delaminasyon miktarında yükselmeler meydana gelmiştir. Elde edilen en düşük delaminasyon miktarı (1.18) 0.05 mm/devir ilerleme ve 15m/dk kesme hızında karbür takım türü ile elde edilmiştir. Ayrıca, kompozit içerisindeki takviye miktarı arttıkça delaminasyon faktörünün de yükseldiği saptanmıştır. En düşük delaminasyon miktarı %5 cam küre takviye içeren kompozit malzemede olmuştur.

Experimental Investigation of Delamination Factor of Glass Sphere Reinforced Polypropylene Composite Materials

Abstract

Keywords

Polymer Matrix Composites; Machinability; Delamination; Polypropylene.

In this study, the effect of delamination factor on glass-spherical reinforced polymer composite material was investigated. Glass sphere was used as reinforcement phase with a reinforcement rate of 5%, 10% and 20% by weight. Polypropylene is preferred as matrix material. According to the results, there was an increase in the amount of delamination as the cutting speed and feed rate increased. The lowest amount of delamination (1.18) was obtained in carbide tool type with 0.05 mm/rev feed and 15 m/min cutting speed. Also, it was found out that the amount of reinforcement in the composite increased as the amount of the delamination factor increased. The lowest amount of delamination was in composite material containing 5% glass sphere reinforcement.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

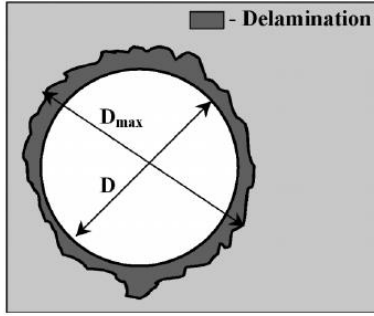
1. Giriş

Kompozit malzeme, fiziksel ve kimyasal özellikleri farklı iki veya daha fazla malzemenin makro seviyede bir araya gelerek oluşturduğu üstün özelliklere sahip olan malzemelerdir (Gaitonde vd., 2007). Kompozit malzemelerin geliştirilmesiyle çeşitli özellikler aynı malzemede bir araya

getirebilmektedir. Metallerle göre daha hafif, yüksek sıcaklıklarda çalışan, korozyona dayanıklı malzemeler bu malzeme grubuna örnek olarak verilebilir. Kompozit malzemeler, mukavemet/ağırlık oranlarının yüksek olması nedeniyle son otuz yılda mühendislik uygulamalarında yaygın olarak tercih edilmektedir

(Melentiev vd., 2016). Ancak kompozit malzemeler doğaları gereği homojen bir yapıya sahip olmadığı için işlenebilirlikleri kötüdür (Varvani-Farahani, 2010). İşleme esnasında matrisin ısıdan etkilenmesi, matrisin çatlaması, takımın hızlı aşınması, takviye fazının ayrılması, yüzey pürüzlülüğü ve delaminasyon gibi problemler oluşmaktadır (Tsao ve Hocheng, 2004).

Delaminasyon, delme operasyonu esnasında kompozit malzemenin gördüğü hasardır (Ho-Cheng ve Dharan, 1990). Kompozit malzemenin delinen matkap çapı ve hasar gören çap Şekil 1’de gösterilmektedir. Delaminasyon faktörü, hasar gören maksimum çapın (D_{max}) matkap çapına (D) oranı ile bulunur (Hocheng vd., 2014).



Şekil 1. Kompozit malzemelerin delinmesi esnasında oluşan delaminasyon hasar çapı (Davim ve Reis, 2003)

Kompozit malzemelerin mekanik dayanımı hesaplanırsa da, montaj bölgesinde açılacak deliklerde oluşan hasardan veya pürüzlülüğünden kaynaklı çatlak başlangıcı sebebiyle malzemenin çalışma ömrünü yüksek derecede etkilemektedir (Gupta ve Kumar, 2015). Bu malzemelerin uçak parçası gibi kritik öneme sahip olmaları durumunda hesap edilenden daha önce kırılma uğrayan malzeme ciddi mal ve can kaybına sebep olur. Bu nedenle kompozit malzemelerin işlenebilirlikleri ciddi bir şekilde çalışılması gerekir. Bu çalışmada, cam küre takviye edilen polipropilen malzemelerin işlenebilirlik davranışları incelenecek ve değerlendirilecektir.

