



KETP kompozitlerin delinmesinde delme parametrelerinin çekme kuvvetine etkisinin varyans analizi ile incelenmesi

Burak YENİGÜN*

Batman Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Batman

burak.yenigun@batman.edu.tr ORCID: 0000-0002-7260-3797, Tel: (488) 217 35 00 (3738)

Erol KILIÇKAP

Dicle Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır

ekilickap1@gmail.com ORCID: 0000-0001-5519-2917

Geliş: 21.12.2018, Revizyon 08.01.2019, Kabul Tarihi: 15.02.2019

Öz

Karbon elyaf takviyeli plastik (KETP) kompozitlerin kullanım alanlarının artmasıyla birlikte araştırmacıların bu malzemelere olan ilgisi artmaya başlamıştır. Artan bu ilgi KETP kompozitlerin talaşlı işlenmesi problemini de beraberinde getirmiştir. KETP kompozitlerin talaşlı işlenmesinde kullanılan en yaygın işleme yöntemi delme işlemidir. Ancak KETP kompozitlerin delme işlemlerinde deformasyon, kötü yüzey kalitesi, matris yanması gibi bazı problemler meydana gelmektedir. Bu problemler KETP kompozitlerin daha çabuk hasara uğramasına ya da atıl duruma gelmesine neden olmaktadır. Bu çalışmada, 0/90 elyaf yönlendirme açısına sahip KETP kompozitlerin delinmesinde takım tipi, ilerleme oranı ve iş mili devri gibi delme parametrelerinin KETP kompozitlerin çekme kuvveti üzerine etkileri incelenmiştir. İlk aşamada KETP kompozitler; 140° uç açısına sahip WC (Sert Karbür), 118° uç açısına sahip HSS (Yüksek Hız Çeliği) ve Ağaç (Brad Spur) kesici takımlarıyla 1000, 3000 ve 5000 dev/dk iş mili devirlerinde ve 0.05, 0.10 ve 0.15 mm/dev ilerleme oranlarında delinmiştir. İkinci aşamada takım uç geometrisinin ve malzemesinin, ilerleme oranının ve iş mili devrinin; KETP kompozitlerin kesme kuvveti, deformasyon faktörü, yüzey pürüzlülüğü ve çekme kuvveti üzerine etkileri incelenmiştir. Bu etkileri sayısal olarak tanımlamak için de varyans (Anova) analizi yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, KETP kompozitlerin delinmesinde kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü, deformasyon ve çekme kuvveti üzerinde en etkili parametrenin takım tipi olduğu görülmüştür. KETP kompozitlerin delinmesinde optimum parametrelerin WC takım tipi, 0.05 mm/dev ilerleme oranı ve 5000 dev/dk iş mili devri olduğu ve optimum delme parametrelerinde delinmesi durumunda çekme kuvvetinin %19 oranında daha yüksek elde edildiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çekme Kuvveti; Deformasyon Faktörü; Kesme Kuvveti; KETP; Varyans Analizi; Yüzey Pürüzlülüğü.

* Yazışmaların yapılacağı yazar

Giriş

Karbon elyaf takviyeli plastik (KETP) kompozitler iyi mekanik özelliklerinden dolayı birçok alanda kullanılmaktadır (Lin ve Tang, 1994; Montesano vd., 2017; Topkaya ve Solmaz, 2018). KETP kompozitler son şekle yakın üretilmelerine rağmen bazı durumlarda talaşlı işlenmesi gerekmektedir (Tao vd., 2016). Matris ve takviye elemanlarının farklı mekanik özelliklere sahip olması ve bunun yanında karbon elyaflarının da aşındırıcı özelliğe sahip olması KETP kompozitlerin talaşlı işlenmesini zorlaştırmaktadır (Geier ve Tibor, 2017; Singh vd., 2013). Delme işlemi, KETP kompozitlerin talaşlı işlenmesinde en sık kullanılan işleme yöntemidir (Saoudi vd., 2016). KETP kompozitlerin anizotropik özelliğe sahip olmasından dolayı bu malzemelerin delinmesinde elyaf kırılmaları, deformasyonlar ve mikro çatlaklar gibi delme hasarları meydana gelmektedir (Gaitonde vd., 2008; Panchagnula vd., 2017; Priarone vd., 2017). Bu durum KETP kompozitlerin dayanımlarını ve kullanım ömürlerini azalmaktadır (Bonnet vd., 2015; Dogrusadik ve Kentli, 2017; Klotz vd., 2017; Pandit 2017). Delme hasarlarından dolayı uçak sanayisinde üretilen malzemelerin %60'a yakını atıl duruma gelmektedir (Debnath ve Singh, 2017; Liu vd., 2012).

