

Karbon Elyaf Takviyeli Kompozitlerin İstifli Delinmesinde Delik Çıkış Hasarının Deneysel Araştırılması

Elif Özge KIRHASANOĞLU^{a,*}, Yakup TURGUT^b

^{a,*} Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye

^b Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

MAKALE BİLGİSİ

Alınma: 31.05.2021
Kabul: 03.08.2021

Anahtar Kelimeler:
Karbon fiber takviyeli
kompozit malzeme,
Delik delme,
Delik çıkış hasarı

ÖZET

Bu çalışmada, karbon elyaf takviyeli polimer kompozitlerin (KETPK) istifli delinmesinde delik çıkış hasarı; matkap uç açısı, matkap helis açısı, kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak deneysel araştırılmıştır. Çalışmada, KETPK malzeme Al 6013 malzeme ile alt-üst istifli olarak 90° ve 118° uç açısına ile 15° ve 22.5° helis açısına sahip kaplamasız HSS matkaplarla delinmiştir. Delme işleminde 0.05-0.1-0.2 mm/dev ilerleme miktarı ve 45, 67, 100 m/dak kesme hızı değerleri kullanılmıştır. Delik delme işlemleri sonucunda belirtilen şartlarda delik çıkış hasarları (delaminasyonları) araştırılmıştır. Deneyler sonucunda, kesme hızının artması ile delaminasyon oranının azaldığı aynı zamanda ilerleme miktarının artması ile delaminasyon oranının arttığı görülmüştür. Bununla beraber kesme hızının artması ile metal talaş yapışması/sıvanması eğiliminin azaldığı, bunun da delaminasyon oranında azalma sağladığı görülmüştür. Çalışma ile 118° uç açılı ve 22.5° helis açılı matkaplarla en yüksek kesme hızı 100 m/dak'da ve en düşük ilerleme miktarı olan 0.05 mm/dev'de en düşük delaminasyon oranı elde edilmiştir.

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2021.02.08>

Experimental Investigation of Hole Exit Damage in Stacked Drilling of Carbon Fiber Reinforced Composites

ARTICLE INFO

Received: 31.05.2021
Accepted: 03.08.2021

Keywords:
Carbon fiber
reinforced
composite material,
Drilling,
Hole exit damage

ABSTRACT

In this study, the stack drilling of carbon fiber-reinforced polymer (CFRP) composites was experimentally investigated in terms of exit damage, point angle, helix angle, cutting speed, and feed rate. During the experiments, the stacks consist of CFRP composite material and Al 6013 drilled with uncoated HSS drills. The drills had 90° and 118° point angles, 15° and 22.5° helix angles. The drilling experiments were performed with three different feed rates (0.05-0.1-0.2 mm/rev) and three different cutting speeds (45, 67, 100 m/min). The hole exit damages (delaminations) were investigated according to the drilling results. As a result of the experimental study, increasing cutting speed decreases the delamination ratio. Increasing feed rate increases the delamination ratio. Moreover, increasing cutting speed decreases the tendency of built-up edge. It is observed that this behavior assists the decreasing delamination ratio. In this study, the lowest delamination ratio was acquired at the highest cutting speed (100 m/min) and the lowest feed rate (0.05 mm/rev) with the drill which had 118° point angle and 22.5° helix angle.

<https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2021.02.08>

*Corresponding author: yturgut@gazi.edu.tr

To cite this article: E.Ö. Kırhasanoğlu and Y. Turgut, "Experimental Investigation of Hole Exit Damage in Stacked Drilling of Carbon Fiber Reinforced Composites", *Gazi Journal of Engineering Sciences*, vol.7, no.2, pp. 152-159, 2021.
[doi:https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2021.02.08](https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2021.02.08)

