Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 39:2 (2024) 1167-1178

Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi
Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University

Elektronik / Online ISSN : 1304 - 4915
Basılı / Printed ISSN : 1300 - 1884

Investigation of deviation from diameter, circularity and cylindricality in drilling AA2024-T351 with U drills with different properties

Aslan Akdulum[1]*, Yunus Kayır[2]

[1]Department of Machinery and Metal Technologies, Başkent OSB Vocational School of Technical Sciences, Hacettepe University, 06909, Ankara, Türkiye
[2]Department of Manufacturing Engineering, Faculty of Technology, Gazi University, 06500, Ankara, Türkiye

Highlights:

- Effect of U drills with different length/diameter ratio on drilling
- Investigation and comparison of the extra coolant hole
- Investigation of deviation from diameter, circularity and cylindricality in drilling 2024-T351 aluminum alloy with U drills

Keywords:

- AA 2024-T351
- U drill
- Deviation from diameter
- Circularity
- Cylindricality

Article Info:

Research Article
Received: 27.06.2022
Accepted: 18.06.2023

DOI:

10.17341/gazimmfd.1136798

Correspondence:

Author: Aslan Akdulum
e-mail: a.akdulum@gmail.com.tr
phone: +90 312 502 04 69

Graphical/Tabular Abstract

In the current study, AA2024-T351 material was drilled using U drills with different length/diameter ratios. Cutting speed, feed rate and length/diameter ratio were determined as input parameters. As the output responses, deviation from diameter, deviation from circularity and deviation from cylindricality were examined (Figure A).

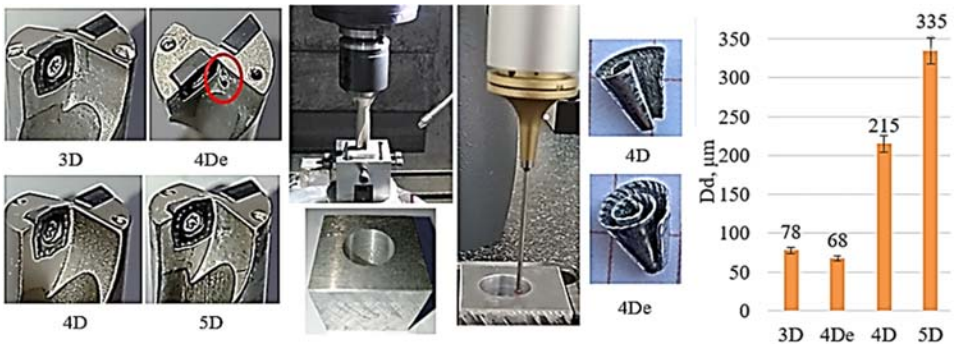


Figure A. Experimental procedure

Purpose:
U drills with the same nominal diameter are produced in different length/diameter ratios, although they use identical inserts. In some, an extra coolant hole is opened in the chip evacuation channel where the central insert is located. In this study, hole drilling experiments were carried out to examine the effect of different U drills on output parameters (diameter deviation, circularity and cylindricality) in drilling AA2024-T351 aluminum alloy.

Theory and Methods:
Experiments were carried out according to the full factorial experimental design, using four different U drills, three cutting speeds and three feed rates. After the drilling experiments, all chips, disks and inserts were collected and analyzed separately. Deviation from diameter, circularity and cylindricality of all drilled workpiece samples were measured with a CMM machine by scanning all surfaces 360° in three depth planes. The results were interpreted in detail with the help of the graphs obtained with the measured values.

Results:
As the length/diameter ratio of the 3D, 4D and 5D U drill increased, the values of deviation from diameter, circularity and cylindricality increased. 4De with an extra cooling hole produced a 68.4% smaller value in diameter deviation, 51.2% in circularity and 74.3% in cylindricality compared to 4D without extra cooling hole. The lowest average output values were obtained with 4De.

Conclusion:
Output values increased as the length/diameter ratio increased. It has been determined that the extra cooling hole has a positive contribution to the deviation from diameter, circularity and cylindricality in dimensional and shape tolerances.

Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 39:2 (2024) 1167-1178

Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi
Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University

Elektronik / Online ISSN : 1304 - 4915
Basılı / Printed ISSN : 1300 - 1884

Farklı özelliklere sahip U matkaplar ile AA2024-T351'in delinmesinde çaptan sapma, dairesellik ve silindirikliğin incelenmesi

Aslan Akdulum[1]*, Yunus Kayır[2]

[1]Hacettepe Üniversitesi, Başkent OSB Teknik Bilimler MYO, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, 06909, Ankara, Türkiye
[2]Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, 06500, Ankara, Türkiye

ÖNEÇIKANLAR

- Farklı uzunluk/çap oranına sahip U matkapların (3D, 4D, 4De, 5D) delik delmeye etkisi incelenmiştir
- Ekstra soğutucu deliğe sahip 4De U matkap, normal 4D U matkap ile karşılaştırılmıştır
- U matkaplar ile AA2024-T351'in delinmesinde çaptan sapma, dairesellik ve silindiriklik incelenmiştir

Makale Bilgileri
Araştırma Makalesi
Geliş: 27.06.2022
Kabul: 18.06.2023

DOI:
10.17341/gazimmfd.1136798

Anahtar Kelimeler:
AA 2024-T351,
U matkap,
çaptan sapma,
dairesellik,
silindiriklik