Araştırmacılar çalışmalarında KETP kompozitlerin delinmesinde meydana gelen delme hasarlarını engellemeye ya da en düşük seviyede tutmaya çalışmışlardır. KETP kompozitlerin delinmesinde delme parametreleri, takım uç geometrisi ve malzemesi delme kalitesi üzerinde önemli bir rol oynamaktadır. KETP kompozitlerde delme kalitesinin yüksek olması, KETP kompozitlerin çekme dayanımlarını ve yorulma ömürlerini, önemli derecede iyileştirmektedir.

Kılıçkap ve diğerleri (2017) CETP kompozitlerin delinmesinde delme parametrelerinin çekme dayanımına etkisini incelemişlerdir. Çalışmalarının sonucunda, kesme hızının ve ilerleme oranının artmasıyla

deformasyon faktörünün arttığını dolayısıyla da CETP kompozitin dayanımının azaldığını, WC takım kullanılarak 10 m/dk kesme hızı ve 0.1 mm/dev ilerleme oranında yapılan delme işlemlerinde CETP malzemenin dayanımının daha az düştüğünü açıklamışlardır. Nasır ve diğerleri (2015) keten elyaf takviyeli kompozitlerin delinmesinde delme koşullarının çekme dayanımı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Çalışmalarının sonucunda, dayanım kaybında takım uç tipinin ihmal edilebilir olduğunu ve en yüksek dayanımın; düşük ilerleme oranı ve yüksek iş mili devrinde yapılan delme işlemlerinde meydana geldiğini gözlemlemişlerdir. Pandit (2017) bir çalışmada farklı parametrelerde delinen kompozitlerin çekme dayanımlarını incelemiştir. İş mili devrinin çekme dayanımını etkileyen en önemli parametre olduğunu açıklamıştır.

Daha önce yapılan literatür çalışmalarında KETP kompozitlerin delme işleminde oluşan hasarlar ve bu hasarlara etki eden parametrelerin incelendiği görülmüştür. KETP kompozitlerin delinmesinde delme parametrelerinin ve takım malzemesinin kesme kuvveti, deformasyon, yüzey kalitesi ve çekme kuvveti üzerine etkisini içeren kapsamlı bir çalışmaya rastlanamamıştır. Bu çalışmada, KETP kompozitlerin delinmesinde iş mili devri ve ilerleme oranı gibi delme parametreleri ile takım uç geometrisi ve malzemesinin; kesme kuvveti, deformasyon faktörü, yüzey pürüzlülüğü ve çekme kuvveti üzerine etkileri incelenmiştir. Sonrasında KETP kompozitlerde optimum delme parametrelerini belirlemek için varyans analizi yapılmıştır.

Materyal ve yöntem

Materyal

Deneylerde kullanılan KETP kompozitler Innoma İnovatif Malzeme Teknolojileri San. ve Tic. Ltd. tarafından; 0/90 elyaf yönlendirme açısına sahip karbon elyafı ile polyester kullanılarak 500 mm x 500 mm x 6 mm ebatlarında üretilmiştir. Daha sonra çekme deneyleri için ASTM D5766–2002 standardına uygun olarak 150 mm x 36 mm x 6 mm ebatlarında kesilmiştir. KETP kompozitler 11

tabakadan meydana gelmektedir. Tablo 1’de bu çalışmada kullanılan KETP kompozitlerin özellikleri verilmiştir.

Tablo 1. KETP malzemelerin özellikleri

Malzeme	Karbon + Polyester
Hacim Oranı (%)	55+45
Yoğunluk (g/cm ³)	1.5
Çekme Dayanımı (MPa)	684.3

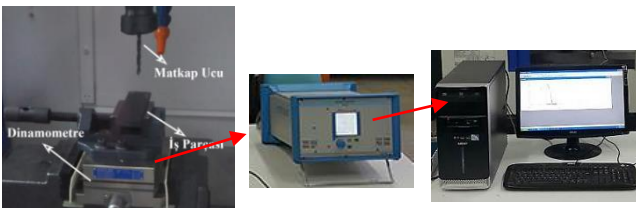
Delme İşlemi

KETP kompozitlerin delme işlemleri, Brother marka SPEEDIO S500x1 model CNC dik işleme merkezinde WC, HSS ve Ağaç takımları kullanılarak 1000, 3000 ve 5000 dev/dk iş mili devirlerinde ve 0.05, 0.10 ve 0.15 mm/dev ilerleme oranlarında soğutucu sıvı kullanılmadan her bir parametre için 3 defa tekrarlanarak gerçekleştirilmiştir. Delme parametreleri Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Delme parametreleri