2. Materyal ve Metot

2.1 Kompozit Malzemelerin İçeriği ve Üretimi

Deney malzemesi, takviye ekleme haznesine sahip plastik enjeksiyon tezgahı kullanılarak üretilmiştir. E tipi cam küre takviye fazı olarak kullanılmıştır. Kullanılan cam kürelerin çapları 1 μm ile 4.5 μm arasındadır ve 2,55 g/cm^3 yoğunluğa sahiptir. Deney numuneleri 100 mm çapında 5 mm kalınlığa sahip bir kalıp boşluğuna enjekte edilmiştir. Homojenliği eşit bir şekilde olması için, yolluk kalıp içinde tam ortalanmış bir şekilde tasarlanmıştır.

Matris malzemesi olarak polipropilen kullanılmıştır. Çizelge 1’de polipropilenin teknik özellikleri gösterilmektedir.

Çizelge 1. Polipropilen (PP) Malzemesinin Teknik Özellikleri (“Omnexus”, y.y.)

Özellik	Birim	Değer
Yoğunluk	g/cm^3	0,92
Akma Mukavemeti	Mpa	31
Çekme Mukavemeti	Mpa	25
Kopma Mukavemeti	Mpa	34
Çekme Modülü	Gpa	1,1-1,5
Poison Oranı	-	0,45
Sürtünme Katsayısı	-	0,1-0,3
Oksijen Limit İndeksi	-	%18
Termal Genleşme Katsayısı	$^{\circ}\text{C}^{-1}$	$1,6 \times 10^{-4}$
En Düşük Çalışma Sıcaklığı	$^{\circ}\text{C}$	-10 -60
En Yüksek Çalışma Sıcaklığı	$^{\circ}\text{C}$	90-120
Termal İletkenlik	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$	0,1-0,22
Yoğunluk	g/cm^3	0,92

2.2 Kesici Takımlar

Malzeme tipinin işlenebilirlik üzerindeki etkisini incelemek için kesici takımın malzemesi HSS, Titanyum Nitrür kaplı HSS ve kaplamasız karbür

olmak üzere üç farklı takım kullanılmıştır. Matkaplar arasında doğru kıyaslama yapabilmek adına, tüm matkap uçları 118°, N tipi, sağ kesme yönlü, takım çapı 4mm ve helis açıları 30° olarak sabit tutulmuştur. Her bir deneyde bir adet matkap ucu kullanılmıştır. Her deney 3 defa tekrarlanmış olup ortalama değerler sonuçları değerlendirmek için kullanılmıştır.

2.3 İşleme Parametreleri

İşleme esnasında 15, 20 ve 25 m/dk kesme hızları ve 0.05, 0.1 ve 0.15 mm/devir ilerleme hızları kullanılmıştır. Her bir takım türü için uygulanan deney şartları Çizelge 2’de gösterilmektedir.

Çizelge 2. Her bir takım için kullanılan kesme ve ilerleme değerleri

Takım Çapı (mm)	Kesme Hızı (m/dk)	İlerleme (mm/dev)
4	15	0,05
4	15	0,1
4	15	0,15
4	20	0,05
4	20	0,1
4	20	0,15
4	25	0,05
4	25	0,1
4	25	0,15

2.4 CNC Takım Tezgahı

Deneylerde, 5.6 kW güç ve maksimum 4.000 dev/dk dönme hızına sahip spindle donanımlı üç eksen HAAS marka TM1 model CNC freze tezgahı kullanılmıştır. Deneylerde hiçbir soğutma aracı kullanılmamıştır.