ÖZ

U matkaplar, imalat alanında ön delik delmeye ihtiyaç duymaksızın büyük çaplı deliklerin doğrudan delinmesinde yaygın olarak kullanılan değiştirilebilir uçlu kesici takımlardır. Aynı nominal çapa sahip U matkaplar, özdeş kesici uç kullanmalarına rağmen farklı uzunluk/çap oranlarında üretilmektedirler. Bazılarında ise merkezi ucun bulunduğu talaş tahliye kanalına ekstra soğutucu deliği açılmaktadır. Bu çalışmada, farklı U matkapların çıktı parametrelerine (çaptan sapma, dairesellik ve silindiriklik) olan etkisini incelemek amacıyla delik delme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerde AA 2024-T351 malzemesi nominal çapı 20 mm olan U matkaplar ile 40 mm derinliğinde delinmiştir. Üç adet ilerleme miktarı (0,06-0,09-0,12 mm/dev), üç adet kesme hızı (200-250-300 m/dak) ve 4 farklı U matkap (Uzunluğun çapa oranı: 3D-4D-5D, ekstra soğutucu delikli: 4De) kullanılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen çıktı parametreleri, grafiklerin yorumlanmasıyla, kesici uç ve çıkan talaşların incelenmesiyle değerlendirilmiştir. En düşük ortalama çaptan sapma, dairesellik ve silindiriklik değerleri 4De ile elde edilirken, en yüksek değerler 5D ile elde edilmiştir. 4De dışındaki U matkaplarda artan uzunluk/çap oranı ile çıktı parametreleri artmıştır. Aynı nominal çap ve uzunluğa sahip olan U matkaplardan ekstra soğutucu deliği olan 4De, ekstra soğutucu deliği olmayan 4D matkaba göre çaptan sapmada %68,4, dairesellikte %51,2, silindiriklikte %74,3 daha düşük değer meydana getirmiştir.

Investigation of deviation from diameter, circularity and cylindricality in drilling AA2024-T351 with U drills with different properties

HIGHLIGHTS

- The effect of U drills (3D, 4D, 4De, 5D) with different length/diameter ratio on drilling was investigated
- 4De U drill with extra coolant hole compared to normal 4D U drill
- Diameter deviation, circularity, and cylindricity were examined when drilling AA2024-T351 with U drills

Article Info
Research Article
Received: 27.06.2022
Accepted: 18.06.2023

DOI:
10.17341/gazimmfd.1136798

Keywords:
AA 2024-T351,
U drill,
deviation from diameter,
circularity,
cylindricality

ABSTRACT

U drills are indexable insert cutting tools that are widely used in the manufacturing field for direct drilling of large diameter holes without the need for pre-drilling. U drills with the same nominal diameter are produced in different length/diameter ratios, although they use identical inserts. In some, an extra coolant hole is opened in the chip evacuation channel where the central insert is located. In this study, hole drilling experiments were performed to examine the effect of different U drills on output parameters (deviation from diameter, circularity, and cylindricality). In the experiments, AA 2024-T351 material was drilled at a depth of 40 mm with U drills with a nominal diameter of 20 mm. Three feed rates (0.06-0.09-0.12 mm/rev), three cutting speeds (200-250-300 m/min) and 4 different U drills (Length to diameter ratio: 3D-4D-5D, with extra coolant hole: 4De) were used. The output parameters obtained as a result of the experiments were evaluated by interpreting the graphics, examining the insert and the resulting chips. While the lowest mean deviation from diameter, circularity and cylindrical values were obtained with 4De, the highest values were obtained with 5D. Output parameters increased with increasing length/diameter ratio in U drills other than 4De. Of the U drills with the same nominal diameter and length, 4De with an extra coolant hole produced a lower value of 68.4% in deviation from diameter, 51.2% in circularity, 74.3% in cylindricality compared to the 4D drill without extra coolant hole

*Sorumlu Yazar/Yazarlar / Corresponding Author/Authors : *a.akdulum@gmail.com.tr, ykayir@gazi.edu.tr / Tel: +90 312 502 04 69

1. Giriş (Introduction)

2xxx serisi alüminyum alaşımları içerisinde en çok kullanılanlardan bir tanesi AA 2024'tür [1]. Alaşımın mukavemeti ve özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla T351 yaşlandırma prosesi (çökelti sertleştirmesi) uygulanmaktadır. AA 2024-T351 malzemesi diğer alaşımlara kıyasla korozyona duyarlı, kırılma tokluğuna yani çatlak büyümesine karşı dirençli ve hasar toleransının önemli bir tasarım parametresi olduğu ticari uçakların gövde kaplamalarında ve alt kanatlarında yaygın olarak kullanılırlar [1, 2]. Ek olarak, kamyon tekerlekleri, birçok yapısal uçak uygulaması, makine için dişliler, vida makinesi ürünleri, otomotiv parçaları, silindirler ve pistonlar, bağlantı elemanları, makine parçaları, mühimmat, rekreasyon ekipmanları, vidalar ve perçinler için de kullanılmaktadır [3]. Delik delme işlemi imalat endüstrisinin yaklaşık üçte birini oluşturmaktadır. Hatta otomotiv endüstrisinde toplam malzeme kaldırma prosesinin %40'nı kapsadığı ifade edilmektedir [4]. AA 2024 malzemesinin delinmesi üzerine yapılan çalışmalar derlenerek Tablo 1'de sunulmuştur.