Parametre	Seviye
Kesici Takım	WC, HSS, AĞAÇ
İş Mili Devri (dev/dk)	1000, 2000, 3000
İlerleme Oranı (mm/dev)	0.05, 0.10, 0.15

KETP kompozitlerin delinmesi esnasında meydana gelen kesme kuvvetlerini ölçmek için Kistler 9257B 3 eksenli dinamometre ile çok kanallı amplifikatör kullanılmıştır. Delme deney düzeneği ve kesme kuvveti ölçüm düzeneği Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Delme ve kesme kuvveti ölçüm düzeneği

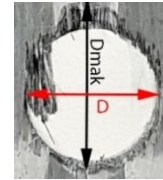
Yüzey Pürüzlülüklerinin Ölçümü

Delinen KETP kompozitlerin yüzey pürüzlülükleri TimeSurf T200 marka yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılmıştır.

Örnekleme uzunluğu 0.25 mm ve örnekleme sayısı 5 olarak alınmıştır. Her bir deliğin 4 farklı noktasından 3’er defa yüzey pürüzlülük değerleri ölçülerek ortalama yüzey pürüzlülükleri bulunmuştur.

Deformasyon Faktörünün Ölçümü

KETP kompozitlerin delinmesinde oluşan deformasyon faktörünü belirlemek için MedPro Microscopy marka MM800TRF model optik mikroskop kullanılmıştır. KETP kompozitlerin delinmesinde delik giriş ve çıkışında oluşan deformasyon faktörü; $Fd = \frac{D_{mak}}{D}$ formülü ile tespit edilmiştir. Şekil 2’de deformasyonun hesaplanmasına ait görüntü gösterilmiştir.



Şekil 2. Deformasyon faktörü

Çekme Kuvvetinin Tespiti

KETP kompozitlerin yüzey pürüzlülükleri ve deformasyon faktörleri tespit edildikten sonra 250 kN yük kapasitesine sahip Shimadzu Autograph AG-IC universal test cihazı kullanılarak çekme kuvvetleri tespit edilmiştir. Her bir parametre için çekme deneyleri 3 defa tekrarlanmıştır. Çekme deneyleri ASTM 3039 standardına uygun olarak 1 mm/dk çekme hızında gerçekleştirilmiştir. Çekme cihazına ait görüntü Şekil 3’te gösterilmiştir.



Şekil 3. Çekme deney cihazı

Varyans Analizi

KETP kompozitlerin delinmesinde, iş mili devri, ilerleme ve takım uç geometrisinin ve malzemesinin kesme kuvveti, deformasyon faktörü, yüzey pürüzlülüğü ve çekme kuvvetini hangi oranda etkilediğini belirlemek için yapılan varyans analizinde Minitab 16 yazılımı kullanılmıştır. Burada sinyal/gürültü (S/N) oranı belirlenmiş ve ana etki grafikleri elde edilmiştir. S/N oranının en büyük olduğu seviye optimum seviyeyi belirtmektedir.

DeneySEL sonuçlar

KETP kompozitlerin delme işlemleri; WC, HSS ve Ağaç takımlarıyla 1000, 3000 ve 5000 dev/dk iş mili devirlerinde ve 0.05, 0.10 ve 0.15 mm/dev ilerleme oranlarında CNC dik işleme tezgâhında gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneysel çalışma sonucunda elde edilen kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülükleri, deformasyon faktörleri ve çekme kuvvetleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. KETP kompozitlerin delinmesinde elde edilen deneysel sonuçlar

