

Nomex Balpeteği Çekirdekli Kompozit Malzemelerin Delinmesinde Oluşan Kesme Kuvvetleri ve Delaminasyonun İncelenmesi

Ahmet UYUMAZ^{1*}, Fatih ERGENÇİÇEĞİ², Gültekin BASMACI³

Öz

Nomex kompozit malzemelerin işlenmesi anizotropik yapıları nedeniyle karmaşıktır. Perçin ve cıvata gibi bağlantı elemanları ile birleştirilen bu tür kompozitlerde delme işleminin kalitesi, bağlantı kalitesini belirleyen önemli bir faktördür. Bu çalışmada delme işlemi sırasında oluşan kesme kuvvetleri ile oluşan delaminasyonlar; en uygun kesici takım geometrisi, fener mili hızı ve ilerleme hızını tespit edebilmek amacıyla incelenmiştir. Deneylerde cam fiber prepeg kaplı Nomex balpeteği sandviç malzeme; helisel üç ağızlı kesici takım ve iki ağızlı kırıcı tip kesici takımlarla; 100, 200, 300, 400 ve 500 mm/dak ilerleme hızı ve 2.000, 8.000 dev/dak fener mili hızı parametreleri kullanılarak dik işleme merkezinde doğrudan delme metoduyla işlenmiştir. Kesme kuvvetleri dinamometre ile ölçülmüştür. Delinen deliklerin alınan görüntüleri üzerinden delaminasyon hesaplaması yapılmıştır. 2.000 dev/dak iş mili hızında en yüksek çıkış delaminasyon faktörü RRFE 040 ve RCFE 040 ile sırasıyla 1,953 ve 1,849 olduğu belirlenmiştir. 8.000 dev/dak iş mili hızında ise en yüksek çıkış delaminasyon faktörü RRFE 040 ve RCFE 040 ile sırasıyla 1,915 ve 1,830 olduğu görülmüştür. Deneyler sonucunda en iyi kesme kuvveti ve çıkış delaminasyonu değerleri iki ağızlı kırıcı tip kesici takımla düşük ilerleme hızlarıyla elde edilmiştir. Yüksek fener mili hızı ile kesme kuvvetleri azalmıştır. Yüksek fener mili hızı, iki ağızlı kırıcı tip kesici takımla yapılan deneylerde çıkış delaminasyonu değerleri artmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kompozit Malzeme, Nomex, Balpeteği, Delaminasyon, İşlenebilirlik

Investigation of Cutting Forces and Delamination in Drilling of Nomex Honeycomb Core Composite Materials

Abstract

The processing of Nomex composite materials is complex due to their anisotropic structure. In such composites, which are joined with fasteners such as rivets and bolts, the quality of the drilling process is an important factor determining the quality of the connection. In this study, the delaminations caused by the cutting forces generated during the drilling process were investigated in order to determine the most suitable cutting tool geometry, spindle speed and feed rate. In the experiments, glass fiber prepeg coated Nomex honeycomb sandwich material; Helical three flute cutting tool and two flute breaker type cutting tools; 100, 200, 300, 400 and 500 mm/min feed rate and 2000, 8000 rpm. and spindle speed parameters of 2000 and 8000 rpm on a vertical machining center using the direct drilling method. Cutting forces were measured with a dynamometer. Delamination was calculated from the images of the drilled holes. At a spindle speed of 2,000 rpm, the highest output delamination factor was determined to be 1.953 and 1.849 with RRFE 040 and RCFE 040, respectively. At 8,000 rpm spindle speed, the highest output delamination factor was found to be 1.915 and 1.830 with RRFE 040 and RCFE 040, respectively. As a result of the experiments, the best cutting force and exit delamination values were obtained at low feed rates with a two-flute breaker type cutting tool. Cutting forces decreased with higher spindle speed. High spindle speed increased the exit delamination values in the experiments with the two-flute breaker type cutting tool.

Keywords: Composite Materials, Nomex, Honeycomb, Delamination, Machinability

^{1,3}Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Burdur, Türkiye, ayumaz@mehmetakif.edu.tr, gbasmaci@mehmetakif.edu.tr

²Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Burdur, Türkiye, ergencicegi@gmail.com

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author

Geliş/Received: 11.08.2023

Kabul/Accepted: 05.02.2024

Yayın/Published: 15.03.2024

1. Giriş

Nomex balpeteği yapılar; bir meta-aramid olan Nomex liflerinden oluşan Nomex kağıdının fenolik reçineye batırılmış şeritlerinin birleştirilmesiyle üretilmektedirler. Tüm kompozitler gibi Nomex Balpeteği sandviç yapılarda kendilerini oluşturan bileşenlerden daha iyi özelliktedirler (Mazumdar, 2001).

Özellikle havacılık alanında; çok iyi olan mukavemet/ağırlık oranı, geç tutuşma özellikleri ve dielektrik özellikleri nedeniyle uzay, havacılık, denizcilik ve motor sporları gibi sektörlerde yaygın olarak kullanılmaktadır (Xie ve ark., 2020). Havacılık sektöründe; zemin, kapılar, yan duvarlar, kuyruk, kanat gövdesi kaportaları, uçak dümeni, motor bölümünde; denizcilik sektöründe dış gövde, asma tavan, kamara bölümünde; uydu teknolojilerinde gövde malzemesi olarak Nomex balpeteği çekirdekli sandviç yapılar kullanılmaktadır.