Anılan çalışmalarda delik delme işlemi için farklı özelliklerde helisel matkap kullanılmıştır. Ancak helisel matkaplarla delme işleminde büyük çaplar doğrudan delinememektedir. Çünkü matkap çapının büyümesiyle beraber, matkabın radyal ağzı da büyümektedir. Böylelikle radyal ağız parçaya ilk temasında kesme yerine gezme hareketi yaparak delik geometrisini bozmakta, delme kuvvetlerini ve sıcaklığı artırmaktadır [7]. Delme kuvvetlerinin ve sıcaklığın artmasıyla takım ömrü olumsuz etkilenerek matkap aşınır ve matkabın bilenmesi gerekir. Hatta aşınma zırhta meydana gelirse, yekpare özelliğinden dolayı matkap tamamen kullanılamaz hale gelebilir [17]. Bu olumsuzluklar zaman ve maliyet açısından imalatı olumsuz olarak etkilemektedir. Bu sorunun üstesinden gelmek için ise ön delik delinmektedir. Ön delik delme ise fazladan bir kesicinin daha kullanılmasını gerektirir. Normal helisel matkapların bu eksikliğini gidermek için çeşitli geometrik özelliklerini, malzemelerini ve kaplamasını değiştirmek suretiyle araştırmalar yapılmaktadır [8]. Ancak delik çapı belli bir değerin üzerine çıktığında problemler yine de meydana gelebilmektedir. Günümüzde, imalat tesislerinde bu gibi delme problemlerinin üstesinden gelmek için değiştirilebilir uçlu matkap (U matkap) kullanılmaktadır. U matkapların toplam kesici takım sektöründe %8, delik delme takımları içerisinde ise %53'lük bir paya sahip olduğu ifade edilmektedir [21]. U matkaplar sanayide yoğun bir şekilde kullanılmasına rağmen literatür incelendiğinde hakkında sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Alüminyum alaşımlarının ise U matkap ile delindiği çalışma sayısı çok az ve yetersiz olduğu literatür çalışmalarında tespit edilmiştir. U matkap ile delik delinmesi üzerine gerçekleştirilen kısıtlı sayıdaki çalışmalardan Heisel ve Schaal AA 2007 alüminyum malzemesini 5 farklı uç tipi ve değişik soğutma yöntemleri ile delerek meydana gelen çapak yüksekliklerini incelemişlerdir [22]. Biermann ve Hartmann yaptıkları çalışmada U matkaplar ile AA 6082 malzemesini farklı soğutucu tipleri kullanarak delmişlerdir. Çaptan sapma ve dairesellikten sapma gibi çıktı yanıtlarını incelemişlerdir [23]. Kaymakçı ve arkadaşları U matkap için bir tahmin modeli oluşturmuşlardır ve AL7050-T7451 malzemesi için itme kuvvetini deneysel olarak karşılaştırmışlardır [24]. Kılıç ve Altıntaş kesme işlemlerinin mekanik ve dinamiklerini birleşik modelleme ile modellemişlerdir. U matkap ile AA 7075 malzemesinin delinmesinde meydana gelen deneysel kesme kuvvetlerini karşılaştırmışlardır [25, 26]. Yapılan liteatür araştırmalarında AA 2024-T351 malzemesinin U matkap ile delinmesi üzerine herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Alüminyum alaşımlarının U matkap ile delinmesi alanında çalışmaların yapılması, kesici takımın verimli kullanılması ve

Tablo 1. Helisel matkap ile AA 2024 alaşımı üzerinde delik delme işlemi yapılan çalışmalara ait parametreler
(Parameters of the studies on AA 2024 alloy drilling with a helix drill)

Alüminyum alaşımı	Matkap çapı ve özellikleri	Delme parametreleri	İncelenen çıktı parametreleri	Kaynaklar
2024-T351	D=3,175-4,7625-6,35	f=0,05-0,1-0,15-0,2-0,25-0,3 mm/dev. n= 1100 dev/dak.	B	[5]
2024-T351	D=6	f=0,04 mm/dev. Vc= 24 - 164 m/ dak.	Dd, B ve R	[6]
2024-T3	D=4,76 Ön delik D=2,38	Uzun – kısa matkaplar.	R, Hc	[7]
2024	D=10	f= 0,15-0,20-0,25 mm/dev. Vc=30- 45-60 m/dak. Kesme derinliği= 2- 15-25 mm.	Dd, R, C ve Rd	[8, 9]
2024-T351	D=3,175-4,7625	f= 0,05-0,1-0,15-0,2-0,25-0,3 mm/dev. n= 900-1500 dev/dak.	B	[10]
2024	D=4-6 ve 8	f= 0,05-0,1-0,15 mm/dev. n=1050- 2020-2750 dev/dak.	F, Tq, C, R	[11, 12]
2024	D=6	f= 0,04 mm/dev. n= 1500-5000 dev/dak.	W, Z, F, Tq	[13]
2024	D=8-10-12	f= 0,05-0,1-0,15 mm/dev. Vc= 20-30-40 m/dak.	B, R	[14]
2024-T3	D= 5	f= 0.09, 0.011, 0.022, 0.045, 0.125, 0.18, 0.25, 0.5 mm/dev. n= 500, 1000, 2000 dev/dak.	Z	[15]
2024-T6	D= 5	f= 0,104-0,208-0,348 mm/dev. n= 460-755-1255 dev/dak.	F, R	[16]
2024-T351/ Ti6Al4V	D=3,6	f= 0,05-0,1-0,15-0,2 mm/dev. Vc= 30-50-70-90 m/dak.	F, R, B	[17]
2024-T351	D= 4	f= 0,2-0,3-0,4-0,5 mm/dev. Vc= 60-80-100-120 m/dak.	T, F, Tq	[18]
2024	D= 6-10	f= 0,04-0,08-0,14 mm/dev. n= 1007-2015-3025 dev/dak.	F, R	[19, 20]