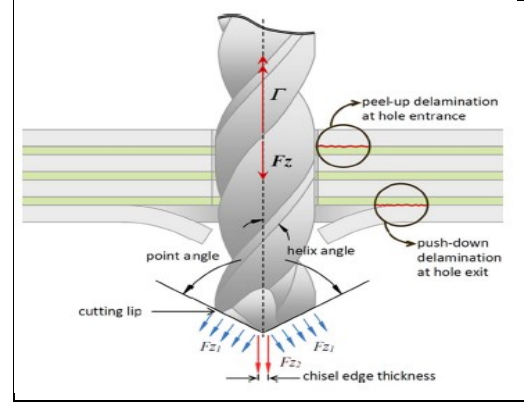
1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Malzemeler genel olarak metal ve metal olmayan malzemeler olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar. Bu gruplar birbirlerine göre kendilerini üstün kılan farklı özellikler taşırlar. Metal ve metal olmayan malzemelerin yanında aynı ya da farklı gruplardan iki veya daha fazla malzemenin en iyi özelliklerini makro düzeyde bir araya getirilerek elde edilen malzemeler de kompozit (karma) malzemeler olarak adlandırılır. Kompozit malzemeler asırlardır pek çok farklı uygulamalarda kullanılmaktadır. İlk kullanım tarihleri kesin olarak bilinmemekle beraber en eski uygulamalara Mısırlılar, İnkâ ve Maya medeniyetlerinde rastlanmıştır. Bu malzemelerin geliştirilmesi ise 1940'lı yıllarda II. Dünya Savaşı ile olmuştur [1].

Kompozit malzemeler yapılarını oluşturan malzemelerin en iyi özelliklerini bünyesinde taşırlar. Kompozit malzemeler üretilirken mukavemet, yorulma dayanımı, aşınma dayanımı, korozyon dayanımı, kırılma tokluğu, yüksek sıcaklık özellikleri, ısı iletkenlik, elektrik iletkenliği, akustik iletkenlik, rijitlik, hafiflik, fiyat ve estetik görünüm gibi özelliklerin geliştirilmesi hedeflenmiştir [2].

Elyaf takviyeli polimer kompozitler (ETPK) yüksek mukavemet, hafiflik, korozyona karşı yüksek direnç, sönümleme, yüksek dayanım gibi üstün mühendislik özelliklerine sahiptirler. Bu özelliklerinde dolayı ETPK malzemeler uzay, havacılık, savunma sanayisinde, inşaat ve yapı sektöründe, otomotiv ve denizcilik sektöründe, gıda ve tarım sektörlerinde, spor malzemeleri üretimi gibi birçok uygulamada yoğunlukla tercih edilmektedirler [3-7]. Karbon elyaf takviyeli karbon matrisli kompozit malzemeler ise yüksek ısı direncinin gerektiği alanlarda tercih edilmektedir [8]. Elyaf takviyeli kompozit malzemeler, birbirleri arasında cıvata ve perçinli birleştirmelerin yapılabilmesi için delme operasyonlarına tabi tutulmaktadır. Ancak, homojen olmayan yapılarından dolayı delme işlemi esnasında, delaminasyon, elyaf kopması, elyaf-matris arayüz ve termal hasar, yüzey tamlığının bozulması gibi olumsuz durumlar meydana gelmektedir [9-11].

Uygun olmayan parametre seçimi, Şekil 1'de görüldüğü gibi delik yüzeyinde termal hasar, laminattan bir matkap ucu çıktığında aşağıya doğru delaminasyon ve elyaf kopması gibi istenmeyen durumlara sebep olmaktadır. Bu kusurlar üzerinde delaminasyon, en önemli etkiye sahiptir.



Şekil 1. Kompozit malzemede delme esnasındaki delaminasyon (Delamination during drilling in composite material) [12]

Delaminasyon, havacılık ve uzay endüstrisinde parçaların son montajlarının yapılması esnasında ölçüsel hatalara ve mekanik özelliklerin azalmasına sebep olmaktadır. Bu sebeplerle, delaminasyon oluşumunun azaltılması için kesme parametrelerinin yanı sıra matkap geometrisinin optimum bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Birçok çalışmada delaminasyon, optik tarama ve dijital görüntü alma işlemleri ile belirlendiği gözlenmektedir. Genellikle delaminasyon oranı, delme esnasında kompozit malzeme üzerinde oluşan maksimum hasar çapının matkap çapına oranlanması ile hesaplanmaktadır [13].

