ResearchGate

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: https://www.researchgate.net/publication/360939057

CFRP/Ti6Al4V Metalik Yığının Delinmesinde Kesme Parametreleri ve Delme Stratejisinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

Conference Paper · May 2022

CITATIONS
0

READ
1

2 authors:



Ergün Ekici
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
42 PUBLICATIONS **510** CITATIONS
SEE PROFILE



Ali Riza Motorcu
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
112 PUBLICATIONS **865** CITATIONS
SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:

KBÜBAP-21-YL-073 View project

Çanakkale Onsekiz Mart University Scientific Research Projects Unit for support of the project (No.FBA-2019-3170) View project

All content following this page was uploaded by Ali Riza Motorcu on 30 May 2022.

The user has requested enhancement of the downloaded file.

CFRP/Ti6Al4V METALİK YIĞININ DELİNMESİNDE KESME PARAMETRELERİ VE DELME STRATEJİSİNİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİ

Ergün EKİCİ, Ali Riza MOTORCU
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çanakkale / Türkiye

Öz: Bu çalışmada havacılık ve uzay endüstrisinde yaygın kullanılan CFRP/Ti6Al4V metalik yığınların delinmesinde, işleme parametreleri ve delme stratejisinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Deneylerde CFRP→Ti6Al4V (*Ds1*;CFRP'den Ti6Al4V'ye) ve Ti6Al4V→CFRP (*Ds2*;Ti6Al4V'den CFRP'ye) olmak üzere iki farklı delme stratejisi kullanılmıştır. Delme deneyleri kaplamasız kademeli karbür matkaplar kullanılarak farklı ilerleme miktarı (0.04, 0.052 ve 0.067 mm/dev) ve kesme hızı (14, 18.2 ve 23.7 m/dak) değerlerinde dik işleme merkezinde kuru delme şartlarında gerçekleştirilmiştir. İlerleme miktarı, kesme hızı ve delme stratejisinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amacıyla varyans analizi (AOVA) uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; CFRP'nin delinmesinde deliklerin yüzey pürüzlülük değerleri Ti6Al4V alaşımına göre ortalama %81.13 oranında daha büyük elde edilmiştir. CFRP→Ti6Al4V delme stratejisi ile kıyaslandığında Ti6Al4V→CFRP (Ti6Al4V'den CFRP'ye) delme stratejisi ile delmede delik yüzey pürüzlülüğü ortalama %49.55 oranında daha büyük çıkmıştır. Hem CFRP hem de Ti6Al4V bileşeni için delme stratejisi fark etmeksizin ilerleme miktarının artmasıyla deliklerin yüzey pürüzlülük değerleri artmıştır. Ti6Al4V bileşenin delik yüzey pürüzlülükleri üzerinde parametrelerin etki sırası kesme hızı, delme stratejisi şeklinde iken CFRP'de delme stratejisi, ilerleme miktarı ve kesme hızı şeklindedir. Yığının bileşenleri ayrı ayrı değerlendirildiğinde, Ti6Al4V bileşenini en düşük kesme hızlarında işlendiğinde deliklerin yüzey kalitesi iyileşmekte iken CFRP'nin deliklerinin yüzey kalitesi kötüleşmektedir. Tam tersi durumda, yüksek kesme hızlarında Ti6Al4V'nin deliklerinin yüzey kalitesi kötüleşmekte, CFRP'nin azalmaktadır.

Anahtar Kelimeler: CFRP/Ti6Al4V Metalik Yığın, Yüzey Pürüzlülüğü, Delik Delme, ANOVA