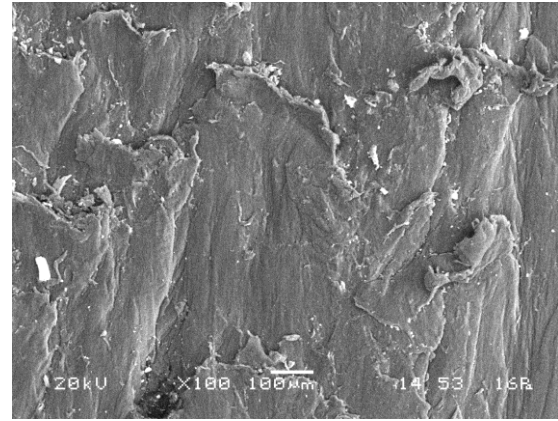
2.5 Görüntüleme Araçları

Delaminasyon ölçümleri stereo mikroskopta 10x büyütme ile yapılmıştır. SEM incelemeleri JEOL

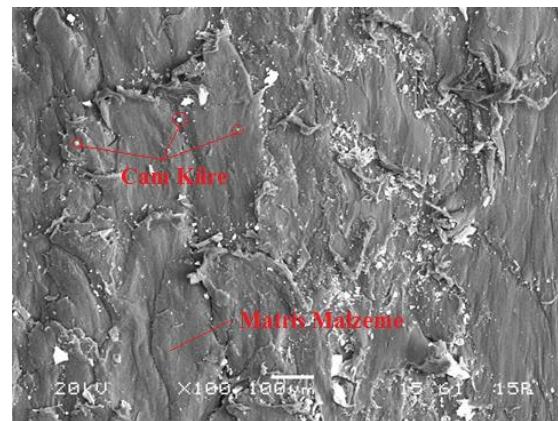
marka cihazda 100x büyütmede kırık yüzeyler üzerinden yapılmıştır. SEM incelemesi yapılmadan önce incelenecek yüzeyin iletkenliğini artırmak ve net görüntü elde etmek için yüzey altın tozu ile kaplanmıştır.

3. Sonuçlar ve Tartışma

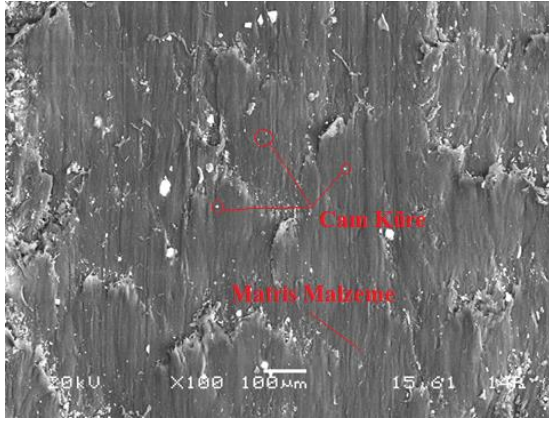
Deneyde delme işleminde kullanılan cam küre takviyeli kompozit malzemelerin sırasıyla %10, 20 ve 30 cam küre takviyeli polipropilenin kırılma yüzeylerine ait SEM görüntülerini Şekil 2, 3 ve 4’te göstermektedir. SEM incelemelerinden elde edilen görüntülere göre cam kürelerin boyutu 1-5 µm



Şekil 2. %5 Cam küre takviye fazlı kompozit malzemeye ait kırılma yüzeyi SEM görüntüsü