Delik delme, talaşlı imalat yöntemlerinden en sık kullanılan ve uzun zaman alan işlemdir. Genellikle delik delme işlemi son işlem adımıdır. Bu nedenle yapılacak en ufak bir hata malzemenin hurdaya çıkmasına veya maliyetin artmasına neden olacaktır. Tüm delik delme işlemleri baz alındığında diğer operasyonlar içinde %36 oranla tek başına en çok gerçekleştirilen işlemdir [14,15].

Literatürde ETPK malzemelerin delinmesi üzerine çalışmaların olduğu görülmüştür. Bu çalışmaların çoğu matkap veya kesici geometrileri üzerine olduğu görülmüştür. Durao ve ark., beş farklı matkap geometrisinin (twist 120°, twist 85°, Brad, Dagger and Step) ilerleme kuvveti ve delaminasyon üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Twist 120° matkap ile delaminasyonun minimize edilebildiği ve ilerleme kuvvetinin Dagger ve Step matkaplarda diğer matkaplara göre daha az olduğunu belirtmişlerdir [16]. Abrao ve ark., CETPK'nin delinmesinde kullanılan "Brad&Spur", matkapların delik yüzey kalitesi ve mekanik yükler açısından iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir [17]. Davim ve Reis, KETP kompozitin delinmesinde, deney tasarımı tekniğini kullanarak kesme parametreleri ile

kesme gücü, kesme basıncı ve delaminasyon arasındaki korelasyonu araştırmışlardır [18]. Heisel ve Pfeifroth, farklı uç açılarına (155°-175°-185°-185°/178°) sahip sementit karbür matkaplar ile KETPK'nın delinmesinde, matkap uç açısının artması ile delik girişinde yüzey kalitesinin daha iyi olduğu, ancak delik çıkışında ise delaminasyonun arttığını belirtmişlerdir. Ayrıca, 155° uç açılı matkapta kesme hızının artması ile ilerleme kuvveti arttığı, ancak delik yüzey kalitesinin etkilenmediğini ifade etmişlerdir [19].

Bu çalışmada ise, karbon elyaf takviyeli polimer kompozitlerin (KETPK) Al ile istifli (Al/KETPK/Al) delinmesinde delik çıkış delaminasyonu, literatür araştırmaları doğrultusunda belirlenen optimum parametrelerle; 2 farklı matkap uç açısı, 2 farklı matkap helis açısı, 3 farklı kesme hızı ve 3 farklı ilerleme miktarına bağlı olarak deneysel araştırılmıştır. Deneyler sonucunda, kesme hızının artması ile delaminasyon oranının azaldığı aynı

zamanda ilerleme miktarının artması ile delaminasyon oranının arttığı görülmüştür. En düşük delaminasyon 118° uç açısı, 22.5° helis açısına sahip matkaplarla en yüksek kesme hızı 100 m/dak'da ve en düşük ilerleme miktarı olan 0.05 mm/dev'de elde edilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

Bu çalışmada, KETPK malzeme Al 6013-T651 malzeme ile alt-üst istifli olarak 90° ve 118° uç açısına ve 15° ve 22,5° helis açısına sahip kaplamasız taşlanmış HSS matkaplar kullanılmıştır. Delme işleminde 0.05-0.1-0.2 mm/dev ilerleme miktarı ve 45, 67, 100 m/dak kesme hızı değerleri kullanılmıştır. Delik delme işlemleri sonucunda belirtilen şartlarda delik çıkış delaminasyonları araştırılmıştır. Tablo 1'de deneylerde kullanılan parametre tablosu verilmiştir.

Tablo 1. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri (*Cutting parameters used in experiments*)

Tezgah	Johnfordh VMC 550 Fanuc		
Matkaplar (Ø7)	Taşlanmış kaplamasız HSS	90° Uç açısı	15° Helis açısı
			22.5° Helis açısı
	118° Uç açısı		15° Helis açısı
			22.5° Helis açısı
Deney malzemesi	Karbon elyaf takviyeli polimer kompozit Al 6013-T651 (istif malzemesi)		
Kesme parametreleri	Kesme hızı (m/dak)	45, 67, 100	
	İlerleme miktarı (mm/dev)	0.05-0.1-0.2	
Delik sayısı	Kesme parametreleri ve matkap kombinasyonları için toplam 36 adet		