GİRİŞ ve KURAMSAL ÇERÇEVE

Havacılık ve uzay endüstrisinin yüksek performanslı malzemelere olan talebi nedeniyle, imalat endüstrisi karma yığınlar geliştirmekte ve sürekli olarak karma yığınların gelişimini teşvik etmektedir (Xu vd., 2015). CFRP (karbon fiber takviyeli polimer) ve Ti6Al4V'den oluşan çok katmanlı sandviçler, modern havacılık endüstrisinde yaygın olarak kullanılan karma kompozit yığınların tipik örnekleridir (Alonso vd., 2019; Xu J. ve Mansori M.E. 2016). Bu tür karma CFRP/Ti kombinasyonu, bireysel zayıflıklarını en aza indirirken (CFRP'nin yüksek spesifik sertlik, iyi korozyon direnci, mükemmel yorulma mukavemeti; titanyumun yüksek mukavemet/ağırlık oranı, yüksek kırılma direnci gibi) her iki malzemenin avantajlarını sunar (Xu vd., 2015; Kim vd., 2015). Bu karma yapılar çoğunlukla cıvata ve perçin bağlantılarla sabitlendiğinden, yığın deliği delme kaçınılmaz ve önemli bir süreç haline gelir (Qiu vd., 2021). Montaj sonrasında konumsal doğruluğu ve sıkı toleransı garanti etmek için her bir malzeme katmanını ayrı ayrı delmek yerine kompozit metal yığınlarında bağlantı elemanı delikleri genellikle birlikte delinir (Park vd., 2014; Kim vd., 2015). Bununla birlikte, Ti (Titanyum) ve CFRP'nin termal ve mekanik özelliklerindeki muazzam farklılıklar nedeniyle CFRP/Ti6Al4V yığınlarının yüksek kalitede işlenmesi büyük zorluklar teşkil etmektedir (Xu, vd., 2019-1; Xu, vd., 2019-2). CFRP/Ti6Al4V yığınlarının işlenmesinde kompozitten metale ve metalden kompozite delme olmak üzere iki farklı delme sırası mevcuttur. Kompozit veya metal tabakadaki hasarlar, genellikle, işlenmiş yapısal parçaların montaj toleransını ve servis performansını kötüleştirir. Bu nedenle delme davranışını belirlemek ve karma yığınların işlenebilirliğini geliştirmek büyük önem taşımakta, literatürde bu konuda araştırmalar sürdürülmek-

tedir. Xu vd. (2020), farklı kesme sırası stratejileri altında CFRP/Ti6Al4V yığınlarının delinmesinde sıcaklıkların delik yüzey morfolojileri ve takım aşınması üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Sonuçlar, Ti'den CFRP'ye delme işleminin, yığın itme kuvvetlerinin azaltılmasına, kompozit yüzey morfolojilerinin iyileştirilmesine ve çıkış Ti çapak yüksekliklerinin azalmasına fayda sağlarken kompozit kesme sıcaklıklarının daha yüksek büyüklüklerine yol açtığını göstermektedir. Xu vd. (2022), CFRP/Ti6Al4V yığınlarının işlenmesin farklı kesme sırası stratejileri bakımından stres ve sıcaklık dağılımının arayüz hasar oluşumu üzerindeki etkilerini Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM) yardımıyla ortaya koymaya çalışmışlardır. Jia vd. (2020), kritik matkap yapısını belirlemek için tipik bir kademeli matkap ucu kullanılarak Ti/CFRP yığınının delme hasarlarını analiz etmişlerdir. Ardından, kritik ikinci kesme kenarı tarafından yapılan finiş kesmeyi iki boyutlu bir kesme modeli ile analiz ederek kesme derinliğinin kalite ve boyutsal doğruluk üzerindeki etkilerini belirlemişlerdir. Çalışmada ayrıca, bir kesme derinliği kontrol stratejisi gerçekleştirmek için kademeli matkap ucunun ikinci adımında çok kenarlı bir yapı önerilmiş ve kesme işlemleri geometrik olarak ortaya çıkarılmıştır. An vd. (2021), CFRP/Ti yığınları için delme stratejilerinin açık delikli CFRP laminatların statik mekanik özelliği ve yorulma davranışı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Xu ve Mansori (2016), farklı takım geometrileri/malzemeleri ve delme sırası stratejileri belirleyerek karma CFRP/Ti yığınlarının delinmesi üzerine bir dizi deneysel çalışma yürütmüşlerdir. Yüzey pürüzlülüğü için ilerleme miktarı delinmiş delik yüzey kalitesini büyük ölçüde etkileyen önemli bir faktör olarak kesme hızının etkisi belirsiz ve önemsiz olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, tüm denemeler sonucunda Ti bileşenindeki delinmiş deliklerin pürüzlülük aritmetik ortalaması (*Ra*) değerlerinin 1.6 µm kriter değerinin altında tamamen kontrol edildiği bulunurken işlenmiş CFRP delikler için Ra değerleri kullanılan kesme parametrelerine büyük ölçüde bağlı olmakla birlikte kısmen 3.2 µm altında elde edilmiştir. Kayıhan vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada ise işleme parametreleri ve istif sırasının kesme kuvveti, tork ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri incelenmiştir.