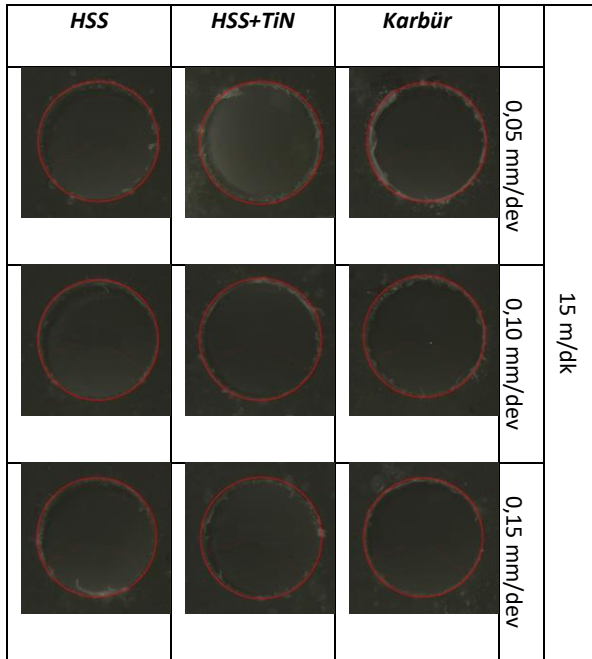


Şekil 3. %10 Cam küre takviye fazlı kompozit malzemeye ait kırılma yüzeyi SEM görüntüsü



Şekil 4. %20 Cam küre takviye fazlı kompozit malzemeye ait kırılma yüzeyi SEM görüntüsü

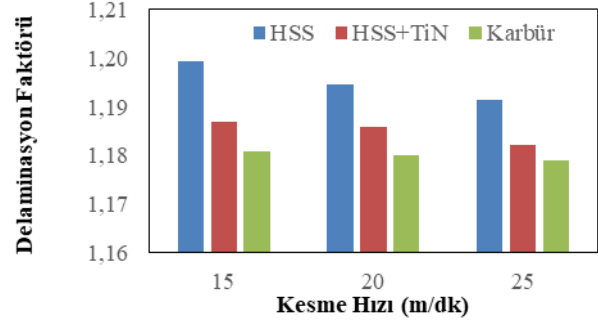
Delme işlemi sonucu oluşan delaminasyon faktörü, kesme hızı, ilerleme hızı ve takviye fazı oranı açısından incelenmiştir. Şekil 5'te 15 m/dk kesme hızları uygulanmış numunelerdeki delaminasyona ait optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. Görüntülerde, delme esnasında delaminasyon oluştuğu ve bu delaminasyonun etkisi ile matris ve takviye fazlarında kopmalar meydana geldiği görülmüştür.



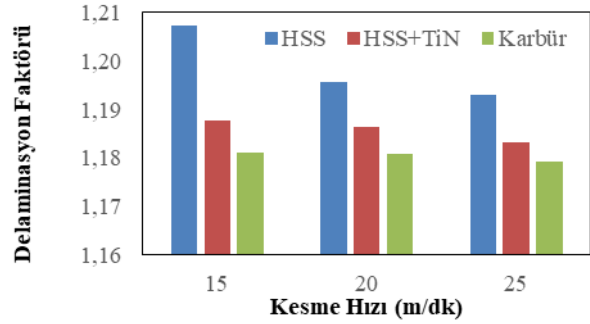
Şekil 5. %20 Cam Küre takviyeli fazlı 15 m/dk kesme hızına ait delaminasyon optik mikroskop görüntüleri (10X)

%20 cam küre takviye fazlı kompozit malzemenin üç farklı kesici takım kullanılarak elde edilen delaminasyon faktörüne ait grafikler Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8'de gösterilmiştir. Her üç şekil incelendiğinde kesme hızı artışı ile delaminasyon

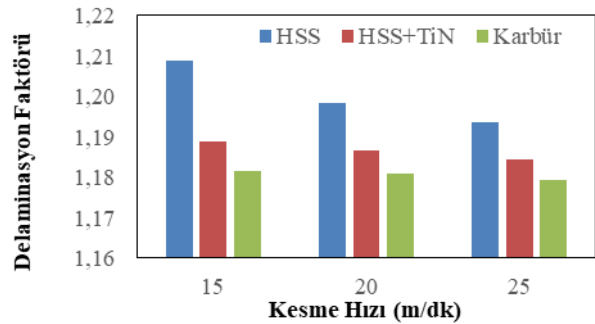
faktöründe azalma meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu durumun tüm kesici takımlar için geçerli olduğu gözlemlenmiştir. En yüksek delaminasyon faktörü 15 m/dk kesme hızında elde edilirken, en düşük delaminasyon faktörü ise 25 m/dk kesme hızında elde edilmiştir.