Deneylerde kullanılan KETPK malzeme, 0°/45°/90°/45°/-45°/90°/45°/0° dizilimine sahip, 80x52x10 mm boyutlarında lamine olarak tasarlanmıştır. ASTM D 792'ye göre KETPK

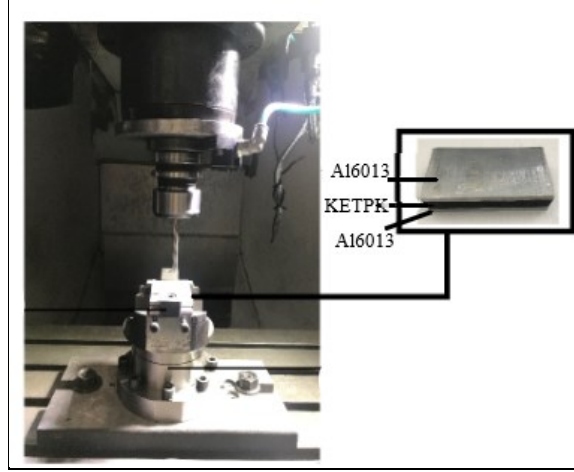
malzemesinin yoğunluk testi sonucu, mekanik, termal ve elektriksel özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. KETPK malzemenin ASTM D 792'ye göre fiziksel özellikleri (*Physical properties of KETPK material according to ASTM D 792*)

Malzeme	Yoğunluk (gr/cm ³)	Yüzde elyaf ağırlığı	Termal iletkenlik (W/mK)	Elyaf çapı (µm)	Elektriksel iletkenlik (µ-Ω-m)	Çekme modülü (GPa)	Çekme gerilmesi (GPa)
KETPK	1.59	%74.6	5	7	18	231	3.75

Deneyler, JOHNFORD VMC-550 marka CNC dik işleme merkezinde (Şekil 2), Makine takım

endüstrisinden temin edilen 7 mm çapında matkaplar (Tablo 3) kullanılarak yapılmıştır.



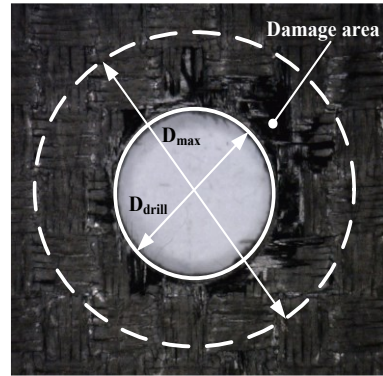
Şekil 2. Deneysel düzeneği (The experimental setup)

Tablo 3. Deneysel matkapların teknik özellikleri (Technical properties of drills used in experiments)

Matkaplar	Çap (mm)	Helis açısı	Uç açısı	Helis boyu (mm)	Boy (mm)	Matkap görünümü
Kaplamasız HSS	7	15°	90°	69	109	
Kaplamasız HSS	7	22.5°	90°	69	109	
Kaplamasız HSS	7	15°	118°	69	109	
Kaplamasız HSS	7	22.5°	118°	69	109	

Al6013/KETPK/Al6013 istifli yapı delme işlemi sonrasında KETPK malzemelerin görüntüleri taranıp Şekil 3'de görüldüğü gibi delik çapı (D_{drill}) ve hasar çapı (D_{max}) belirlenerek delaminasyon oranı (f_d)

hesaplanmıştır. Delaminasyon oranını hesaplamak için $f_d = D_{\text{max}}/D_{\text{drill}}$ eşitliği kullanılmıştır [11,20].