Hacminin %90'ı boşluktan oluşmasına rağmen, Nomex balpeteğinin işlenmesinde, takım aşınmaları, yüzey kusurlarının yüksekliği, işlemede istenilen hassasiyetin sağlanamaması gibi sorunlarla karşılaşmaktadır (Gill ve ark., 2017).

Nomex balpeteği sandviç kompozitlerin işlenmesinde en yaygın yöntem halen geleneksel talaş kaldırma yöntemidir (Ahmad ve ark., 2020). Hızlı ve ekonomik olması geleneksel yöntemlerin avantajı olarak görülse de takım aşınmasının yüksekliği, yüksek kesme kuvveti sebebi ile oluşan yüzey kusurları, ortaya çıkan talaş ve tozların çevreye ve sağlığa zararlı etkileri geleneksel yöntemin dezavantajlarıdır (Potoğlu, 2012) (Khoran ve ark., 2015).

Nomex Balpeteği yapıların frezelenmesi esnasındaki kesici takım geometrisi ve işleme parametrelerinin (takım devri, ilerleme hızı) kesme kuvvetleri ile yüzey kusurlarına etkisini inceleyen çalışmalarda düşük ilerleme hızı ve yüksek iş mili devrinin daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir (Jaafar ve ark., 2017). Kesme kuvvetlerinin iş mili devir sayısı arttıkça azaldığını, ilerleme hızı arttıkça arttığı görülmektedir (Zarrouk ve ark., 2022), (Knittel ve ark., 2019).

Nomex balpeteğinin işlenmesindeki en yaygın geleneksel yöntem matkap ile delme işlemidir. Nomex balpeteğinden mamul parçaların bir başka malzemeyle ya da birbirleriyle birleştirilmesi için çeşitli bağlantı elemanları kullanıldığından delme işlemi büyük bir öneme sahiptir (Ghabezi ve ark., 2020).

Alüminyum balpeteği ve Nomex balpeteği çekirdekli kompozitler ile yapılan delme deneylerinde delaminasyon ve yüzey kusurları bakımından Alüminyum balpeteğinin daha başarılı sonuçlar verdiği; giriş delaminasyonuna en çok etki eden faktörün kesme hızı olduğu, bunu ilerleme hızının takip ettiği, çıkış delaminasyonunda ise daha belirleyici olan parametrenin ilerleme hızı olduğu görülmüştür (Kuş ve Ekici, 2017). Nomex balpeteğinin delinmesi üzerine helisel matkap takımlarıyla yapılan bir başka çalışmada delaminasyona en çok etki eden kesme parametresinin

ilerleme hızı olduğu, ilerleme hızını iş mili hızı ve takım yarıçapının takip ettiği görülmüştür (Ghabezi ve ark., 2020). Fakat literatürdeki çalışmalarda hançer tip olarak adlandırılan kesici takımların, helisel takımlardan daha düşük kesme kuvvetleri oluşturup daha az delaminasyona neden oldukları da dikkat çekmektedir (Yang ve ark., 2021). Yüzey pürüzlülüğü ve delaminasyon faktörünün araştırıldığı çalışmada kompozit malzeme kaplamalı ve kaplamasız matkap ile delinmiştir. 80, 70 ve 60 m/dk kesme hızı ve 0.12, 0.09 ve 0.06 mm/dk ilerleme oranlarında yapılan çalışmada kesme hızı arttıkça delaminasyon faktörünün azaldığı görülmüştür (Engin ve Yaka 2023). 15J ve 25J darbe enerjisi olarak kompozit plakaların darbe davranışlarının incelendiği çalışmada deliksiz kompozit malzemelerdeki hasarın delikli kompozit malzemelerdeki hasar miktarından daha az olduğu görülmüştür. Bununla birlikte darbe dayanımının delikler arası mesafe kısaldıkça yaklaşık %19 azaldığı görülmüştür (Esendemir ve Başaran 2023). Kompozit panellere uygulanan darbe ile malzeme özelliklerindeki değişimin incelendiği bir başka çalışmada maksimum eğilme gerilmesinin 0,7 mm çentik açılan numunede olduğu görülmüştür. Çift taraftan 0,7 mm çentik açılan numunede ise maksimum şekil değişiminin olduğu gözlemlenmiştir (Demir ve Kemiklioğlu 2023). Karbon elyaf epoksi kompozit malzeme borularının kırılma tokluklarının incelendiği çalışmada hidrotermal yaşlandırmanın etkisi ile malzemenin darbelere karşı daha elastik bir karakteristik gösterdiği gözlenmiştir (Kosalı ve Kara 2023a). Benzer bir çalışmada nanopartikül katkısı ile karbon elyaf epoksi kompozit borularının kırılma tokluğu araştırılmıştır. Kırılma tokluğu değerleri en düşükten en yükseğe doğru sırasıyla hibrit kompozit, BN takviyeli, KNT takviyeli ve saf elyaf kompozit malzemeler olduğu belirtilmiştir (Kosalı ve Kara 2023b).