AMAÇ

Bu çalışmada CFRP/Ti6Al4V metalik yığınlarının farklı delme stratejisi ve delme parametrelerine (ilerleme miktarı ve kesme hızı) bağlı olarak delinmesinde ortalama yüzey pürüzlülüğü deneysel olarak araştırılmıştır. Ayrıca delme parametreleri ve delme stratejisinin etki oranları varyans analizi (ANOVA) yardımıyla değerlendirilmiştir.

KAPSAM

Bu deneysel çalışmada, CFRP/Ti6Al4V yığınların kademeli kaplamsız karbür matkaplarla delinmesinde delme parametreleri ve delme stratejisinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Kademeli karbür matkaplar ile üç farklı kesme hızı ve üç farklı ilerleme miktarında delme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Delme parametreleri ve delme stratejisinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki bireysel etkileri varyans analizi (ANOVA) yardımıyla incelenmiştir.

YÖNTEM

CFRP/Ti6Al4V karma metalik yığın malzeme; 5 mm kalınlığında Ti6Al4V alaşımı (Kalite 5) ve %64 elyaf ve %36 reçine içeriğinde, vakum infüzyon yöntemi ile üretilen 5 mm kalınlığındaki CFRP plakadan oluşmaktadır. CFRP kompozit numunenin üretiminde iki farklı dokuma (3K 245 gr/m^2 ve 12K 450 gr/m^2) karbon kumaş; en alt sıra 2 kat 245 gr/m², orta sıra 11 kat 450 gr/m² ve en üst 2 kat 245 gr/m² şeklinde kullanılmıştır. F-RES 11564/F-HARD 13486 kodlu epoksi reçine tercih edilmiştir. CFRP ve Ti6Al4V plakalar 200x100x5 mm boyutlarında kesilerek cıvatalı bağlantı ile yığın haline getirilmiştir. Delme deneylerinde, çapı 6.35 mm, TS ISO

235, uç açısı 135°, sağ kesme yönlü, silindirik saplı kısa CoroDrill 452 (452.4-0635034A0-CM H10F) kaplamasız kademeli karbür helisel matkaplar kullanılmıştır. Bu kesici takımlar Ti alaşımları, CFRP kompozitler ve CFRP/Ti6Al4V yığınların işlenmesinde tercih edilmektedir (Motorcu, A.R. ve Ekici, E. 2020). İşlenebilirlik deneylerinde, her deneye yeni (daha önceki deneylerde kullanılmamış) bir kesici takım ile başlanmış ve deneyler kuru kesme şartları altında yapılmıştır. İşlenebilirlik deneyleri FALCO VMC 550 CNC dik işleme merkezinde yapılmıştır. CFRP/Ti6Al4V karma metalik yığınlar, havacılık ve uzay uygulamalarında farklı dizilimlerle (CFRP/Ti, Ti/CFRP veya CFRP/Ti/CFRP katmanlar halinde) kullanılabilmektedirler. Bu durumda CFRP ve Ti alaşımın konumu değişmektedir. CFRP/Ti6Al4V metalik yığınların delinmesinde delik kalitesi kesme parametreleri, takım geometrisi ve işleme yönteminin yanı sıra delme stratejisinden de (CFRP ve Ti alaşımının konumdan) etkilenmektedir. Dolayısıyla bu çalışmada Şekil 1'de gösterildiği gibi; CFRP→Ti6Al4V (*Ds1*;CFRP'den Ti6Al4V'ye) ve Ti6Al4V→CFRP (*Ds2*;Ti6Al4V'den CFRP'ye) olmak üzere iki farklı delme stratejisinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi araştırılmıştır (Şekil 1). Delme deneylerinde 3 farklı ilerleme miktarı (0.04, 0.052 ve 0.067 mm/dev) ve üç farklı kesme hızı (14, 18.2 ve 23.7 m/dak) kullanılmıştır.