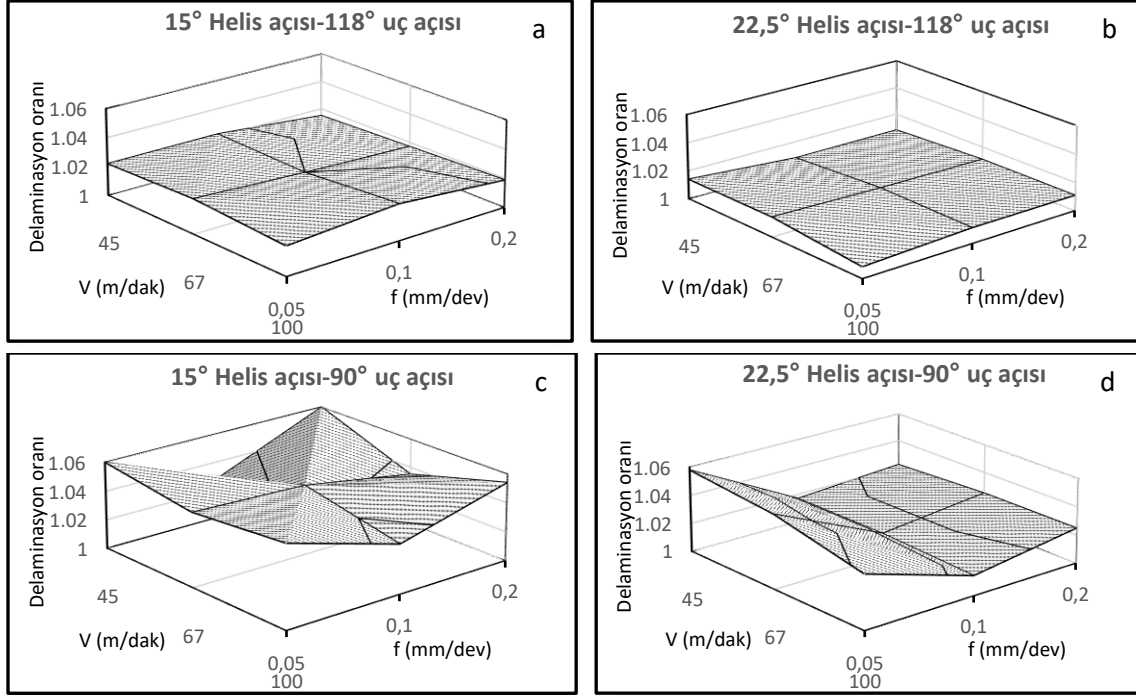


Şekil 3. Deneysel matkapların delik çıkış delaminasyonu (Hole exit delamination of KETPK material)

3. DENEYSEL SONUÇLAR ve TARTIŞMA (EXPERIMENTAL RESULTS and DISCUSSION)

Karbon elyaf takviyeli kompozitlerin istifli delinmesinde delik çıkış delaminasyonunun

araştırıldığı bu çalışmada elde edilen verilerle grafikler oluşturulmuştur. Şekil 4'de farklı matkap uç açısı ve helis açısında her bir kesme şartında elde edilen verilerle oluşturulan grafikler verilmiştir.



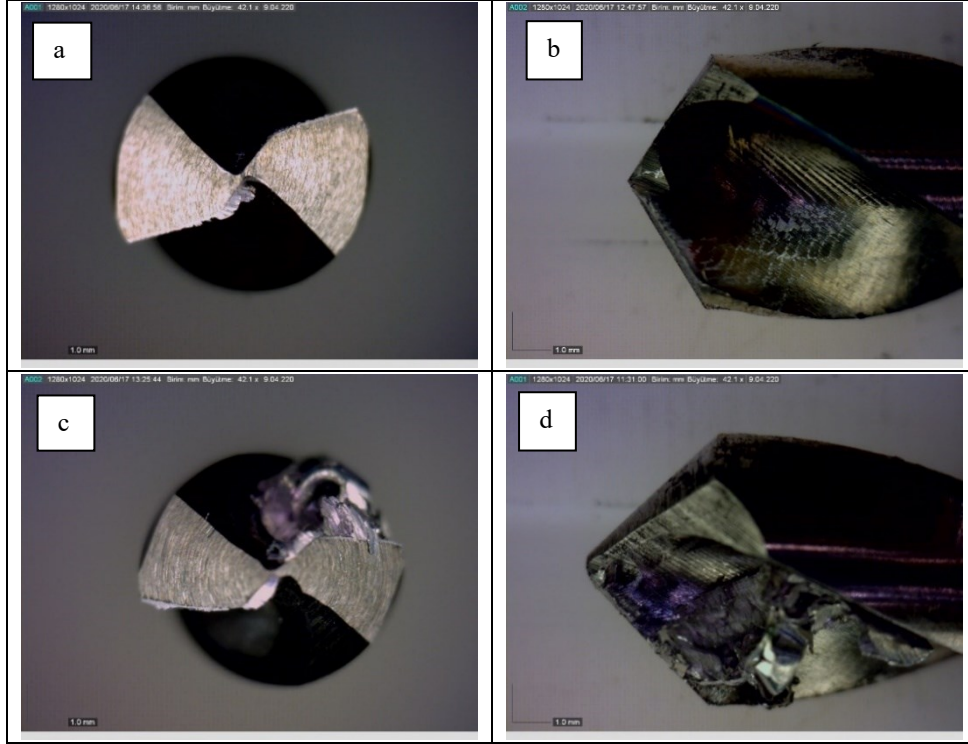
Şekil 4. Farklı matkap uç açısı ve helis açısında kesme parametrelerine bağlı delaminasyon oranları (Delaminations rates depending on cutting parameters in different drill point angle and helix angle)