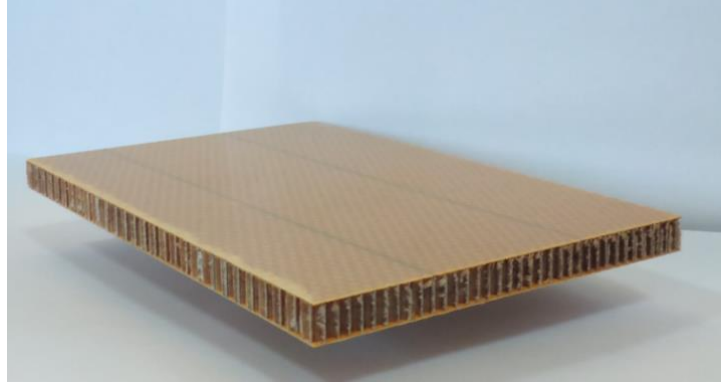
Bu çalışmada günümüzde havacılık, uzay teknolojileri, ulaşım teknolojilerinde çok yaygın olarak kullanılan Nomex balpeteği çekirdekli sandviç kompozit malzemelerin birleştirilmesinde kullanılan vidalı ve perçinli bağlantılar için gerekli olan delme işlemi esnasındaki kesici takım, fener mili hızı, ilerleme hızı gibi faktörlerin kesme kuvvetleri ve delaminasyona etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca kesme kuvveti ve delaminasyon kusuru açısından en uygun şartların tespit edilmesi hedeflenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Deney Seti

Deneylerde kullanılan kompozit malzeme Kordsa Teknik Tekstil A.Ş. firmasından temin edilen, alt ve üst yüzeyi 0,2 mm fenolik reçineli cam elyaf kompozit kaplı, Nomex balpeteği çekirdekli sandviç kompozittir. Deney malzemesi 185 mm x 118 mm ebadında ve 10 mm kalınlığındadır. Malzemenin tezgâha entegre olan dinamometreye bağlanabilmesi için, numuneye 8

mm çapında 4 adet bağlantı deliği açılmıştır. Deneylerde kullanılan kompozit malzemenin resmi Şekil 1.'de görülmektedir. Kompozit malzemenin sahip olduğu özellikler ise Tablo 1'de (Kordsa, 2023) verilmektedir.

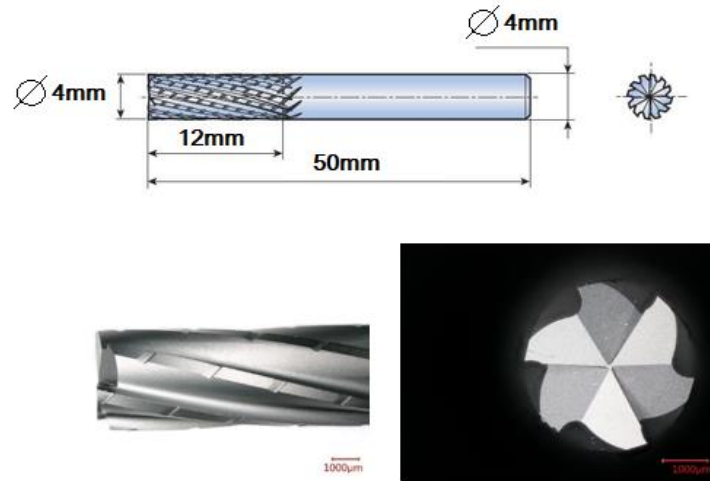


Şekil 1. 185 x 118 x 10 mm Nomex kompozit malzeme

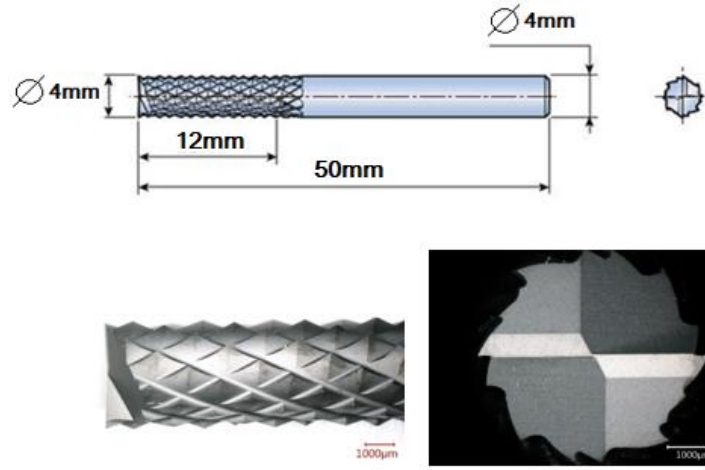
Tablo 1. Deneylerde kullanılan Nomex balpeteği kompozit sandviçin özellikleri

	Özellikler	Değer
Yüzey Malzemesi	Fiber Tipi	S2 Sınıfı Fiber Cam Elyaf
	Dokuma Tipi	8H Satin
	Matris	%50 Fenolik Reçine
	Metrekare Gramaj	305 gr/m ²
	Kalınlık	0,2 mm
Çekirdek Malzemesi	Malzeme	Nomex Balpeteği
	Yoğunluğu	48 g/m ³
	Hücre Aralığı	3,2 mm
	Hücre Yüksekliği	9,6 mm

Yapılan deneylerde Taegutec firmasının ürettiği, elmas malzemeden CVD (Chemical Vapor Deposition) kaplama, 4 mm çapında farklı geometriye sahip iki tip kesici takım kullanılmıştır. İlki 15° helis açısına sahip 3 ağızlı, RRFE 040 isimli kesici takımdır (Şekil 2). İkinci kesici takım RCFE 040 olarak adlandırılan 28° helis açısına ve kırıcı yanal yüzeylere sahip kesici takımdır (Şekil 3).