Semboller: Matkap çapı: D (mm), İş mili hızı: n (dev/dak), İlerleme miktarı: f (mm/dev), Kesme hızı: Vc (m/dak), İtme kuvveti: F, Tork: Tq, Yüzey pürüzlülüğü: R, Çapak yüksekliği: B, Dairesellikten sapma: C, Delik çapı: Z, Sıcaklık: T, Çaptan sapma: Dd, Koniklik Hc, Radyal sapma: Rd, Aşınma: W.

literatürdeki bu boşluğun doldurulması bakımından elzemdir. Ayrıca delme takımları içerisinde U matkapların pazar payı dikkate alındığında hem sektör hem de akademik alanda çalışmalar hız kazanmaktadır. U matkaplar, helisel matkaplardan oldukça farklı özelliktedir. Bundan dolayı kesme parametreleri ve çıktı yanıtları birbirinden apayrı dinamikler içermektedir. U matkaplarda radyal ağzın olmaması, değiştirilebilir uç kullanılması, gövde ve uç malzemesinin farklı olması gibi birçok farklılık bulunmaktadır [27]. U matkaplarda biri merkez diğeri ise çevrede olmak üzere iki kesici uç (insert) bulunmaktadır. Bu uçlar aynı kalite ve geometride olabileceği gibi farklı geometri ve kalitede de olabilmektedir. Merkezi ve çevresel uçların takıldıkları konumlar farklı olduğu için radyal kuvvetler dengede değildir. Radyal kuvvetleri dengelemek için iş mili eksenine göre uçlar farklı açı ve mesafede konumlandırılabilir. Bundan dolayı U matkaplar ile delinen deliklerde bir miktar geometrik hatalar meydana gelebilir [28]. Bu geometrik hataların ise belirli toleranslar ve kalite içerisinde olması gerekmektedir. Bir parçanın delik kalitesi ise çeşitli toleranslar ile kontrol edilmektedir. Bu toleranslardan bazıları şekil ve boyut toleranslarıdır. Bir deliğin belirtilen tolerans ve kalitede olabilmesi için teknik resim standartlarına göre boyut toleransının (delik çapı) ve şekil toleransının (dairesellik, silindiriklik) arzu edilen aralıklarda olması gerekir. Delik kalitesi parametrelerinden dairesellik ve silindiriklik gibi özellikler, basma ve kesme gerilimi üzerinde etkiye sahiptir. Basma ve kesme gerilmesinin artması ise malzeme yorulması, montaj süresinin artması gibi olumsuzluklara neden olabilmektedir [29]. Geometrik kalite parametrelerinden delik çapından sapma, dairesellik ve silindiriklikten sapma üzerinde kesme hızının ve ilerleme miktarının etkili olabileceği değerlendirilmektedir [23, 30]. U matkapları helisel matkaplara göre daha yüksek kesme hızı ve ilerleme miktarlarında çalıştırmak mümkündür [27]. Ancak önem seviyeleri ve boyutsal doğruluk üzerindeki katkıları U matkaplar için açıkça netleştirilememiştir. Sabit delik derinliğine karşı değişen U matkap uzunluk/çap oranının etkisi, aynı nominal çapa sahip olmakla beraber U matkap merkezi ucun bulunduğu talaş tahliye kanalına açılan ekstra soğutucu deliğin etkisi ise henüz incelenmemiştir. Bu konu literatürde büyük bir boşluk olarak durmaktadır.

Gerçekleştirilen bu çalışma ile AA2024-T351 malzemesi farklı uzunluk/çap oranı ve ekstra soğutucu deliğe sahip olan U matkaplar kullanılarak delinmiştir. Delik delme işlemi, nominal çapı 20 mm olan farklı U matkaplar ile iş parçasının 40 mm derinliğinde delinmesiyle gerçekleştirilmiştir. Sabit delik derinliği, uzunluk/çap oranın ve ekstra soğutucu deliğin çaptan sapma, dairesellikten ve silindiriklikten sapma üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla tercih edilmiştir. Girdi parametreleri olarak kesme hızı (Vc), ilerleme miktarı (f) ve uzunluk/çap oranı (LD) tespit edilmiştir. Çıktı yanıtları olarak çaptan sapma (Dd), dairesellikten (Ci) ve silindiriklikten sapma (Cy) incelenmiştir. Bu çalışma ile literatürdeki AA2024-T351 malzemesinin farklı uzunluk/çap oranı ve ekstra soğutucu deliğe sahip olan U matkaplar kullanılarak delinmesinin Dd, Ci ve Cy üzerindeki etkileri konusundaki boşluğun doldurulacağı düşünülmüştür.