Şekil 4 incelendiğinde, kesme hızının artması ile delaminasyon oranının azaldığı aynı zamanda ilerleme miktarının artması ile delaminasyon oranının arttığı görülmektedir. Kesme hızının artması kesme kuvvetlerini azalttığı ve delaminasyonların azaldığı, ilerleme miktarının artması ile de kesme kuvvetlerinin arttığı ve dolayısı ile delaminasyon oranının arttığı söylenebilir [16,19,21-23].

Genel olarak 118° uç açılı ve 22.5° helis açılı matkaplarla yapılan deneylerde delaminasyonların 90° uç açılı ve 15° helis açılı olanlara oranla daha az olduğu görülmektedir. Delik delme işlemlerinde kullanılan matkapların uç açısı değiştiğinde ilerleme kuvvetinin yönü değişmektedir (Şekil 1) [12]. Bu durum kesme bölgesinde deformasyonun yönünü değiştirmektedir. Daha büyük uç açılı matkaplarla yapılan deneylerde bu yön daha stabil olan alt plakaya doğru olurken uç açısı küçüldükçe yön, daha az stabil olan KETPK malzemeye yönelmektedir. Uç açısı büyük olan matkaplardaki delaminasyon

oranlarının az olması bu duruma bağlanabilir. Bu bağlamda düşük uç açısı ve düşük helis açısı delaminasyon oranını artırmıştır (Şekil 4-c).

Karbon fiber kompozit malzemeleri istifli delme işlemleri delaminasyon oranını azaltmakla birlikte istif malzemesi olarak metal esaslı malzemelerin kullanılması metal talaş oluşumu ve sıvanması karbon fiber tabakaya zarar vermektedir [24,25]. Kesme hızlarının artması ile delaminasyon oranının azalmasını kesme hızının artması ile metal talaş yapışması/sıvanması eğiliminin azalmasına bağlamak mümkündür. Şekil 5-a ve b'de 100 m/dak ve 0.05 mm/dev'de yapılan deneydeki matkap ucu gösterilirken Şekil 5-c ve d'de 45 m/dak ve 0.05 mm/dev'de yapılan deneydeki matkap ucu gösterilmiştir. Şekil 5'te gösterilen düşük kesme hızlarındaki bu talaş oluşumu/sıvanmasının delaminasyonları artırmıştır.



Şekil 5. Matkap uç görüntüleri (A-B: 100 m/dak ve 0,05 mm/dev, C-D: 45 m/dak ve 0,05 mm/dev) (Drill point images)

Bu çalışma için en düşük delaminasyon oranı 118° uç açılı, 22.5° helis açılı matkaplarla en yüksek kesme hızı 100 m/dak'da ve en düşük ilerleme miktarı olan 0.05 mm/dev'de elde edilmiştir (Şekil 4-b). En kötü delaminasyon oranları ise 90° uç açılı matkaplarla düşük kesme hızında (45 m/dak) yapılan deneylerde elde edilmiştir (Şekil 4 c ve d).

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Karbon elyaf takviyeli malzemenin istifli delme işleminde delik çıkış delaminasyonların araştırıldığı bu çalışma ile elde edilen önemli bulgular aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Kesme hızının artması ile delaminasyon oranının azaldığı aynı zamanda ilerleme miktarının artması ile delaminasyon oranının arttığı görülmüştür.