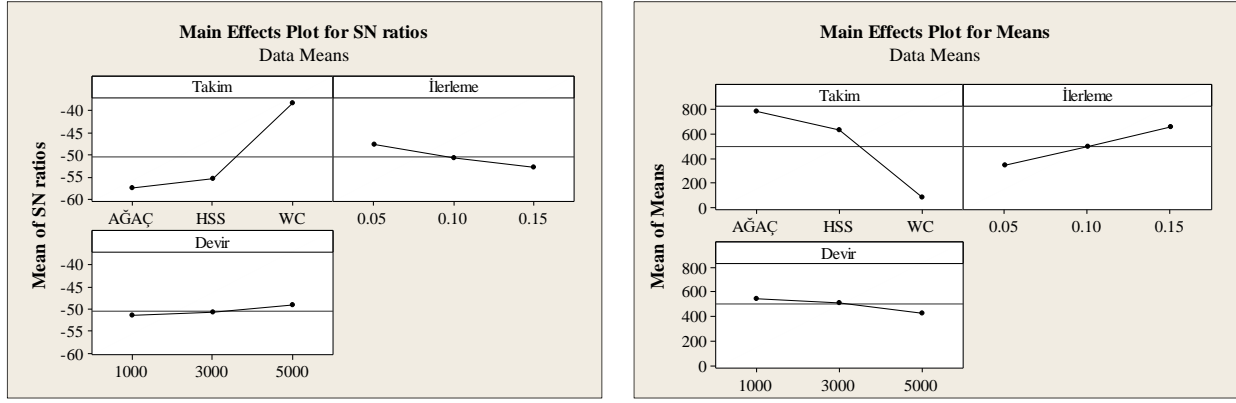
Kesici Takım	İlerleme Oranı (mm/dev)	Kesme Kuvveti (kN)			Yüzey Pürüzlülüğü			Deformasyon Faktörü			Çekme Kuvveti (MPa)		
		1000	3000	5000	1000	3000	5000	İş Mili Devri (dev/dk)			1000	3000	5000
								1000	3000	5000			
WC	0.05	77	68	59	2.65	1.71	1.27	1.27	1.24	1.22	98.7	100.3	101.4
	0.10	93	87	74	2.96	2.04	1.44	1.31	1.28	1.26	96.4	97.5	99.1
	0.15	108	101	86	3.22	2.42	1.79	1.33	1.31	1.29	93.7	95.3	96.2
HSS	0.05	501	406	271	3.14	2.79	2.24	1.34	1.31	1.29	92.6	97.0	99.4
	0.10	735	682	512	4.09	3.24	2.60	1.39	1.36	1.33	89.6	92.0	96.1
	0.15	937	891	787	4.69	3.62	3.00	1.44	1.40	1.36	87.5	89.5	93.3
AĞAÇ	0.05	633	593	511	4.27	4.01	3.41	1.43	1.40	1.36	88.1	93.2	97.1
	0.10	846	823	649	4.88	4.34	3.74	1.45	1.43	1.40	84.7	89.6	92.4
	0.15	1049	1003	953	5.67	4.63	3.96	1.49	1.47	1.45	82.0	82.5	89.3

Araştırmacılar iş mili devrinin artmasıyla delme kalitesinin arttığını (Pandit 2017; Paoletti 2003; Persson vd., 1997), ilerleme oranının artmasıyla da delme kalitesinin azaldığını tespit etmişlerdir (Pandit 2017; Paoletti 2003; Persson vd., 1997; Saleem 2010). Bu çalışmada literatür çalışmalarına paralel olarak, yüksek ilerleme oranlarında delme kalitesinin daha düşük olduğunu yani kesme kuvvetinin, yüzey pürüzlülüğünün ve deformasyonun daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ve bunlara bağlı olarak ta KETP kompozitlerin çekme kuvvetlerinin daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Diğer yandan yüksek iş mili devirlerinde ise daha iyi delme kalitesi elde edildiğinden KETP kompozitlerin çekme kuvvetlerinin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca en yüksek çekme kuvvetleri WC takım ile düşük ilerleme oranı ve yüksek iş mili devri ile gerçekleştirilen delme işlemlerinden elde edilirken, en düşük çekme kuvvetleri Ağaç takım ile yüksek

ilerleme oranı ve düşük iş mili devri ile gerçekleştirilen delme işlemlerinden elde edilmiştir.

Kesme kuvveti için varyans analizi

Takım tipinin, ilerleme oranının ve iş mili devrinin kesme kuvveti üzerine S/N ve ana etki grafiği Şekil 4'te gösterilmiştir. KETP kompozitlerde optimum parametreleri S/N değerlerinin en yüksek olduğu; WC takım, 0.05 mm/dev ilerleme oranı ve 5000 dev/dk iş mili devri olarak tespit edilmiştir. Tablo 4'te KETP kompozitlerin delinmesinde meydana gelen kesme kuvveti için varyans tablosu verilmiştir. KETP kompozitlerin delinmesinde meydana gelen kesme kuvveti üzerinde en etkili parametrelerin takım tipi (%77.4) ve ilerleme oranı (%13.7) olduğu görülmüştür. Ayrıca iş mili devrinin kesme kuvveti üzerindeki etkisi ihmal edilebilir düzeyde olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4. Kesme kuvveti için S/N ve ana etki grafikleri