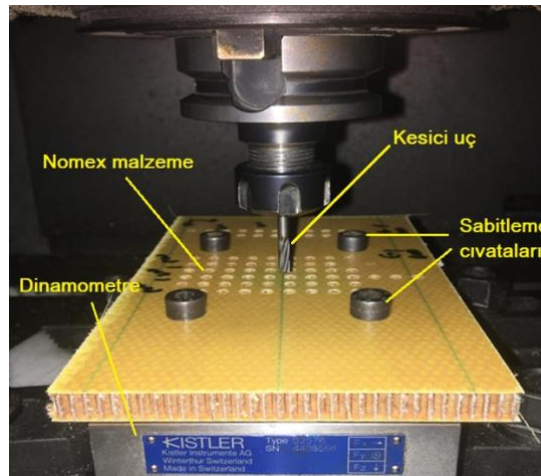


Şekil 2. RRFE 040 Kesici Takım



Şekil 3. RCFE 040 Kesici Takım

Deneyler Quaser MV154C dik işlem tezgâhında yapılmıştır. Tezgâh 3 eksenli olup; maksimum 17,5 kW güce, 10.000 dev/dak maksimum fener mili hızına sahiptir. İşleme merkezi tablasına entegre edilmiş olan Kistler 9257 B dinamometre ile deney esnasındaki kesme kuvvetleri ölçülmüştür. Kistler 9257 B tip dinamometre, yüksek empedanslı bağlantı kabloları ile Kistler 5070 S tip amplifikatöre; amplifikatör bağlantı kablolarıyla Kistler 5697 A tipi DAQ kartına bağlıdır. Bu kart ile işlenen veriler bilgisayarımızdaki DynoWare adlı yazılımla sayısal olarak elde edilmiştir. Şekil 4’de deney düzeneği görülmektedir. Numunenin tezgâha montajlanması için ölçüm cihazının müsaade ettiği ve tavsiye edilen boyutlar dikkate alınarak bağlantı yapılmış ve sabitlenmiştir. Kistler marka dinamometrenin izin verdiği boyutlarda malzeme tezgâha bağlanmış ve delme işlemleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4. Deney Düzeneği

Yapılan deneylerde Nomex Balpeteği sandviç malzemenin giriş ve çıkışlarında kesilmemiş lif ve delaminasyon kusurlarını tespit etmek için Keyence VHX-900 dijital mikroskobu ile görüntüler alınmış; alınan görüntüler üzerinden yapılan ölçümlerle kompozite giriş ve çıkışlardaki delaminasyon

faktörleri hesaplanmıştır. Ayrıca kesici takımların görüntüleri de bu dijital mikroskop ile detaylandırılmıştır.

2.2. Yöntem

Bu çalışmada 10 mm kalınlığında alt ve üst yüzeyi cam elyaf prepreg ile kaplı Nomex bal peteği sandviç kompozit malzemeye; 4 mm çapında üç ağızlı helisel kesici takım (RRFE 040) ve yine 4 mm çapında iki ağızlı parçalayıcı yüzeye sahip kesici takım (RRFE 040) ile 2.000 ve 8.000 dev/dak iş mili hızlarında 100, 200, 300, 400 ve 500 mm/dak ilerleme hızları ile delme işlemleri yapılmıştır. Her iki kesici takım ile her bir parametre ile 3 defa delme olmak üzere toplam 60 adet delme işlemi gerçekleştirilmiştir. Delme işlemi deneyleri, kuru ortam şartlarında, desteksiz olarak; üç eksenli CNC tezgâhında yapılmıştır. Delme işlemi esnasında ortaya çıkan kesme kuvvetleri dinamometre vasıtasıyla ölçülmüş; açılan deliklerin görüntüleri dijital mikroskop ile alınmıştır. Delinen malzemedeki çap ölçümleri yapılarak delaminasyon değerleri hesaplanmıştır. Kesme kuvvetleri ve delaminasyon faktörleri hesaplanarak kesici takım tipi, ilerleme hızı ve kesme hızına göre karşılaştırılmıştır. Deneyde kullanılan kesme parametreleri Tablo 2’de görülmektedir.