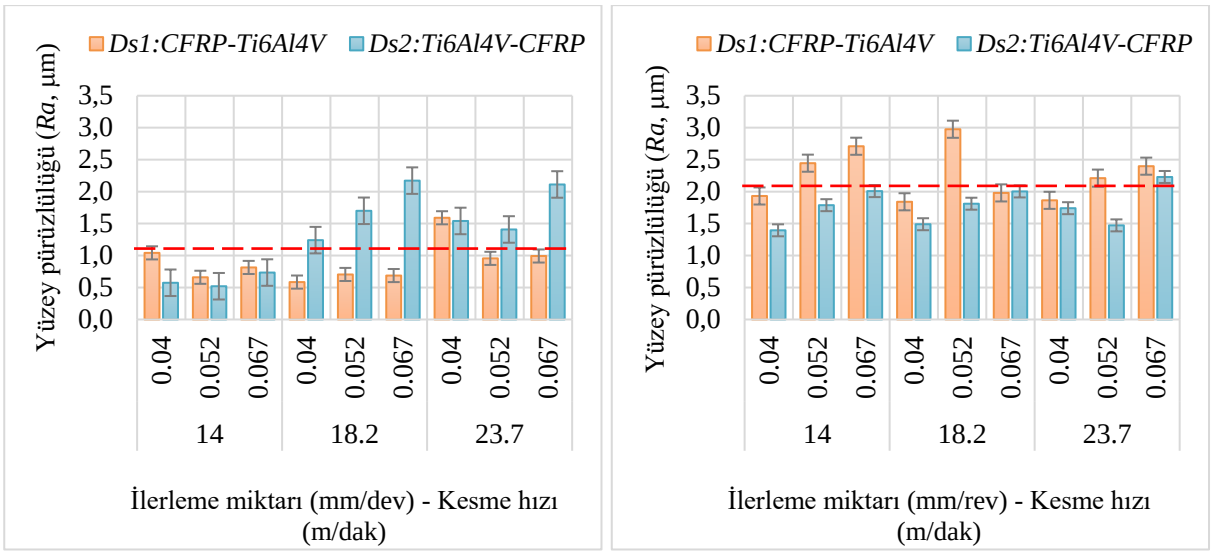
a) *Ds1*: CFRP→Ti6Al4V b) *Ds2*: Ti6Al4V→CFRP

Şekil 1. Delme stratejisi

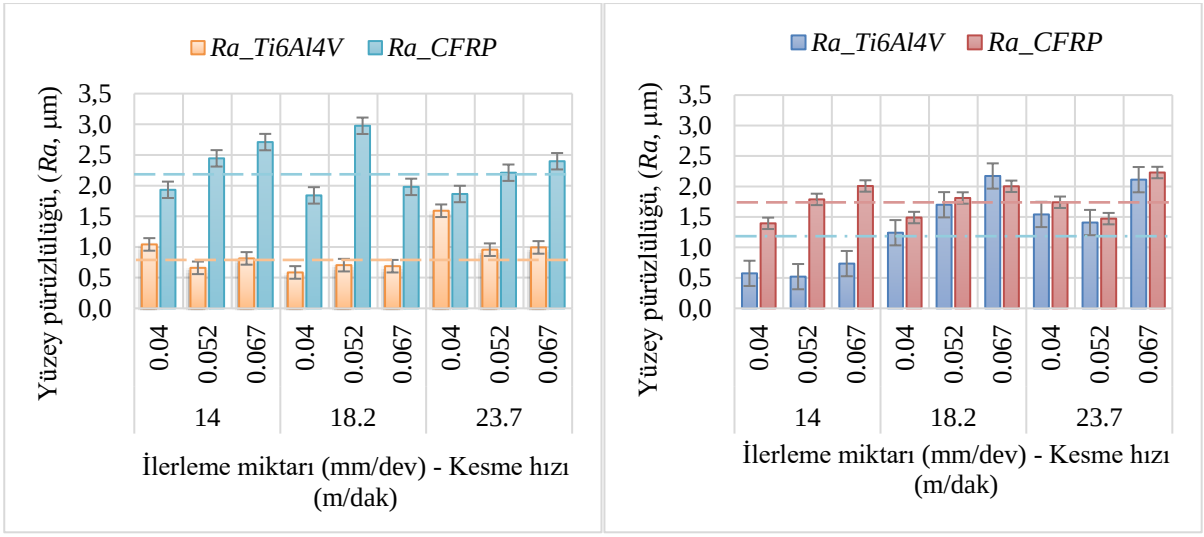
Yüzey pürüzlülük ölçümleri Mitutoyo Surftest 201 Yüzey Pürüzlülük cihazı kullanılarak yapılmıştır. Delinen her bir delik için delik yüzeylerinin çevresinden eşit açılarla olmak üzere 5'er adet yüzey pürüzlülük ölçümü gerçekleştirilmiştir. Ölçüm mesafesi (λc)=2.5 mm olarak ayarlanmıştır. Bu çalışmada delik yüzeylerinin yüzey pürüzlülüklerini tanımlamak amacıyla *Ra* değerleri esas alınmıştır.