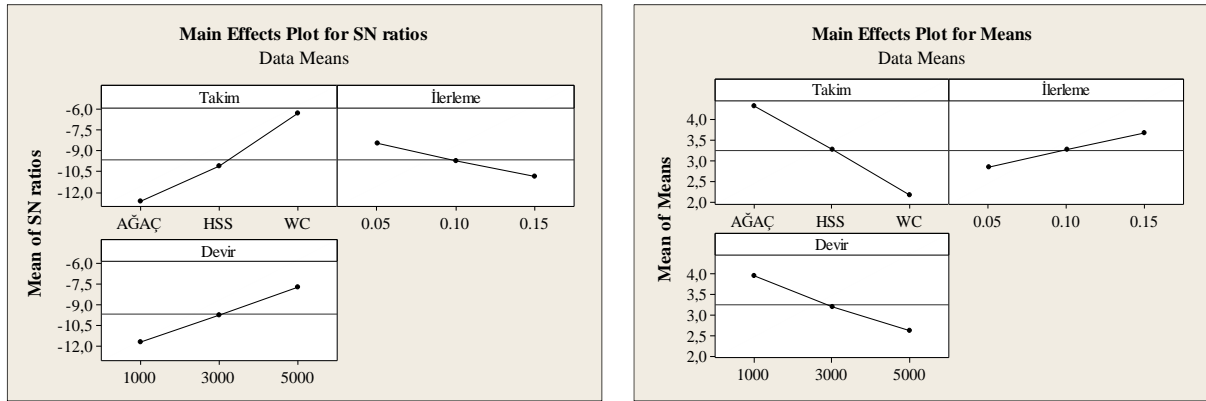
Tablo 4. Kesme kuvveti için Anova tablosu

Parametre	SD	KT	KO	F	YO
Kesici Takım	2	2,453,055	1,226,528	114.65	%77.4
İlerleme Oranı	2	434,354	217,177	20.30	%13.7
İş Mili Devri	2	67,749	33,874	3.17	%2.1
Hata	26	213,959	10,698	-	%6.7

SD: Serbestlik Derecesi, KT: Kareler Toplamı, KO: Kareler Ortalaması, YO: Yüzde Oranı

Yüzey pürüzlülüğü için varyans analizi

Yüzey pürüzlülüğüne etki eden; parametrelerin S/N ve ana etki grafikleri Şekil 5'te gösterilmiştir. Kesme kuvveti sonuçlarına benzer sonuçlar elde edilmiştir. Optimum parametreleri WC takım, 0.05 mm/dev ilerleme oranı ve 5000 dev/dk iş mili devri olarak tespit edilmiştir.



Şekil 5. Yüzey pürüzlülüğü için S/N ve ana etki grafikleri

Tablo 5'te yüzey pürüzlülüğü için varyans tablosu verilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili ikinci parametrenin takım tipinden (%77.4) sonra iş mili devri (%24.9) olduğu görülmüştür.

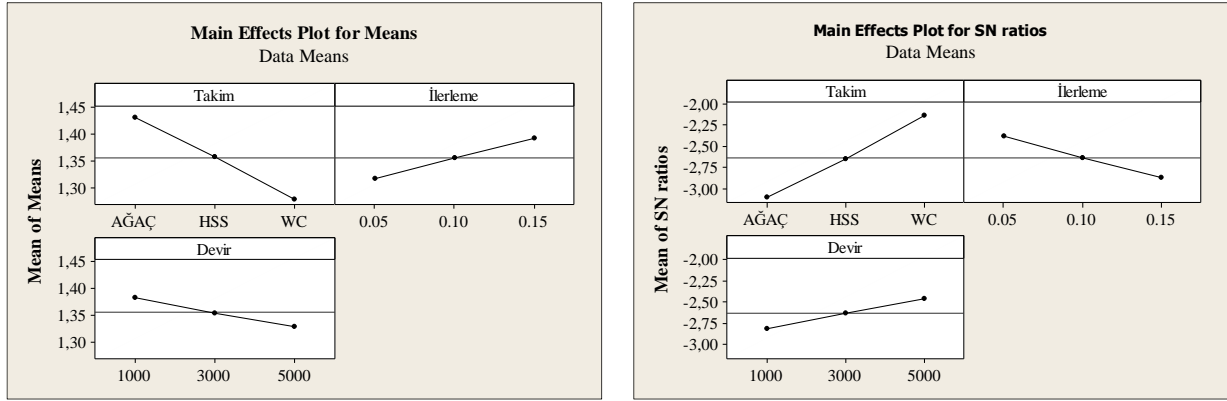
Tablo 5. Yüzey pürüzlülüğü için Anova tablosu