- Genel olarak 118° uç açılı ve 22.5° helis açılı matkaplarla yapılan deneylerde delaminasyonların 90° uç açılı ve 15° helis açılı olanlara oranla daha az olduğu görülmüş, düşük uç açısı ve düşük helis açısı delaminasyon oranını artırmıştır.

- Karbon fiber kompozit malzemeleri istifli delme işlemleri delaminasyon oranını azaltmakla birlikte istif malzemesi olarak metal esaslı malzemelerin kullanılması metal talaş oluşumu ve sıvanması karbon fiber tabakaya zarar verdiği görülmüştür.

- Kesme hızının artması ile metal talaş yapışması/sıvanması eğiliminin azaldığı bu da delaminasyon oranının azalmasını sağladığı görülmüştür.

- En küçük delaminasyon oranı 118° uç açılı, 22.5° helis açılı matkaplarla en yüksek kesme hızı 100 m/dak'da ve en düşük ilerleme miktarı olan 0.05 mm/dev'de elde edilmiştir.

- En kötü delaminasyon oranları ise 90° uç açılı matkaplarla düşük kesme hızında (45 m/dak) yapılan deneylerde ortaya çıkmıştır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BİLDİRİMİ (CONFLICT OF INTEREST STATEMENT)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması bildirilmemiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

[1] Ş. Bayraktar, "Karbon elyaf takviyeli polimer kompozit malzemelerin frezeleme işleminde işlenebilirliğinin deneysel araştırılması," Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üni., Ankara, Türkiye, 2011.

[2] K. Erbay, "Silah gövdeleri için polimer esaslı kompozit malzeme üretimi ve özelliklerinin incelenmesi," Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üni., Trabzon, Türkiye, 2009.