Şekil 6. 0.05 mm/dev ilerleme hızında oluşan delaminasyon faktörü



Şekil 7. 0.10 mm/dev ilerleme hızında oluşan delaminasyon faktörü



Şekil 8. 0.150 mm/dev ilerleme hızında oluşan delaminasyon faktörü

Kesme hızı, takımın kompozit malzeme ile etkileşimi esnasında sıcaklık oluşturur. Cam küre gibi takviyeye sahip kompozit malzemelerde bu sıcaklık oluşan takviye/takım arasındaki sürtünme nedeniyle ciddi şekilde artar. Sıcaklığın artması ile matris malzemesi yumuşama eğilimi gösterir. Böylece kompozit malzemenin delinmesi daha da kolaylaşır.

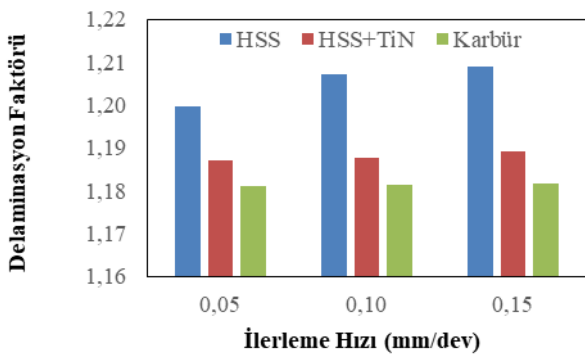
20 m/dk kesme hızı ve 0.10 mm/dev ilerleme hızı analiz edildiğinde, en yüksek delaminasyon faktörü

HSS matkap ucunda, en düşük delaminasyon faktörü ise Karbür matkap ucunda gözlenmiştir. Bu durum, karbür takımın içerisinde bulunan yüksek oranda WC, TiC olması nedeniyle diğer takımlara göre daha yüksek sertlik değerine sahiptir. Bu nedenle takımın malzeme ile mekanik etkileşimi esnasında karbür matkap ucunun, abrasif özelliğe sahip takviye fazına karşı daha yüksek aşınma direnci göstermesi ile ifade edilebilir (Dundar vd., 2017).

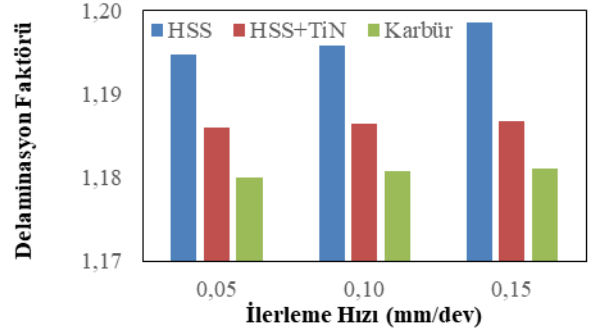
Düşük kesme ve ilerleme hızlarında delaminasyon faktöründe azalma meydana gelmiştir. İlerleme hızındaki artış itme kuvvetini ve delme esnasındaki delaminasyonu artırır. Bunun sebebi yüksek kesme ve ilerleme hızlarında matrisin malzemesinin yumuşayacak kadar sıcaklık oluşmamasından dolayı takviye malzemesinin kompozit yapıdan çıkmaya meyil etmesidir. Böylece işleme esnasında, matris herhangi bir sönüm göstermediği için takviye malzemesi kompozit yapıdan çıkışını engelleyecek bir durum bulunmaz. Bu nedenle, düşük hızlarda daha yüksek delaminasyon miktarı elde edilmiş olur.

Kesme esnasında takımın sertliğinin ve yüzey kaplamasının önemi büyüktür. Diğer bir deyişle, takım/kompozit malzeme arasındaki kesme sürtünmesini etkileyecek her durum kompozit malzemelerin işlenmesinde yüksek önem arz eder. 25 m/dk kesme hızı ve 0.10 mm/dev ilerleme hızı incelendiğinde, HSS matkap ucunda delaminasyon faktörü HSS+TiN'e göre %0.82 azaldığı gözlenmiştir. HSS matkap ucu delaminasyon faktörü Karbür matkap ucuna göre kıyaslandığında ise %1.15 azaldığı tespit edilmiştir.