Parametre	SD	KT	KO	F	YO
Kesici Takım	2	20.9	10.4668	312.19	%63.6
İlerleme Oranı	2	3.13	1.5669	46.74	%9.5
İş Mili Devri	2	8.19	4.0991	122.26	%24.9
Hata	20	0.67	0.0335	-	%2.0

SD: Serbestlik Derecesi, KT: Kareler Toplamı, KO: Kareler Ortalaması, YO: Yüzde Oranı

Deformasyon faktörü için varyans analizi

Şekil 6'da takım tipinin, ilerleme oranının ve iş mili devrinin deformasyon faktörü üzerine S/N ve ana etki grafikleri gösterilmiştir. Önceki sonuçlara benzer olarak WC takım, 0.05 mm/dev ilerleme oranı ve 5000 dev/dk iş mili devri optimum parametreler olarak tespit edilmiştir. Tablo 6'da deformasyon faktörü için varyans tablosu verilmiştir. Deformasyon faktörü üzerinde en etkili olan parametrenin kesme kuvvetine benzer olarak takım tipi (%72.12) ve ilerleme oranı (%17.76) olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 6. Deformasyon faktörü için ana etki grafikleri

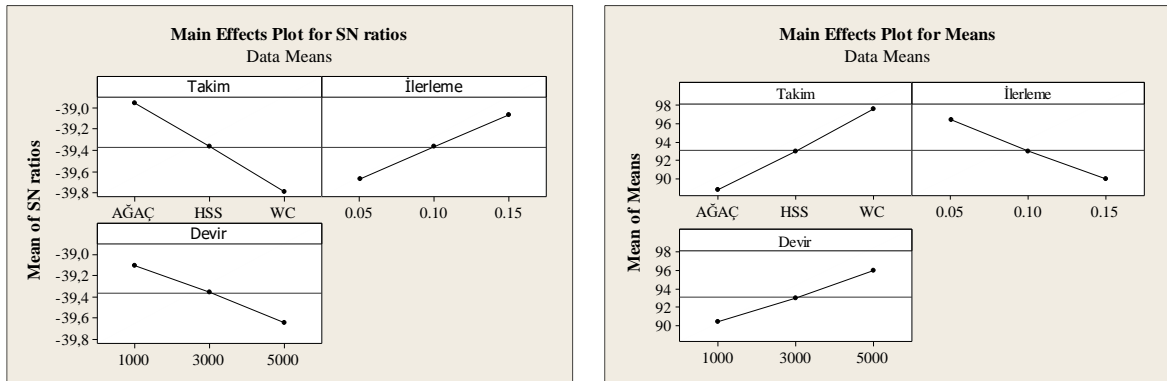
Tablo 6. Deformasyon faktörü için Anova tablosu

Parametre	SD	KT	KO	F	YO
Kesici Takım	2	0.1043	0.0522	804.74	%72.12
İlerleme Oranı	2	0.0257	0.0128	198.23	%17.76
İş Mili Devri	2	0.0133	0.0067	102.91	%9.22
Hata	20	0.0013	0.0001		%0.9

SD: Serbestlik Derecesi, KT: Kareler Toplamı, KO: Kareler Ortalaması, YO: Yüzde Oranı

Çekme kuvveti için varyans analizi

Takım tipinin, ilerleme oranının ve iş mili devrinin çekme kuvveti üzerine S/N oranı ve ana etki grafikleri Şekil 7'de gösterilmiştir. Optimum parametreler olarak WC takım, 0.05 mm/dev ilerleme oranı ve 5000 dev/dk iş mili devri tespit edilmiştir. Çekme kuvveti için varyans tablosu Tablo 7'de verilmiştir. Çekme kuvveti üzerinde en etkili parametrelerin takım tipi (%48.4) ve ilerleme oranı (%26.08) olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 7. Çekme kuvveti için ana etki grafikleri

Tablo 7. Çekme kuvveti için Anova tablosu

Parametre	SD	KT	KO	F	YO
Kesici Takım	2	353.12	176.56	85.49	%48.41
İlerleme Oranı	2	190.22	95.11	46.05	%26.08
İş Mili Devri	2	144.77	72.38	35.05	%19.85
Hata	20	41.31	2.07		%5.66

SD: Serbestlik Derecesi, KT: Kareler Toplamı, KO: Kareler Ortalaması, YO: Yüzde Oranı