Tablo 2. Deneyde kullanılan kesme parametreleri

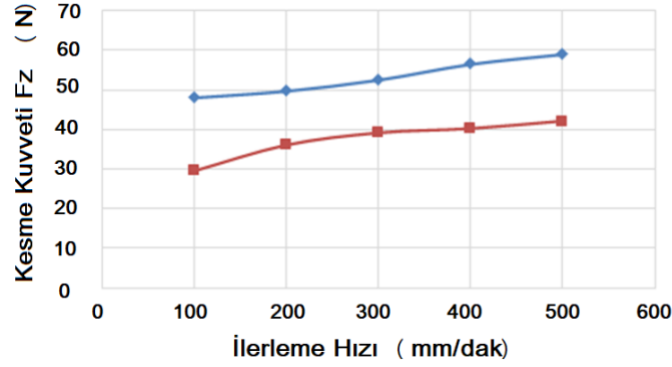
Kesici Takım	İş Mili Hızı (dev/dak)	İlerleme Hızı (mm/dak)
RRFE 040 / RCFE 040	2000	100
		200
		300
		400
		500
RRFE 040 / RCFE 040	8000	100
		200
		300
		400
		500

3. Bulgular ve Tartışma

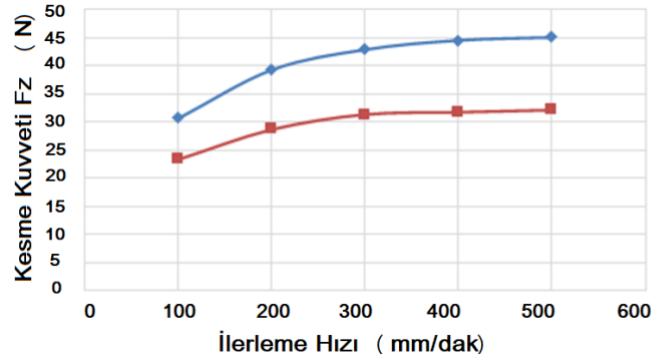
3.1. Kesme Kuvvetleri Ölçümü

Nomex bal peteği sandviç kompozit malzemelerin delinmesinde kesme kuvvetleri; oluşan delaminasyon, kesilmemiş lif kusuru ve takım aşınması gibi hususların değerlendirilmesinde önemli bir parametre olarak öne çıkmaktadır. Deney düzeneğinde Z ekseni olarak belirtilen yöndeki kuvvet kesme kuvveti olarak kullanılmıştır. Her bir parametre ile 3 kez ölçüm yapılarak ortalamaları

alınmıştır. 2.000 dev/dak iş mili hızındaki kesme kuvvetlerinin ilerleme hızına göre değişimi Şekil 5’de; 8.000 dev/dak iş mili hızındaki kesme kuvvetlerinin ilerleme hızına göre değişimi Şekil 6’da verilmiştir. Helisel üç ağızlı kesici takım (RRFE 040) ile aynı fener mili hızında yapılan delme işlemleri sırasında oluşan kesme kuvvetleri, kırıcı özellikli iki ağızlı kesici takım (RCFE 040) ile yapılan delme işlemleri sırasında oluşan kesme kuvvetlerinden daha büyük olduğu görülmektedir.



Şekil 5. 2.000 dev/dak iş mili hızındaki kesme kuvvetlerinin ilerleme hızına göre değişimi



Şekil 6. 8.000 dev/dak iş mili hızındaki kesme kuvvetlerinin ilerleme hızına göre değişimi

Çalışmada kullanılan her iki fener mili hızında ve tüm ilerleme hızlarında da RRFE 040 kesici takımının RCFE 040 kesici takımına oranla daha büyük kesme kuvvetleri oluşturduğu; ilerleme hızlarıyla birlikte kesme kuvvetlerinin arttığı; 2000 dev/dak iş mili hızında oluşan kesme kuvvetlerinin, 8.000 dev/dak iş mili hızında oluşan kesme kuvvetlerinden büyük olduğu tespit edilmiştir.

3.2. Deliklerin Delaminasyon Değerleri

Kesici takımların 2.000 ve 8.000 dev/dak fener mili hızlarında, farklı ilerleme hızlarında oluşturdukları giriş ve çıkış deformasyonlarının saptanması için her bir parametrede üçer kez mikroskop ile 50 kat büyütülmüş görüntüleri alınarak; delaminasyonlu çapın kesici takımın çapına

oranlanması ile Delaminasyon Faktörü (F_d) elde edilmiştir. Şekil 7’de delme işleminde delaminasyon bölgesi ve maksimum hasar çapı şematik olarak verilmektedir.

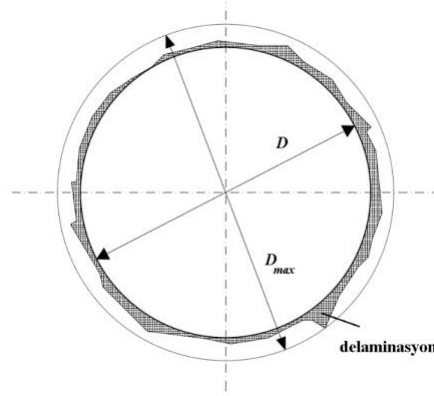
Delaminasyon Faktörü Denklem (1) de verilen eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$F_d = \frac{D_{max}}{D} \quad (1)$$