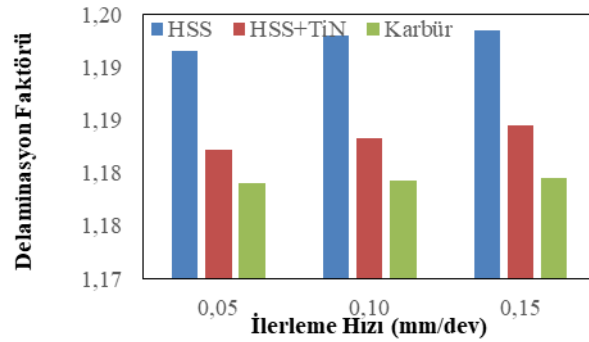
Şekil 9, Şekil 10 ve Şekil 11'de %20 cam küre takviye fazlı kompozit malzemede yapılan delme işleminde ilerleme hızının delaminasyon faktörü üzerine olan etkileri göstermektedir.



Şekil 9. 15 m/dk kesme hızındaki oluşan delaminasyon faktörü



Şekil 10. 20 m/dk kesme hızındaki oluşan delaminasyon faktörü



Şekil 11. 25 m/dk kesme hızındaki oluşan delaminasyon faktörü

Her üç şekil incelendiğinde ilerleme hızı artışı ile delaminasyon faktöründe artış meydana geldiği tespit edilmiştir. En yüksek delaminasyon faktörü 0.15 mm/dev ilerleme hızında elde edilirken, en düşük delaminasyon faktörü ise 0.05 mm/dev ilerleme hızında elde edilmiştir. Bunun sebebi birim zamanda daha fazla talaş hacmi almaya çalışan takımın kompozit yapı içerisindeki kuvvetleri artırmasıdır. Kompozit malzeme içerisinde artan bu gerilimler takımın kesme esnasında oluşturduğu çatlak başlangıç yerleri ve yüzey pürüzlülüğünden kopmaya neden olur. Bu da daha yüksek delaminasyon oluşmasına sebebiyet verir.

Elde edilen sonuçlar aynı zamanda literatürde yapılan çalışmalarla da tutarlılık göstermektedir. Palanikumar ve arkadaşlarının (Palanikumar vd., 2008) yapmış oldukları çalışmada cam fiber takviyeli kompozitlerin delaminasyon davranışlarını incelemişlerdir. Buna göre, kesme hızının en etkili faktör olduğunu belirtmişlerdir. En düşük delaminasyon miktarını elde etmek için düşük ilerleme hızları kullanılması gerektiğini saptamışlardır.

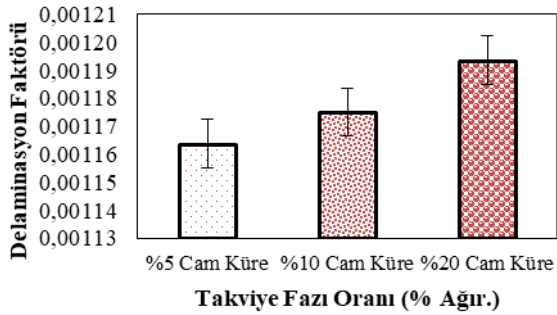
0.10 mm/dev ilerleme hızı ve 20 m/dk kesme hızı analiz edildiğinde en yüksek delaminasyon faktörü HSS matkap ucunda, en düşük delaminasyon faktörü

ise Karbür matkap ucunda gözlenmiştir. Bu durum, diğerlerine göre daha yüksek sertlik değerine sahip olan Karbür matkap ucunun, abrasif özelliğe sahip takviye fazına karşı daha dirençli olmasıyla ifade edilebilir.