2. Deneysel Metot (Experimental Method)

2.1. Malzeme, kesici ve delme parametreleri
(Material, cutter, and drilling parameters)

Deneysel çalışmalarda AA 2024-T351 malzemesi kullanılmıştır. AA 2024-T351 malzemesi iç piyasadan plaka olarak alınmıştır. Testler için iş parçaları 40x40x40mm boyutlarında kesilmiştir. İş parçası sertifikalı olup kontrol amacıyla sertlik ve spektrum analizleri yapılmıştır. AA 2024-T351 malzemesinin çekme dayanımı 455 Mpa, akma dayanımı 312 MPa, % uzaması %15,3 ve ortalama sertliği 138 brinell olarak tespit edilmiştir. Malzemenin kimyasal bileşimi Tablo 2' de verilmiştir.

Delme testlerinde Johnford VMC-850 CNC dik işleme takım tezgahı kullanılmıştır. Takım tezgahının iş mili motoru 7,5 KW, maksimum iş mili hızı 8000 rpm, ölçüm hassasiyeti 0,001 ve kontrol paneli Fanuc'tur. Alüminyum alaşımlarının işlenmesinde takım ve talaş arasındaki yapışma (adhesion) gibi ciddi tribolojik sorunlar bulunmaktadır [6]. Bundan dolayı soğutucu olarak emülsiyon kullanılmıştır. Emülsiyon, suya %5 yarı sentetik kesme / soğutma

Tablo 2. AA 2024-T351 alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi (Chemical composition of AA 2024-T351 aluminum alloy)

Fe	Si	Mn	Cr	Ti	Mg	Cu	Zn	Al
0,329	0,121	0,498	0,023	0,028	1,414	4,928	0,317	92,342



Şekil 1. Deneysel kurulum (The experimental setup)

sıvısı ilave edilerek hazırlanmıştır. Deney düzeneği Şekil 1'de gösterilmiştir. Soğutucu, testte iş parçasına dışarıdan fışkıracak şekilde ayarlanmıştır. Delme işlemi, boydan boya ve normal delik delme prensibine göre gerçekleştirilmiştir.

Deneylerde farklı uzunlukta gövdeye sahip U matkaplar tercih edilmiştir. U matkap gövdesi için üç uzunluk/çap oranı (3D, 4D, 5D) seçilmiştir. Ayrıca ekstra soğutucu deliğin delik delme işlemine etkisini kontrol etmek amacıyla merkezi ucun talaş tahliye kanalında ekstra soğutucu deliği olan U matkapta (4De) kullanılmıştır. Toplam 4 farklı U matkap kullanılmıştır. Tablo 3 ve Şekil 2, deneylerde kullanılan U matkapları ve boyut bilgilerini göstermektedir.

Tablo 3. Kullanılan U matkapların ölçüleri
(Dimensions of U drill used)

U matkap	Nominal Çap (Dc: mm)	Uzunluk (L: mm)
3D		60
4D, 4De	20	80
5D		100

Şekil 3'te olduğu gibi, test edilen U matkap, merkezi ve çevresel olmak üzere iki farklı kesici uca sahiptir. Kesici uçlar aynı geometriye sahip değildir.

Her iki kesici uç kaplanmamış tungsten karbür kesici uçlardır ve alüminyum alaşımı işleme için uygundur. Kesici takım kataloğunda iki kesici uç için H01 kalitesi belirlenmiştir. Ayrıca, merkezi uç için XOET-ND 07T205 ve çevresel uç için SPET-ND 07T208 geometrisi kullanılmıştır. U matkapları dik işleme merkezinin iş miline bağlamak için BT40 VT2590 Veldon tipi bir takım tutucu seçilmiştir. Delme testleri için kesme parametrelerinin belirlenmesinde kesici takım kataloğundaki öneriler ve literatürdeki çeşitli çalışmalar dikkate alınmıştır. Tablo 4'te yer alan deney parametrelerine göre 4 adet U matkap, 3 adet kesme hızı ve 3 adet ilerleme miktarı girdi parametreleri olarak belirlenmiştir. Deneyler tam faktöriyel deney tasarımına göre yapılmış olup toplam 36 deney yapılmıştır.