Sonuçlar ve tartışma

0/90 elyaf açısına sahip KETP kompozitler WC, HSS ve Ağaç takımlarıyla 1000, 3000 ve 5000 dev/dk iş mili devirlerinde ve 0.05, 0.10 ve 0.15 mm/dev ilerleme oranlarında CNC dik işleme tezgâhında delinmiştir. Delme işlemi esnasında kesme kuvvetleri sonrasında ise deformasyon faktörleri ve yüzey pürüzlülükleri ölçülmüştür. Son aşamada ise farklı

parametrelerde delinmiş KETP kompozitlerin çekme kuvvetleri tespit edilmiştir. Delme parametrelerinin kesme kuvveti, deformasyon faktörü, yüzey pürüzlülüğü ve çekme kuvveti üzerine etkilerini belirlemek için varyans (Anova) analizleri yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda;

- 0/90 elyaf açısına sahip KETP kompozitler için en uygun takımın WC takım olduğu,
- En uygun ilerleme oranının 0.05 mm/dev düşük ilerleme olduğu,
- En uygun iş mili devrinin 5000 dev/dk olduğu yüksek iş mili devri olduğu,
- Kesme kuvveti, deformasyon faktörü, yüzey pürüzlülüğü ve çekme kuvveti üzerinde en etkili parametrenin takım tipi olduğu
- En uygun delme parametrelerde gerçekleştirilen delme işlemlerinde KETP'in çekme kuvvetinde %19'luk bir kaybın engellenebileceği tespit edilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma, Batman Üniversitesi BTÜBAP-2016-DOKTORA-1 numaralı proje ile desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Bonnet, C., Poulachon, G., Rech, J., Girard, Y. ve Costes, J.P. (2015). CFRP drilling: Fundamental study of local feed force and consequences on hole exit damage, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 94, 57–64.
Doi: 10.1016/j.ijmactools.2015.04.006
- Debnath, K. Ve Singh, I. (2017). Low-frequency modulation-assisted drilling of carbon-epoxy composite laminates, *Journal of Manufacturing Processes*, 25, 262–273.
Doi: 10.1016/j.jmapro.2016.12.009
- Dogrusadik, A. ve Kentli, A. (2017). Comparative assessment of support plates' influences on delamination damage in micro-drilling of CFRP laminates, *Composite Structures*, 173, 156–167.
Doi: 10.1016/j.compstruct.2017.04.031
- Gaitonde, V.N., Karnik, S.R., Rubio, J.C., Correia, A.E., Abrao, A.M. ve Davim, J.P. (2008). Analysis of parametric influence on delamination in high-speed drilling of carbon fiber reinforced

- plastic composites, *Journal of Materials Processing*, 203, 431-438
Doi: 10.1016/j.jmatprotec.2007.10.050
- Geier, N. ve Szalay, T. (2017). Optimisation of process parameters for the orbital and conventional drilling of uni-directional carbon fibre-reinforced polymers (UD-CFRP), *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 110, 319–334.
Doi: 10.1016/j.measurement.2017.07.007
- Kılıçkap, E., Yenigun, B. ve Çelik, Y.H. (2017). The Effect of Drilling Parameters on Strength of Glass Fibre-Epoxy Laminates By Produced Hand Lay-Up, *Engineering Sciences*, 12, 246–254.
Doi: 10.12739/NWSA.2017.12.4.1A0391
- Klotz, S., Lepold, A., Zanger, F. ve Schulze, V. (2017). Experimental Investigation of Clamping Systems and the Resulting Change of Cutting Conditions while Drilling Carbon Fiber Reinforced Plastics, *Procedia CIRP*, 62, 15–20.
Doi: 10.1016/j.procir.2016.06.089
- Lin, H.J. ve Tang, C.S. (1994). Fatigue strength of woven fabric composites with drilled and moulded-in holes, *Composites Science and Technology*, 52(4), 571–576.
Doi: 10.1016/0266-3538(94)90040-X
- Liu, D.F., Tang, Y.J. ve Cong, W.L. (2012). A review of mechanical drilling for composite laminates, *Composite Structures*, 94,4, 1265–1279.
Doi: 10.1016/j.compstruct.2011.11.024
- Montesano, J., Bougherara, H. ve Fawaz, Z. (2017). Influence of drilling and abrasive water jet induced damage on the performance of carbon fabric/epoxy plates with holes, *Composite Structures*, 163, 257–266.
Doi: 10.1016/j.compstruct.2016.12.007
- Nasir, A.A. A., Azmi, A.I. ve Khalil, A.N.M. (2015). Parametric Study on the Residual Tensile Strength of Flax Natural Fibre Composites after Drilling Operation, *Procedia Manufacturing*, 2, 97–101.
Doi: 10.1016/j.promfg.2015.07.017
- Panchagnula, K.K. ve Palaniyandi, K. (2017). Drilling on fiber reinforced polymer/nanopolymer composite laminates: a review, *Journal of Materials Research and Technology*, 7,2, 180–189.
Doi: 10.1016/j.jmrt.2017.06.003
- Pandit, G.D. (2017). Experimental Study of Residual Tensile Strength of Drilled Composite. International, *Journal of Materials Science and Engineering*, 5(1), 35–46.