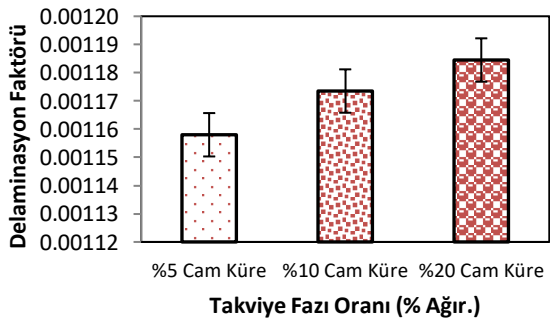
0.15 mm/dev ilerleme hızı ve 20 m/dk kesme hızı incelendiğinde de HSS matkap ucunda delaminasyon faktörü HSS+TiN'e göre %0.98 azaldığı gözlenmiştir. HSS matkap ucu delaminasyon faktörü Karbür matkap ucuna göre kıyaslandığında ise %1.46 azaldığı tespit edilmiştir.

Davim ve Reis'in (Davim ve Reis, 2003) yapmış oldukları çalışmada karbon fiber takviyeli epoksi matrisli lamine örgülü kompozit malzemelerin farklı takımlar ile işlenebilirliklerini incelemişlerdir. Buna göre, HSS takım ile kıyaslandığında karbür takım ile düşük delaminasyon miktarları elde edilmiştir.

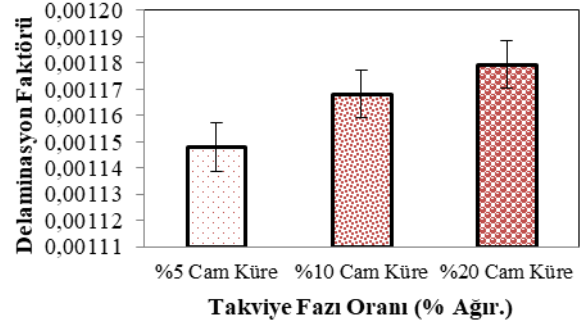
Şekil 12, Şekil 13 ve Şekil 14'te cam küre takviye fazlı kompozit malzemeye uygulanan delme işleminde takviye fazı % ağırlık oranının ve takım türünün delaminasyon faktörü üzerine olan etkisi göstermektedir.



Şekil 12. HSS kesici takımla 25 m/dk kesme hızı, 0.15 mm/dev ilerleme hızında takviye fazı oranı artışına göre delaminasyon faktörünün değişimi



Şekil 13. HSS+TiN kesici takımla 25 m/dk kesme hızı, 0.15 mm/dev ilerleme hızında takviye fazı oranı artışına göre delaminasyon faktörünün değişimi



Şekil 14. Karbür kesici takımla 25 m/dk kesme hızı, 0.15 mm/dev ilerleme hızında takviye fazı oranı artışına göre delaminasyon faktörünün değişimi

Her üç şekil incelendiğinde takviye fazı oranı arttıkça delaminasyon faktöründe artış meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu durum tüm kesici takımlar için geçerli olduğu gözlenmiştir. En yüksek delaminasyon faktörü %20 cam küre takviye fazı oranına sahip malzemede elde edilirken, en düşük delaminasyon faktörü ise %5 cam küre takviye fazı oranına sahip malzemede elde edilmiştir.

0.15 mm/dev ilerleme hızı ve 25 m/dk kesme hızı analiz edildiğinde en yüksek delaminasyon faktörü %20 Cam Küre takviye fazı oranına sahip malzemede, en düşük delaminasyon faktörü ise %5 Cam Küre takviye fazı oranına sahip malzemede gözlenmiştir. Bu durum, diğerlerine göre yüzde olarak daha fazla cam küre takviye oranına sahip olan %20 Cam Küreye sahip malzemede, abrasif özelliğin takviye fazına karşı daha dirençli olmasıyla ifade edilebilir.