BULGULAR

İşleme parametreleri ve delme stratejisine bağlı olarak Ti6Al4V için elde edilen *Ra* sonuçları Şekil 2.a'da, CFRP için *Ra* sonuçları Şekil 2.b'de ve delme stratejisine bağlı olarak *Ra* sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 2.c ve d'de sunulmuştur. Ti6Al4V alaşımı için 0.520-2.172µm aralığında *Ra* değerleri ölçülmüş (Şekil 2.a) iken CFRP kompozit için 1.395-2.976µm aralığında *Ra* değerleri ölçülmüştür (Şekil 2.b).



a) Ti6Al4V b) CFRP



c) *Ds1*: CFRP→Ti6Al4V d)*Ds2*: Ti6Al4V→CFRP

Şekil 2. Delme parametreleri ve stratejilerine bağlı olarak elde edilen *Ra* sonuçları. a) Ti6Al4V için, b) CFRP için, c) *Ds1* için ve d) *Ds2* için

Ra_Ti6Al4V ve *Ra_CFRP* için sırasıyla ortalama 1.113µm ve 2.016µm yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir (Şekil 2.a,b). Literatürde de CFRP için 1.8µm - 6.3µm aralığında, Ti6Al4V alaşımı için ise 1.1µm - 3.1µm aralığında *Ra* değerleri elde edilmiştir (Isbilir O. ve Ghassemieh E., 2013). *Ds1*'e kıyasla *Ds2* ile delmede *Ra* yüzey pürüzlülük değerleri Ti6Al4V alaşımı için ortalama %33 oranında artmıştır. Düşük kesme hızında tüm ilerleme şartlarında *Ds1*'de daha düşük *Ra* değerleri elde edilirken 18.2 m/min kesme hızında artan ilerleme miktarına paralel bir şekilde *Ra* değerleri artmıştır. Benzer eğiliminin en yüksek kesme hızı (23.7 m/dak) ve ilerleme miktarı (0.067 mm/rev) değerinde de devam ettiği görülmüştür (Şekil 2.a). Diğer yandan *Ds1*'e kıyasla *Ra* değerleri *Ds2*'de CFRP için %27.73 oranında azalmıştır (Şekil 2.b). *Ds1*'de aşırıcı sıcak Ti talaşları CFRP delik duvarlarında yüksek düzeyde mekanik ve termal bozulmaya neden olur. Bu durum karbon/epoksi yüzeylerinde mikro çatlak ve kesilmiş yüzeylerden çıkan yumuşatılmış matris nedeniyle *Ra* değerlerini arttırır (Xu vd., 2020). CFRP'nin delinmesinde deliklerin *Ra* yüzey pürüzlülük değerleri

Ti6Al4V alaşımına göre ortalama %81.13 oranında daha büyük çıkmıştır. Delinmiş CFRP'nin yüzeyinde nispeten daha büyük yüzey pürüzlülüğünün birçok nedeni olmasına rağmen elyaf sıyrılması ana nedendir. Delme sırasında karbon elyaf demetleri çıkarıldığında işlenen yüzey pürüzlü hale gelir ve delik profili daha fazla sapar (Kim vd., 2021). Ti6Al4V delik yüzeyi için temel hasar türleri yeniden biriken talaş malzemeleri ve ilerleme miktarının neden olduğu izlerdir (Xu vd., 2019-1; Xu ve Mansori, 2016; Xu vd., 2017; Ji vd., 2020; Kolesnyk vd., 2021; Xu vd., 2019-3; Xu vd., 2019-4). Bu durumda CFRP katmanlarının aksine Ti katmanının ortalama yüzey pürüzlülük değerleri nispeten daha fazla tutarlı kalmaktadır (Kim vd., 2021; Kolesnyk vd., 2021; Xu vd., 2019-3: Xu vd., 2019-4). *Ds1* için CFRP'de ortalama 2 µm üstü ve Ti6Al4V alaşımında ortalama 1 µm altı olmak üzere *Ra* değerleri arasında ciddi bir fark görülmektedir (Şekil 2.c). *Ds2*'de ise bu fark belirgin bir şekilde azalmıştır (Şekil 2.d). Literatürde de belirtildiği üzere; CFRP/Ti6Al4V metalik yığının delinmesinde yüzey pürüzlülüğü üzerinde delme stratejisinin etkisi çok büyüktür (Xu vd., 2017).