Tablo 4. Deney parametreleri (Experimental parameters)

Girdiler	Birim				
Uzunluk/çap oranı (LD)		3D	4D	4De	5D
Kesme hızı (Vc)	m/dak	200	250	300	
İlerleme miktarı (f)	mm/dev	0,06	0,09	0,12	

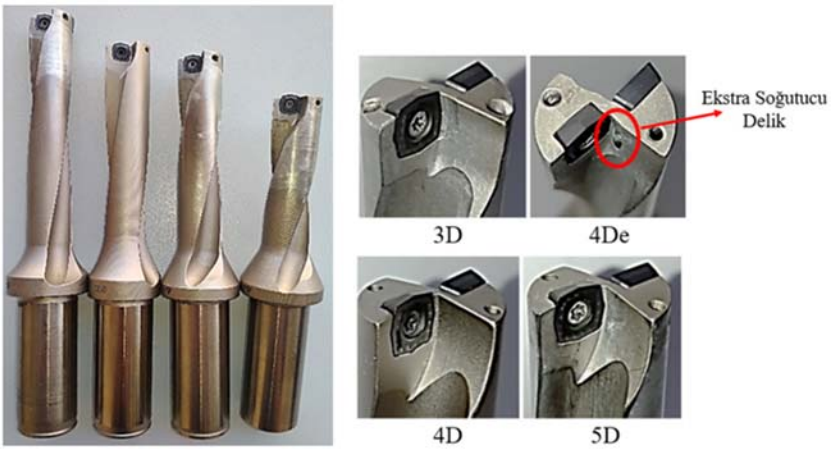
2.2. Ölçüm Yöntemleri (Measurement methods)

Çap, dairesellik ve silindiriklik hatası ölçümleri için ölçüm aralığı 0,001 olan Hexagon marka koordinat ölçüm tezgahı (CMM), bilgisayar programı olarak ise Pc-dmis CAD ++ 2014 kullanıldı. Bazı çalışmalarda deliğin girişi ve çıkışından olmak üzere iki düzlem seviyesinde ölçüm alınmıştır [4]. Ancak mevcut çalışmada daha detaylı bir ölçüm için Şekil 4'te gösterildiği gibi delik girişinden 5mm, 20mm ve 35mm aşağıda olmak üzere 3 tane düzlem oluşturuldu. Ölçümler bu düzlemlerde prob yardımıyla 360° delik yüzeyinin taranması ile gerçekleştirildi. İş parçasını CMM tezgahına sabitlemek için, delik delme esnasında kullanılan bağlama aparatı tercih edilmiştir.

3. Sonuçlar ve Tartışmalar (Results and Discussions)

Alüminyum alaşımlarının delinmesi yüksek sıvanma ve yapışma oranlarından dolayı oldukça zordur. Artan delik boyu ve kesme parametreleri, delik duvarındaki istenmeyen artıkları ve sıvanmaları çoğaltmaktadır. Sıvanan ve yapışan talaşlar, deliğin yüzey kusurlarını ve çatlakları kapattığı için havacılık gibi sektörlerde istenmez. Çünkü bağlantıların ömrü, delik delme performansına bağlı olarak değişen deliklerin boyutsal doğruluğuna ve kalitesine bağlıdır [2]. Ayrıca geometrik hataların ölçümünde yapışan talaşlar, ölçme probuna rast gelebilir ve hatalı ölçüm sonuçlarına neden olabilmektedir.

Tam faktöriyel deney tasarımı dikkate alınarak yapılan deneylerin sonuçları Tablo 5'te bulunmaktadır. U matkapların uzunluk/çap oranına göre elde edilen çıktı yanıtları, kesme parametrelerine göre tabloda yer almaktadır.



Şekil 2. Kullanılan U matkaplar (Used U drills)

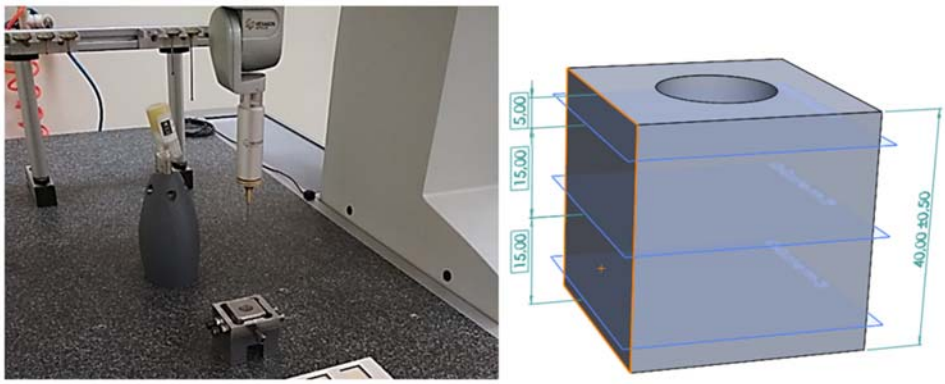


Şekil 3. Sol-Merkezi Uç, Sağ-Çevresel Uç (Left-Center insert, Right-Peripheral insert)

Şekil 5'te 5D U matkap kullanılarak Vc 200 m/dak ve f 0,06 mm/dev ile delinmiş bir deliğin giriş ve çıkış yüzeyleri görülmektedir. Deliğin girişinde ve çıkışında dikkate değer bir çapak oluşumu meydana gelmemiştir.