- [3] R. Teti, "Machining of composite materials" *Annals of the CIRP*, vol. 51, no. 2, pp. 611-634, 2002. doi:[https://dx.doi.org/10.1016/S0007-8506\(07\)61703-X](https://dx.doi.org/10.1016/S0007-8506(07)61703-X)
- [4] Y.H. Guu, H. Hocheng, N.H. Tai, S.Y. Liu, "Effect of electrical discharge machining on the characteristics of carbon fibre reinforced carbon composites" *Journal of Materials Science*, vol. 36, no.8, pp. 2037-2043, 2001. doi:<https://dx.doi.org/10.1023/A:1017539100832>
- [5] Ş. Bayraktar, "Elyaf takviyeli polimer kompozit malzemelerin farklı delme yöntemleri ile delinmesinde kesme performansının değerlendirilmesi: Literatür taraması," *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, vol. 33, no. 2, pp. 629-647, 2018.
- [6] D. Asi, "Polimer matrisli kompozit malzemelerde ilave olarak kullanılan parçacıkların geometrisinin kompozit malzemelerin fiziksel ve mekaniksel özelliklerine etkisinin araştırılması," Doktora Tezi, Uşak Üni., Uşak, Türkiye, 2018.
- [7] H. Özer, "Sürekli cam elyaf takviyeli termoplastik kompozit malzemelerin geliştirilmesi ve mekanik özelliklerinin deneysel olarak belirlenmesi," Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üni., Bursa, Türkiye, 2015.
- [8] K.L. Luthra, "Oxidation of carbon/carbon composites-a theoretical analysis," *Carbon*, vol. 26 no. 2, pp. 217-224, 1988. doi:[https://dx.doi.org/10.1016/0008-6223\(88\)90040-1](https://dx.doi.org/10.1016/0008-6223(88)90040-1)
- [9] V.N. Gaitonde, S.R. Karnik, J. Campos Rubio, A. Esteves Correia, A.M. Abrão, J. Paulo Davim "A study aimed at minimizing delamination during drilling of CFRP composites," *Journal of Composite Materials*, vol. 45 no. 22, pp. 2359-2368, 2011. doi:<https://dx.doi.org/10.1177/0021998311401087>
- [10] CW. Wern, M. Ramulu, A. Shukla, "Investigation of stresses in the orthogonal cutting of fibre-reinforced plastics" *Experimental Mechanics*, vol.36, pp. 33-41, 1996. doi:<https://dx.doi.org/10.1007/BF02328695>
- [11] S. Arul, L. Vijayaraghavan, S.K. Malhotra, R. Krishnamurthy, "The effect of vibratory drilling on hole quality in polymeric composites" *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 46, no. 3-4, pp. 252-259, 2006. doi:<https://dx.doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2005.05.023>
- [12] S.Y. Park, W.J. Choi, C.H. Choi, H.S. Choi, "Effect of drilling parameters on hole quality and delamination of hybrid GLARE laminate," *Composite Structures*, vol. 185, pp. 684-698, 2018. doi:<https://dx.doi.org/10.1016/j.compstruct.2017.11.073>
- [13] S.R. Karnik, V.N. Gaitonde, J. Campos Rubio, A. Esteves Correia, A.M. Abrão, J. Paulo Davim, "Delamination analysis in high speed drilling of carbon fiber reinforced plastics (CFRP) using artificial neural network model," *Materials & Design* vol. 29 no. 9, pp. 1768-1776, 2008. doi:<https://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2008.03.014>
- [14] A.T. Kuzu, "Kompakt grafitli dökme demirin delik delme işleminin incelenmesi ve sıcaklık modelinin oluşturulması," Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üni., İstanbul, Türkiye, 2016.
- [15] T. Üstün, "Delik delmede farklı delme uygulamalarının takım performansı ve işleme ekonomisi açısından karşılaştırılması," Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üni., Ankara, Türkiye 2019.
- [16] L.M.P. Durão, D.J.S. Gonçalves, J.M.R.S Tavares, V.H.C. Albuquerque, A.A. Vieira, A.T. Marques, "Drilling tool geometry evaluation for reinforced composite laminates," *Composite Structures*, vol. 92 no. 7, pp. 1545-1550, 2010. doi:<https://dx.doi.org/10.1016/j.compstruct.2009.10.035>
- [17] A.M. Abrão, J.C. Campos Rubio, P.E. Faria, J.P. Davim, "The effect of cutting tool geometry on thrust force and delamination when drilling glass fibre reinforced plastic composite" *Materials & Design* vol. 29 no.2, pp. 508-513, 2008. doi:<https://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2007.01.016>
- [18] J. P. Davim, P. Reis, "Drilling carbon fiber reinforced plastics manufactured by autoclave-experimental and statistical study" *Materials & Design*, vol. 24 no. 5, pp. 315-324, 2003.
- [19] U. Heisel, T. Pfeifroth, "Influence of point angle on drill hole quality and machining forces when drilling CFRP" *Procedia CIRP*, vol. 1, pp. 471-476, 2012.
- [20] J.P. Davim, P. Reis, C.C., Antonio, "Experimental study of drilling glass fibre reinforced plastics (GFRP) manufactured by hand lay-up" *Composites Science and Technology*, vol. 64 no. 2, pp. 289-297, 2004.
- [21] N. Yaşar, M. Günay, "Experimental investigation on novel drilling strategy of CFRP laminates using variable feed rate" *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, vol.41, no.150, 2019. doi:<https://dx.doi.org/10.1007/s40430-019-1658-2>

[22] G. Basmacı, A.S. Yörük, “Karbon Fiber Takviyeli Kompozit Malzemenin Kuru ve Kriyojenik Şartlarda Delinebilirliğinin Deneysel Araştırılması,” *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, vol. 11 no.2, pp. 164-175, 2020. doi:<https://dx.doi.org/10.29048/makufebed.745998>

[23] S.O. Ismail, H.N. Dhakal, I. Popov, J. Beaugrand, “Comprehensive study on machinability of sustainable and conventional fibre reinforced polymer composites,” *Engineering Science and Technology an International Journal*, vol. 19 no. 4, pp. 2043-2052,2016. doi:<https://dx.doi.org/10.1016/j.jestch.2016.07.010>

[24] E. Aydın, “CFRP/Al istifli delmede matkap uç açısının itme kuvveti (Fz) ve takım aşınması üzerine etkilerinin araştırılması,” *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, vol. 9, no. 3, pp. 1574-1583,2019. doi:<https://dx.doi.org/10.21597/jist.521218>

[25] O. Pekat, B. Ekkard, “Low Damage Drilling of CFRP/Titanium Compound Materials for Fastening” *Procedia CIRP*, vol. 13, pp. 1-7, 2014. doi:<https://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2014.04.001>