Her iki delme stratejisi açısından CFRP'de artan ilerleme miktarı ile genel olarak paralel bir şekilde *Ra* değerleri artmakta iken Ti6Al4V alaşımında ise belirgin bir yönelimli etki görülmemektedir (Şekil 2.d,c). CFRP kompozitlerde mininmum *Ra* için düşük ilerleme miktarı ve yüksek kesme hızı önerilmektedir (Eneyew ve Ramulu, 2014; Wang vd., 2017; Liu vd., 2018; Palanikumar, 2008). Ti6Al4V alaşımında *Ds2*'de artan ilerleme miktarı ve kesme hızı ile *Ra* değerlerinin arttığı görülmüştür (Şekil 2.a). Bu durumun sebebi metalin plastik deformasyonu için daha fazla enerji gereksinimi ve takım aşınmalarından dolayı kesme bölgesindeki sürtünme artışıdır (Wyen ve Wegener, 2010). *Ds1* için Ti6Al4V alaşımında kesme hızı ve ilerleme miktarı artışının *Ra* üzerinde paralel bir artış etkisi görülmemiştir (Şekil 2.a). Ti6Al4V talaşları *Ra* üzerinde takım geometrisi ve delme parametrelerinin dışında diğer bir etkili parametredir. *Ds1* için üst katta bulunan CFRP'nin Ti6Al4V talaşlarının tahliyesini etkilemesinin delme parametrelerinin etkilerini baskıladığı düşünülmektedir.

Varyans Analizi (ANOVA)

Seçilen performans/kalite karakteristiklerine kontrol faktörlerinin etkilerini belirlemek için %95 güven seviyesinde Varyans Analizi (ANOVA) uygulanmıştır. *Ra_Ti6Al4V* ve *Ra_CFRP* için kontrol faktörlerini ve kontrol faktörlerinin etkileşimlerini içeren ANOVA sonuçları Tablo 1'de sunulmuştur. *Ra_Ti6Al4V* üzerinde en etkili faktör %32.80 katkı oranıyla kesme hızı olmuştur. Kesme hızını %25.98, %18.52 ve %10.03 katkı oranları ile sırasıyla delme strateji-kesme hızı (*Ds*Vc*) etkileşimi, delme stratejisi ve delme stratejisi-ilerleme miktarı (*Ds*f*) etkileşimi takip etmiştir (Tablo 1.a). *Ra_CFRP üzerinde* %36.09 katkı oranı ile en etkili parametre delme stratejisi olmuştur. Delme stratejisini etki bakımından %29.07 katkı oranı ile ilerleme miktarı ve %15.97 katkı oranı ile kesme hızı-ilerleme miktarı (*Vc*f*) etkileşimi takip etmiştir (Tablo 1.b). Diğer kontrol faktörleri ve faktör etkileşimlerinin *Ra_Ti6Al4V* ve *Ra_CFRP* üzerinde istatistiki olarak anlamlı bir etkisi tespit edilmemiştir.

Table 1. ANOVA results for *Ra_Ti6Al4V* and *Ra_CFRP*

a)*Ra_Ti6Al4V*							b) *Ra_CFRP*						
Kaynak	SD	KT	KO	F	P	YK	Kaynak	SD	KT	KO	F	P	YK
Ds	1	0.8766	0.8766	40.49	0.003 *	18.52	*Ds*	1	1.0853	1.0853	22.12	0.009*	36.09
Vc	2	1.5523	0.7761	35.85	0.003 *	32.80	*Vc*	2	0.0109	0.0054	0.11	0.897	0.37
f	2	0.2068	0.1034	4.78	0.087	4.37	*f*	2	0.8741	0.4370	8.91	0.034*	29.07
*Ds*Vc*	2	1.2295	0.6147	28.4	0.004 *	25.98	*Ds*Vc*	2	0.0625	0.0312	0.64	0.575	2.08
*Ds*f*	2	0.4748	0.2374	10.97	0.024 *	10.03	*Ds*f*	2	0.2976	0.1488	3.03	0.158	9.90
*Vc*f*	4	0.3058	0.0764	3.53	0.125	6.46	*Vc*f*	4	0.4800	0.1200	2.45	0.204	15.97
Hata	4	0.0866	0.0216			1.83	Hata	4	0.1962	0.0490			6.53
Toplam	17	4.7326				100	Toplam	17	3.0069				100
S=0.1471 R^2=98.2% Düzeltilmiş R^2=92.2%							S=0.2215 R^2= 93.5% Düzeltilmiş R^2=72.3%						

Anlamlı etkisi olan parametre, SD: Serbestlik derecesi, KT: Kareler toplamı, KO: Kareler ortalaması, P:P değeri, YK: Yüzde katkı