3.1. Çaptan Sapma (Deviation from Diameter)

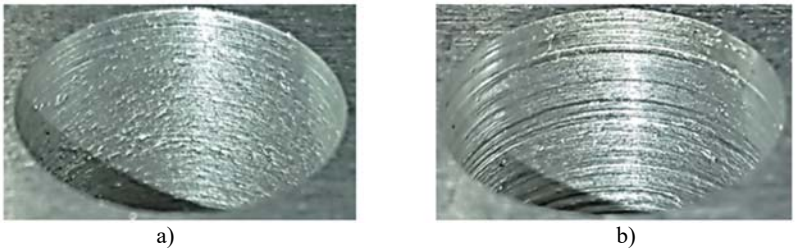
Bir deliğin nominal çaptan sapma (Dd) ölçüsü geometrik kalite parametrelerinden biridir. Deliğin istenilen boyut toleransları içerisinde olması, montaj edileceği yer bakımından her zaman önemlidir. Dd için deney sonuçları Tablo 5'te bulunmaktadır. Tablo 5 incelendiğinde en yüksek Dd (450 µm) 5D U matkap ile en düşük Vc (200 m/dak), en yüksek f'de (0,12 mm/dev) gerçekleşmiştir. En düşük Dd (11 µm) ise 3D U matkap ile en düşük f ve en düşük Vc değerinde elde edilmiştir. Her bir U matkap için yapılan 9 deneyin ortalaması alınarak Dd hesaplanmıştır. Hesaplanan Dd değerlerine göre Şekil 6 oluşturulmuştur. Şekile göre Dd ortalamaları 3D için 78 µm, 4De için 68 µm, 4D için 215 µm ve 5D için 335 µm hesaplanmıştır. Tüm delik çapları nominal çaptan daha fazla çıkmıştır. Benzer sonuçlar literatürde de elde edilmiştir [31]. U matkap LD oranı arttıkça Dd artmıştır. Delme takımlarının dinamik davranışları çaptan sapmayı etkilemektedir [32]. Delik delmede dönme (whirling), yanal (lateral) ve burulma-eksenel (torsional-axial) olmak üzere 3 tip titreşim modundan bahsedilmektedir [30]. Bu üç tip titreşim modu ise Şekil 7'de gösterilen yanal, eksenel ve burulma yönlerinde takım sapmalarına (tool deflection) neden olmaktadır. Yanal sapmalar boyut ve şekil toleranslarını bozmaktadır [32]. U matkabın LD'sinin artmasıyla beraber yanal titreşimlerin arttığı, titreşimin artması ile yanal sapmanın artarak daha yüksek Dd'nin meydana gelmiş olabileceği değerlendirilmektedir [33]. Ayrıca matkabın uzunluğu arttıkça burulma titreşimleride etkin olmaktadır [34]. Mevcut çalışmada da 3D, 4D ve 5D için LD oranı arttıkça çaptan sapma değerleri artmıştır. Aynı nominal çapa sahip 4D U matkaplara bakıldığında ise ekstra soğutucu deliği olan 4De ile en düşük deneysel değerler elde edilmiştir. 4D'ye göre 4De'de %68,4 oranında daha düşük ortalama Dd değeri elde edilmiştir. Ancak 4De'nin merkezi ucunun bulunduğu talaş tahliye kanalına açılan ekstra soğutucu deliği Dd'nin artmasına neden olmamış hatta tam tersi daha küçük değerlerin meydana gelmesine sebep olmuştur. 4De için ekstra soğutucu deliğe girmeye çalışan talaşların etkisiyle ve U matkap gövdesinde açılan ekstra soğutucu deliğin gövde içindeki boşluğu, matkabın rijitliğinin (stability) bozulmasına neden olduğu düşünülmektedir. Rijitliğin bozulmasıyla burulma-eksenel titreşim oluşarak eksenel sapma meydana gelmiş olabilir [35]. Çünkü eksenel sapmalar ile beraber yüksek genlikli bir titreşim olan tırlama (chatter) meydana gelmektedir [36]. Tırlamanın mevcudiyeti Şekil 18'de ki talaş görüntüsünden anlaşılmaktadır. Eksenel sapmalar kesicinin ilerleme yönünde f değerinin artmasına ve sonrasında azalmasına



Şekil 4. CMM ölçüm düzeneği (CMM measuring setup)

Tablo 5. Deneysel sonuçlar (Experimental results)

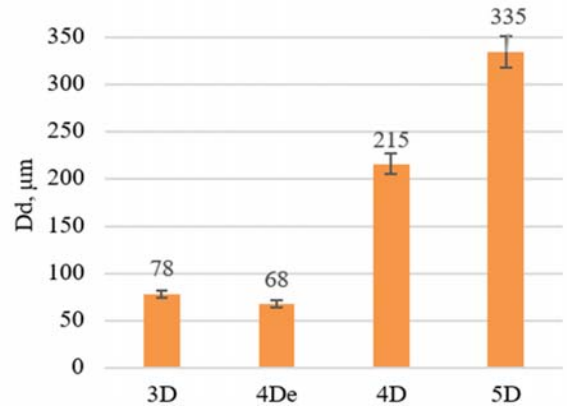
		3D			*4D*			*4De*			*5D*		
Vc, m/dak	f, mm/dev	Dd, µm	Ci, µm	Cy, µm	Dd, µm	Ci, µm	Cy, µm	Dd, µm	Ci, µm	Cy, µm	Dd, µm	Ci, µm	Cy, µm
200	0,06	11	34	117	168	44	144	57	15	47	360	62	453
200	0,09	17	46	200	205	49	299	76	17	30	279	92	318
200	0,12	83	33	77	166	54	167	91	27	54	450	66	274
250	0,06	47	35	173	214	50	210	52	15	40	381	126	375
250	0,09	122	32	110	151	40	110	54	18	39	385	58	363
250	0,12	103	32	130	365	31	187	62	21	30	410	50	310
300	0,06	46	27	131	95	42	170	100	19	80	218	38	113
300	0,09	83	31	135	228	28	156	63	18	23	304	51	196
300	0,12	193	43	177	344	33	203	54	30	79	225	42	127



a) b)