F_d : Delaminasyon Faktörü

D_{max} : Maksimum Hasar Çapı

D : Kesici Takım Çapı

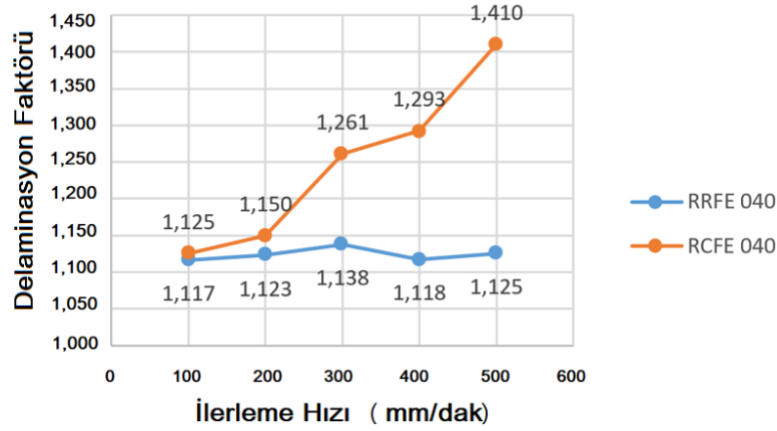


Şekil 7. Delme işleminde delaminasyon bölgesi ve maksimum hasar çapı

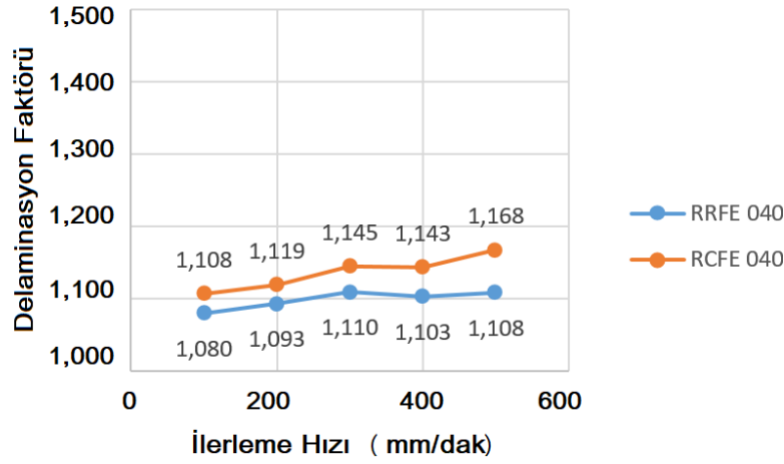
2.000 ve 8.000 dev/dak iş mili hızında çeşitli ilerleme hızlarıyla yapılan deneylerdeki giriş ve çıkış delaminasyon faktörleri hesaplanarak Şekil 8, Şekil 9, Şekil 10 ve Şekil 11’de görülen grafikler elde edilmiştir. İlerleme hızı arttıkça RCFE 040 ile delaminasyon faktörünün arttığı görülmektedir. RCFE 040 ile elde edilen delaminasyon faktörü değerleri RRFE 040 ile elde edilen delaminasyon faktörü değerlerinden az olduğu görülmüştür. İlerleme oranının delaminasyon ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli bir etkisi bulunmaktadır (Engin ve Yaka 2023).

8.000 dev/dak iş mili hızında 2.000 dev/dak iş mili hızına göre giriş delaminasyon değerlerinin genel olarak azaldığını ifade etmek mümkündür. Ancak 2.000 dev/dak iş mili hızında özellikle yüksek ilerleme hızlarında giriş delaminasyon faktörünün RCFE 040 ile daha fazla elde edildiği görülmektedir. Çıkış delaminasyon faktörlerinin giriş delaminasyon faktörlerine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. 2.000 dev/dak iş mili hızında en yüksek çıkış delaminasyon faktörü RRFE 040 ve RCFE 040 ile sırasıyla 1,953 ve 1,849 olduğu belirlenmiştir. 8.000 dev/dak iş mili hızında ise en yüksek çıkış delaminasyon faktörü RRFE 040 ve RCFE 040 ile sırasıyla 1,915 ve 1,830 olduğu görülmüştür. Çıkış delaminasyonları incelendiğinde RCFE 040’ın RRFE 040’dan daha avantajlı olduğu ifade edilebilir. İlerleme hızının artırılması ile kesme kuvvetlerinin ve oluşan delaminasyonların arttığı saptanmıştır. Fener mili hızının artırılmasıyla kesme kuvvetleri ve giriş delaminasyonu değerlerinin azaldığı görülmektedir. Ancak fener mili hızının artırılmasının; çıkış delaminasyon değerlerini farklı kesici takım geometrilerinde farklı etkilediği görülmektedir. Arttırılan fener mili hızı; helisel üç açılı kesici takımında (RRFE 040) çıkış delaminasyonunu

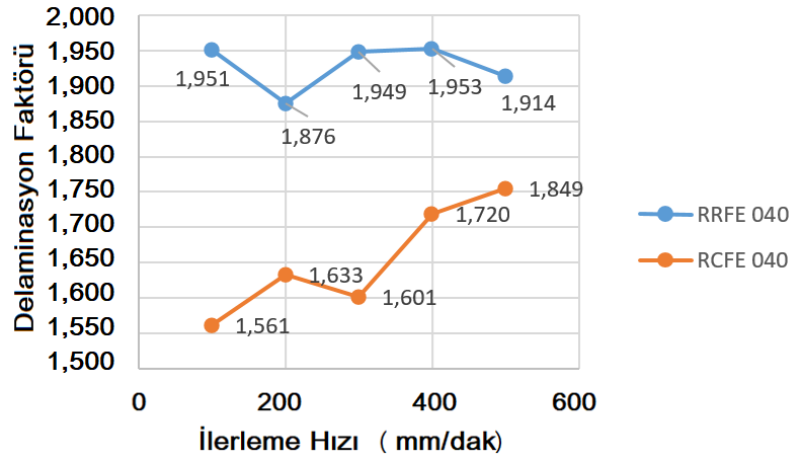
azaltırken; kırıcı özellikli iki ağızlı kesici takımında (RCFE 040) çıkış delaminasyonunu arttırdığı görülmektedir.