SONUÇ

CFRP/Ti6Al4V metalik karma yığınlarının kaplamasız karbür kesici takımlarla işlenmesinde delme stratejisi ve işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkilerinin araştırıldığı bu çalışmada elde edilen sonuçlar sırasıyla şunlardır:

CFRP'nin delinmesinde deliklerin yüzey pürüzlülük değerleri Ti6Al4V alaşımına göre ortalama %81.13 oranında daha büyük elde edilmiştir. CFRP→Ti6Al4V delme stratejisi ile kıyaslandığında Ti6Al4V→CFRP (Ti6Al4V'den CFRP'ye) delme stratejisi ile delmede delik yüzey pürüzlülüğü ortalama %49.55 oranında daha büyük çıkmıştır. CFRP→Ti6Al4V (CFRP'den Ti6Al4V alaşımına) delik delme stratejisi daha düşük yüzey pürüzlülük değerleri sağlamıştır. CFRP→Ti6Al4V delme stratejisiyle delmede CFRP'de ölçülen ortalama pürüzlülük değerleri Ti6Al4V→CFRP delme stratejisine göre ortalama %27.72 oranında daha büyük çıkmıştır. Hem CFRP hem de Ti6Al4V bileşeni için delme stratejisi fark etmeksizin ilerleme miktarının artmasıyla deliklerin yüzey pürüzlülük değerleri artmıştır. Yığının bileşenleri ayrı ayrı değerlendirildiğinde, Ti6Al4V bileşenini en düşük kesme hızlarında işlendiğinde deliklerin yüzey kalitesi iyileşmekte iken CFRP'nin deliklerinin yüzey kalitesi kötüleşmektedir. Tam tersi durumda, yüksek kesme hızlarında Ti6Al4V'nin deliklerinin yüzey kalitesi kötüleşmekte, CFRP'ninkilerin azalmaktadır. Ti6Al4V bileşenin delik yüzey pürüzlülükleri üzerinde parametrelerin etki sırası kesme hızı, delme stratejisi şeklindedir. İlerleme miktarının etkisi istatistiki olarak anlamlı değildir. Bu sıralama CFRP'deki deliklerin yüzey pürüzlülüğü için delme stratejisi, ilerleme miktarı ve kesme hızı şeklinde olmuş iken kesme hızının etkisi istatistiki olarak anlamlı bulunmamıştır.

TEŞEKKÜR

FHD-2020-3211 kodlu proje ile bu çalışmanın finansal desteğini sağlayan Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

Alonso U., Calamaz M., Girot F., Iriondo E., (2019). Influence of flute number and stepped bit geometry when drilling CFRP/Ti6Al4V stacks. *J Manuf Process*, 39:356–70.

An Q., Zhong B., Wang X., Zhang H., Sun X., Chen M., (2021). Effects of drilling strategies for CFRP/Ti stacks on static mechanical property and fatigue behavior of open-hole CFRP laminates. *J Manuf Process*, 64:409–420.

Eneyew E.D., Ramulu M., (2014). Experimental study of surface quality and damage when drilling unidirectional CFRP composites. *J Mater Res Technol*,3(4):354–62.

Kayihan, M., Karaguzel, U., Bakkal, M., (2021). Experimental analysis on drilling of Al/Ti/CFRP hybrid composites. *Mater Manuf Process*, 36(2):215-222.

Kim D., Swan S.R., He B., Khominich V., Bell E., Lee S.W., Kim T.G., (2021). A study on the machinability of advanced arc PVD AlCrN-coated tungsten carbide tools in drilling of CFRP/titanium alloy stacks. *Carbon Letters*, 31(3):497-507.

Kim D., Beal A., Kwon P., (2015). Effect of tool wear on hole quality in drilling of carbon fiber reinforced plastic–titanium alloy stacks using tungsten carbide and polycrystalline diamond tools. *J Manuf Sci Eng*, 138(31006).

Kolesnyk V., Peterka J., Kuruc M., Šimna V., Moravčíková J., Vopát T., Lisovenko D., (2020). experimental study of drilling temperature, geometrical errors and thermal expansion of drill on hole accuracy when drilling CFRP/Ti alloy stacks. *Materials*, 13(14):1-17.

Liu H., Xie W., Sun Y., Zhang J., Chen N., (2018). Investigations on micro-cutting mechanism and surface quality of carbon fiber-reinforced plastic composites. *Int J Adv Manuf Technol*, 94(9):3655–64.