Karbür kesici takım kullanılarak, 25 m/dk kesme hızı ve 0.15 mm/dev ilerleme hızı değerlerinde kıyaslayacak olursak; takviye fazı oranı %5 Cam Küre takviyeli numunenin delaminasyon faktörünün %10 Cam Küre takviyeli numuneye göre %1.76 arttığı saptanmıştır. Ayrıca, %5 Cam Küre takviyeli numunenin delaminasyon faktörü %20 Cam Küre takviyeli numuneye göre kıyaslandığında %2.74 arttığı belirlenmiştir.

4. Sonuçlar ve Tartışma

Yapılan deney çalışması sonucunda ortaya çıkmış olan sonuçlar şu şekildedir.

1. Cam küre takviyeli kompozit malzemede delik delme işlemi esnasında delik alın yüzeyi ve iç yüzeyinde deformasyonlar meydana gelmiştir.

2. En düşük delaminasyon miktarları düşük kesme hızı ve düşük ilerleme hızlarında elde edilmiştir.
3. Delaminasyon miktarı takım türüne göre değişiklik göstermektedir. Karbür takım ile en düşük delaminasyon miktarları elde edilmiştir.
4. En büyük delaminasyon HSS takım türünde ölçülmüştür.
5. Elde edilen verilere göre en uygun delik delme koşulları karbür takım kullanılarak 0.05 mm/dev ilerleme hızı ve 25 m/dk kesme hızı olduğu saptanmıştır.
6. Matris malzeme içinde bulunan Cam Küre takviye fazının % ağırlık olarak artışı delaminasyon faktöründe artışa sebep olmuştur.

Teşekkür

Bu çalışmanın maddi açıdan desteklenmesine olanak sağlayan Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyon Başkanlığına (Proje No: 2015-50-01-049) teşekkür ederim. Ayrıca malzeme üretimi ve paylaştığı değerli bilgiler ve tecrübeden dolayı sayın Prof.Dr. Hüseyin Ünal'a teşekkürlerimi sunarım.

5. Kaynaklar

- Davim, J.P., Reis, P., 2003. Study of delamination in drilling carbon fiber reinforced plastics (CFRP) using design experiments, *Composite Structures*, **59**, 481–487.
- Dundar, M., Ficici, F., Ozen, F., Unal, H., 2017. Investigation of the delamination factor of glass sphere and silicon particle reinforced (GS-SCR) hybrid composite material, *Acta Physica Polonica A*, **131**, 595–597.
- Gaitonde, V.N., Karnik, S.R., Rubio, J.C., Correia, A.E., Abrao, A.M., Davim, J.P., 2007. Analysis of parametric influence on delamination in high-speed drilling of carbon fiber reinforced, *journal of materials processing technology*, **3**, 431–438.
- Gupta, M., Kumar, S., 2015. Investigation of surface roughness and MRR for turning of UD-GFRP using PCA and Taguchi method, *Engineering Science and Technology, an International Journal*, **18**, 70–81.
- Ho-Cheng, H., Dharan, C.K.H., 1990. Delamination During Drilling in Composite Laminates, *Journal of Engineering for Industry*, **112**, 236.
- Hocheng, H., Tsao, C.C., Liu, C.S., Chen, H.A., 2014. CIRP Annals - Manufacturing Technology Reducing drilling-

induced delamination in composite tube by magnetic colloid back-up, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, **63**, 85–88.

Melentiev, R., Priarone, P.C., Robiglio, M., Settineri, L., 2016. Effects of Tool Geometry and Process Parameters on Delamination in CFRP Drilling: An Overview, *Procedia CIRP*, **45**, 31–34.

Palanikumar, K., Prakash, S., Shanmugam, K., 2008. Materials and Manufacturing Processes Evaluation of Delamination in Drilling GFRP Composites **6914**, 37–41.

Tsao, C.C., Hocheng, H., 2004. Taguchi analysis of delamination associated with various drill bits in drilling of composite material, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, **44**, 1085–1090.

Varvani-Farahani, A., 2010. Composite materials: Characterization, fabrication and application-research challenges and directions, *Applied Composite Materials*, **17**, 63–67.

İnternet kaynakları

1-https://omnexus.specialchem.com/selection-guide/polypropylene-pp-plastic_ (19.13.2019)