- Paoletti, A. (2003). The influence of drilling parameters and hole damage on GFRP composites fatigue strength, *Transactions on Engineering Sciences*, 40,273-282.
- Persson, E., Eriksson, I. ve Zackrisson, L. (1997). Effects of hole machining defects on strength and fatigue life of composite laminates, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 28(2), 141–151.
Doi: 10.1016/S1359-835X(96)00106-6
- Priarone, P.C., Robiglio, M., Melentiev, R. ve Settineri, L. (2017). Diamond Drilling of Carbon Fiber Reinforced Polymers: Influence of Tool Grit Size and Process Parameters on Workpiece Delamination, *Procedia CIRP*, 66, 181–186.
Doi:10.1016/j.procir.2017.03.296
- Saleem, M. (2010). Analytical and experimental investigation of the effects of the machining processes on the mechanical behaviour of carbon epoxy composite laminates, Ryerson University.
- Saoudi, J., Zitoune, R., Gururaja, S., Mezlini, S. ve Haggaji, A.A. (2016). Prediction of critical thrust force for exit-ply delamination during drilling composite laminates: thermo-mechanical analysis. International, *Journal of Machining and Machinability of Materials*, 18(1/2), 77.
Doi: 10.1504/IJMMM.2016.075464
- Singh, A.P., Sharma, M. ve Singh, I. (2013). A review of modeling and control during drilling of fiber reinforced plastic composites, *Composites Part B: Engineering*, 47, 118–125.
Doi:10.1016/j.compositesb.2012.10.038
- Tao, C., Qiu, J., Yao, W. ve Ji, H. (2016). The effect of drilling-induced delamination on tensile strength and prediction of residual strength of carbon fiber-reinforced polymer laminate, *Journal of Composite Materials*, 50(24), 3373–3384.
Doi: 10.1177/0021998315620292
- Topkaya, T. ve Solmaz, M. Y. (2018). Investigation of low velocity impact behaviors of honeycomb sandwich composites, *Journal of Mechanical Science and Technology*, 32(7), 3161–3167.
Doi: 10.1007/s12206-018-0619-5
- Turan, K., Kaman, M. O. ve Gur, M. (2015). Progressive failure analysis of laminated composite plates with two serial pinned joints, *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, 22, 839–849.
Doi: 10.1080/15376494.2012.761302

Determination of the influence of the machining parameters on the tensile load in CFRPs by analysis of variance

Extended abstract

Carbon fiber reinforced plastic (CFRP) composites are obtained by reinforcement carbon fibers into epoxy without chemical interaction and dissolution in order to have the desired mechanical property. Carbon fibers improve rigidity, strength, corrosion resistance, electrical resistance, tribological properties, weight, wear resistance of the materials.

Recently, the interest in the application of CFRP composites has started to increase in both industries and research areas. However, this situation has caused the problem of machining of CFRP. The most common method used in machining of CFRP composite is drilling. But some problems occur with the drilling of CFRP such as deformation, poor surface quality, and matrix burning. These problems cause the CFRP composite to be damaged more quickly or to become waste.

In this study, the effects of drilling conditions of CFRP composites having a 0/90 fiber orientation angle which was subjected to tensile loads were investigated. First, CFRP composites were drilled at spindle speeds of 1000, 3000 and 5000 rpm and feed rates of 0.05, 0.10 and 0.15 mm/rev with HSS (High Speed Steel), WC (Tungsten Carbide) and Brad Spur tool types. Then, the variance analyses (ANOVA) were applied to determinate the effects of drilling parameters, tool type and material on cutting force, deformation factor, surface roughness, and tensile load.

As a result of the study, it was seen that the most effective parameter on cutting force, surface roughness, deformation, and the tensile load was tool type. However, it was also determined that the optimum parameters were WC tool type, the feed rate with the value of 0.05 mm/rev and the spindle speed with the value of 5000 rpm. In addition, the tensile load of CFRP composite drilled with optimum parameters was 19% higher than the worst one.

Keywords: *Analysis of Variance; CFRP; Cutting Force; Deformation Factor; Surface roughness; Tensile load.*