Isbilir O., Ghassemieh E., (2013). Comparative study of tool life and hole quality in drilling of CFRP/titanium stack using coated carbide drill. *Mach Sci Technol*, 17(3):380-409.

Ji M., Xu J., Chen M., Mansori M.E., (2020). Effects of different cooling methods on the specific energy consumption when drilling CFRP/Ti6Al4V stacks. *Procedia Manuf*, 43:95-102.

Jia Z.Y., Zhang C., Wang F.J., Fu R., Chen C., (2020). Multi-margin drill structure for improving hole quality and dimensional consistency in drilling Ti/CFRP stacks. *J Mater Process Technol*, 276:116405.

Motorcu, A.R., Ekici, E., (2020). CFRP/Ti6Al4V Yığınların Kademeli Matkapla Delinmesinde Cfrp'de Minimum Delaminasyon Faktörü İçin Kontrol Faktörlerinin Optimizasyonu, *5. International Conference on Material Science and Technology (IMSTEC 2020)*, Nevşehir, Türkiye, 133-139.

Palanikumar K., (2008). Application of Taguchi and response surface methodologies for surface roughness in machining glass fiber reinforced plastics by PCD tooling. *Int J Adv Manuf Technol*, 36:19–27.

Park K.H., Beal A., Kim D., Kwon P., Lantrip J., (2014). A comparative study of carbide tools in drilling of CFRP and CFRP-Ti stacks. *J Manuf Sci Eng-Trans ASME,* 136(1):014501

Qiu X.Y., Yu Z., Li C.P., Niu Q.L., Li S.J., Li P.N., Ko T.J., (2021). Influence of main cutting edge structure on hole defects in CFRP/titanium alloy stacks drilling. *J Manuf Process,* 69:503–513.

Wang F., Qian B., Jia Z., Fu R., Cheng D., (2017). Secondary cutting edge wear of one-shot drill bit in drilling CFRP and its impact on hole quality. *Compos Struct,* 178:341–52.

Wyen Y.C.F., Wegener K., (2010). Influence of cutting edge radius on cutting forces in machining titanium. *CIRP Ann Manuf Technol,* 59(1):93-96

Xu J., Mkaddem A., El Mansori M., (2015). Recent advances in drilling hybrid FRP/Ti composite: a state-of-the-art review. *Compos Struct,* 135:316–38.

Xu J., Mansori M.E., (2016). Experimental studies on the cutting characteristics of hybrid CFRP/Ti stacks. *Procedia Manuf,* 5:270–81.

Xu, J., Zhou, L., Chen, M., Ren, F., (2019-1). Experimental study on mechanical drilling of carbon/epoxy composite-Ti6Al4V stacks. *Mater Manuf Process,* 34:715–725.

Xu J., Li C., Chen M., Ren F., (2019-2). A comparison between vibration assisted and conventional drilling of CFRP/Ti6Al4V stacks. *Mater Manuf Process,* 34(10):1182–93.

Xu J., Li C., Chen M., Mansori M.E., Davim J.P., (2020). On the analysis of temperatures, surface morphologies and tool wear in drilling CFRP/Ti6Al4V stacks under different cutting sequence strategies, *Compos Struct,* 234:111708.

Xu J., Lin T., Li L., Ji M., Davim J.P., Norbert Geier N., Ming Chen M., (2022). Numerical study of interface damage formation mechanisms in machining CFRP/Ti6Al4V stacks under different cutting sequence strategies. *Compos Struct,* 285:115236

Xu J., Mansori M.E., (2016). Experimental study on drilling mechanisms and strategies of hybrid CFRP/Ti stacks. *Compos Struct,* 157:461–482.

Xu J., An Q., Ming W., Chen M., (2017). A Study on the Effects of Cutting-sequence Strategies in Drilling CFRP/Ti. *Advances in Abrasive Technology XX: Proceedings of the 20th International Symposium on Advances in Abrasive Technology*, Okinawa, Japan, 364-369.

Xu J., Ji M., Chen M., Ren F., (2019-3). Investigation of minimum quantity lubrication effects in drilling CFRP/Ti6Al4V stacks. *Mater Manuf Process,* 34(12):1401-1410.

Xu J., El Mansori M., Voisin J., Chen M., Ren F., (2019-4). On the interpretation of drilling CFRP/Ti6Al4V stacks using the orthogonal cutting method: Chip removal mode and subsurface damage formation. *J Manuf Process,* 44:435-447.

View publication stats