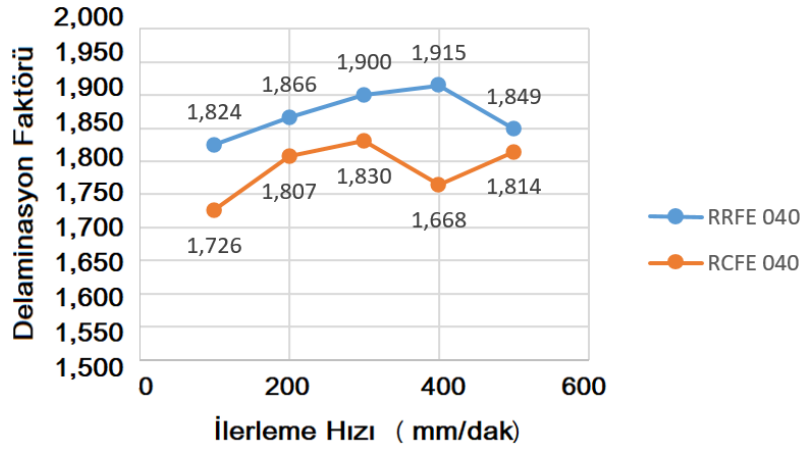
Şekil 8. RRFE 040 ve RCFE 040 kesici takımlarıyla 2.000 dev/dak iş mili hızı ile delinen deliklerde oluşan giriş delaminasyonları



Şekil 9. RRFE 040 ve RCFE 040 kesici takımlarıyla 8.000 dev/dak iş mili hızı ile delinen deliklerde oluşan giriş delaminasyonları



Şekil 10. RRFE 040 ve RCFE 040 kesici takımlarıyla 2.000 dev/dak iş mili hızı ile delinen deliklerde oluşan çıkış delaminasyonları



Şekil 11. RRFE 040 ve RCFE 040 kesici takımlarıyla 8.000 dev/dak iş mili hızı ile delinen deliklerde oluşan çıkış delaminasyonları

4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada Nomex balpeteği çekirdekli sandviç kompozit malzemenin iki farklı geometrideki kesici takım ile kuru şartlar altında delme işlemi, farklı kesme parametreleri kullanılarak yapılmıştır. Çapı 4 mm olan helisel üç ağızlı kesici takım ve aynı çapta kırıcı özellikli iki ağızlı kesici takım ile 2.000 ve 8.000 dev/dak fener mili hızı kullanılarak, 100, 200, 300, 400 ve 500 mm/dak ilerleme hızı ile desteksiz olarak delme işlemleri yapılmıştır. Deneysel çalışma sırasında tezgâh tablasına bağlanan dinamometre yardımıyla kesme kuvvetleri ölçülmüştür. Çalışma ile elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

- Deneysel sonuçlarında delme işlemlerinde, fener mili hızının artırılması ile kesme kuvvetlerinin azaldığı; aynı iş mili hızında, ilerleme hızı arttıkça kesme kuvvetlerinin arttığı görülmüştür.
- Aynı kesme parametreleri ile helisel üç ağızlı kesici takım (RRFE 040) ile açılan deliklerdeki giriş delaminasyonu değerlerinin, kırıcı özellikli iki ağızlı kesici takım (RCFE 040) ile açılan deliklerdeki giriş delaminasyon değerlerinden küçük olduğu görülmüştür.
- Fener mili hızının 2.000 dev/dak'dan 8000 dev/dak'ya çıkarılması ile oluşan giriş delaminasyonu değerleri azalmıştır. İlerleme hızı arttıkça giriş delaminasyonlarının artış eğiliminde olduğu görülmüştür. En küçük giriş delaminasyonu değerlerini elde etmek için yüksek fener mili hızı ve düşük ilerleme hızının seçilmesi gerektiği tespit edilmiştir.
- Çıkış delaminasyonu konusunda kırıcı özellikli iki ağızlı kesici takımın (RCFE 040), helisel üç ağızlı kesici takımdan (RRFE 040) daha başarılı performans sergilediği görülmüştür.

- Deneysel çalışmalardan elde edilen veriler sonucunda, oluşan kesme kuvvetleri ve delik kalitesi açısından en iyi sonuçları kırıcı özellikli iki ağızlı kesici takımın (RCFE 040) verdiği tespit edilmiştir.

Çalışma sonuçları incelendiğinde takım geometrisinin, ilerlemenin hızının ve iş mili hızının kesme kuvvetleri ve yüzey kusurlarını doğrudan etkilediği görülmüştür. Çalışma ile Nomex balpeteği sandviç yapıların delinmesinde, takım geometrisi ve kesme parametrelerinin seçimi ile ilgili literatüre katkı sağladığı görülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonunca desteklenmiştir. Proje Numarası: 0740-YL-21

Yazarların Katkısı

Tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yazarlar, makalenin tüm süreçlerinde “Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi” kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, karşılaşılabilecek etik ihlallerden Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi ve yayın kurulunun herhangi bir sorumluluğunun bulunmadığını, bu çalışmanın Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi dışında herhangi bir akademik yayın ortamında değerlendirilmediğini beyan ederler.

Kaynaklar

- Ahmad, S., Zhang, J., Feng, P., Yu, D., Wu, Z., ve Ke, M. (2020). Processing technologies for Nomex honeycomb composites (NHCs): A critical review. *Composite Structures*, 250, 112545.
- Demir, S., Kemiklioğlu, U. (2023). Yanal Yüzeylerinden Çentik Kanal Açılan Sandviç Kompozitlerin Eksenel Darbe Sonrası Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 9(1), 127-134.

- Engin, K. E., Harun, Y. A. K. A. (2023). Effect of drilling parameters on hole quality in drilling of pultruded GFRP composite material: Surface roughness, thrust force and delamination factor. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12(4), 1573-1580.
- Ergenççeği, F., (2023). Nomex kompozit malzemelerin işlenebilirliğinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Burdur.
- Esendemir, Ü., Başaran, Ö. (2023). Dairesel Delikli Kompozit Plakaların Düşük Hızlı Darbe Davranışlarının Deneysel Olarak İncelenmesi. *Teknik Bilimler Dergisi*, 13(2), 20-27.
- Ghabezi, P., Farahani, M., Shahmirzaloo, A., Ghorbani, H., & Harrison, N. M. (2020). Defect evaluation of the honeycomb structures formed during the drilling process. *International Journal of Damage Mechanics*, 29(3), 454-466.
- Gill, D. D., Yip-Hoi, D. M., Meaker, M., Boni, T., Eggeman, E. L., Brennan, A. M., & Anderson, A. (2017). Studying the mechanisms of high rates of tool wear in the machining of aramid honeycomb composites. *International Manufacturing Science and Engineering Conference 12*. Vol.50732.
- Jaafar, M., Atlati, S., Makich, H., Nouari, M., Moufki, A., ve Julliere, B. (2017). A 3D FE modeling of machining process of Nomex® honeycomb core: influence of the cell structure behaviour and specific tool geometry. *Procedia Cirp*, 58, 505-510.
- Khoran, M., Ghabezi, P., Frahani, M., ve Besharati, M. K. (2015). Investigation of drilling composite sandwich structures. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 76, 1927-1936.
- Knittel, D., Makich, H., ve Nouari, M. (2019). Milling diagnosis using artificial intelligence approaches. *Mechanics & Industry*, 20(8), 809.
- Kordsa, (2020). Technical Data Sheet 8909398, Kordsa Teknik Tekstil A.Ş., 2020.
- Kosalı, O., Kara, M. (2023a). Hidrotermal Yaşlandırılmaya Maruz Bırakılan Karbon Elyaf Epoksi Kompozit Boruların Kırılma Tokluklarının İncelenmesi. *Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences*, 10(27), 31-39.
- Kosalı, O., Kara, M. (2023b). Karbon Elyaf Epoksi Kompozit Boruların Kırılma Tokluğuna Nanopartikül Takviyesinin Etkisi, *Ejons international journal*, 7(2), 98-109.
- Kuş, A., Ekici, E. (2017). Sandviç Kompozitlerin Delinmesinde Delaminasyon Faktörünün İncelenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 22(3), 153-162.
- Mazumdar, S. (2001). *Composites manufacturing: materials, product, and process engineering*. CrC press.
- Potoğlu, U. (2012). Sandviç Kompozit Plakların Darbe Davranışları (Doktora Tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye.
- Taegutec Cutting Tools – RRFE 040 Catalog (2023), <https://www.imc-companies.com/taegutec/ttkcatalog/item.aspx?cat=6146656&fnum=10254&mapp=ML&app=401&GFSTYP=M&isoD=1>, (10.04.2023)
- Taegutec Cutting Tools – RCFE 040 Catalog (2023), <https://www.imc-companies.com/taegutec/ttkCatalog/item.aspx?cat=6146641&fnum=10255&mapp=IT&app=0&GFSTYP=M&isoD=1>, (10.04.2023)
- Tsai, S. W., & Hahn, H. T. (1980). *Introduction to composite materials*, Technomic Publ. Co., Westport.
- Xie, S., Jing, K., Zhou, H., ve Liu, X. (2020). Mechanical properties of Nomex honeycomb sandwich panels under dynamic impact. *Composite Structures*, 235, 111814.
- Yang, B., Wang, H., Chen, Y., Fu, K., ve Li, Y. (2021). Experimental evaluation and modelling of drilling responses in CFRP/honeycomb composite sandwich panels. *Thin-Walled Structures*, 169, 108279.
- Zarrouk, T., Salhi, J. E., Atlati, S., Nouari, M., Salhi, M., ve Salhi, N. (2022). Modeling and numerical simulation of the chip formation process when machining Nomex. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-8.