Şekil 5. a) Deliğin girişi, b) deliğin çıkışı (a) inlet of the hole, b) exit of the hole)

neden olmaktadır [32]. Bu durum kesilen talaş kalınlığını ani olarak artırmakta ve azaltmaktadır. Bundan dolayı kesme kuvvetleri ani olarak artar ve azalır sonrasında delik tabanında dalgalı bir yüzey meydana gelir [35]. 3D, 4D ve 5D'de LD oranın artmasıyla beraber yanal titreşimler artarak Dd değerlerini artırmıştır. 4De'de ise yanal titreşimler yerine yüksek frekanslı burulma-eksenel titreşimler meydana gelmiştir. Burulma-eksenel titreşimler ise daha düşük boyut ve şekil toleranslarını oluşturmuştur.

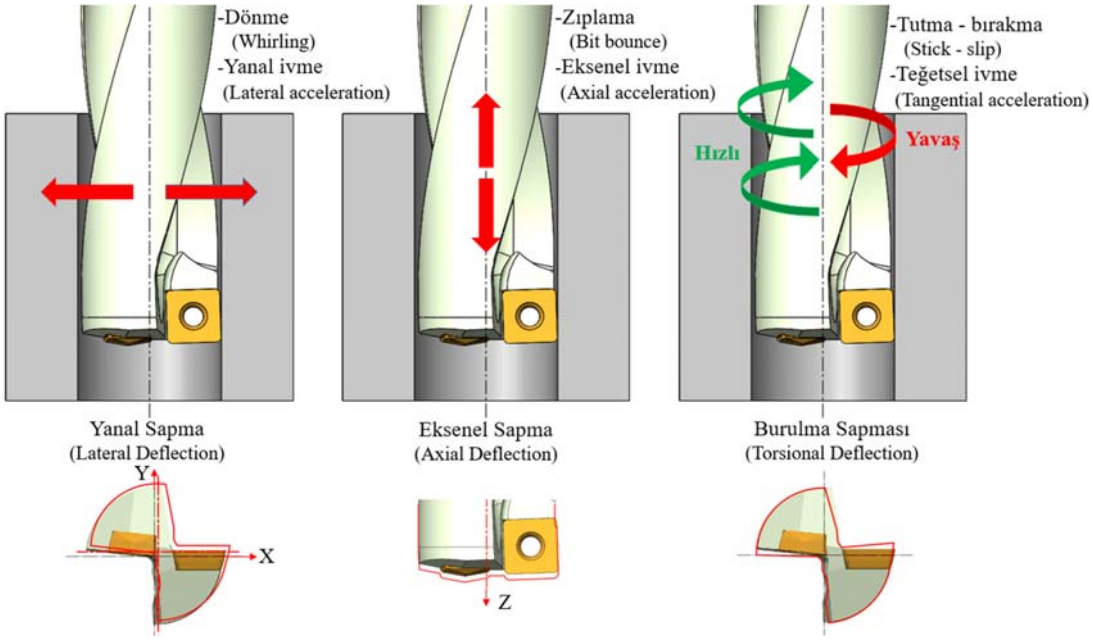


Şekil 6. U matkapların çaptan sapma ortalamaları
(Average deviation from diameter of U drills)

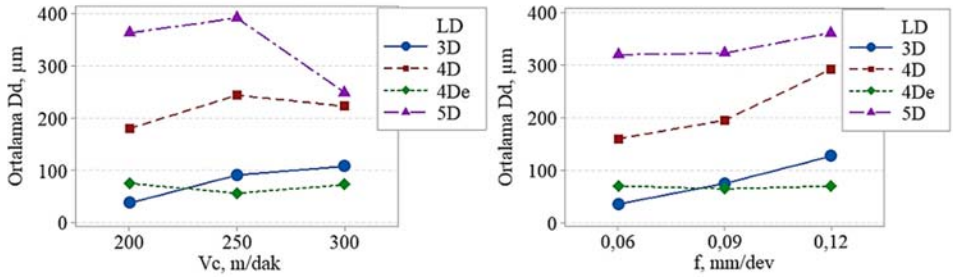
Şekil 8'de Vc ve f'e göre Dd'nin ortalamaları gösterilmektedir. U matkaplarda 200 m/dak Vc'den 250 m/dak Vc'ye Dd değerleri artarken 4De için Dd değeri bir miktar azalmıştır. 250 m/dak Vc'den 300 m/dak Vc'ye 3D ve 4De için Dd değerleri artarken, 4D ve 5D için azalmıştır. Dd değerleri f'in artmasına paralel olarak artarken 4De için hemen hemen aynı değerlerde kalmıştır. Vc'nin artmasıyla kesici takım ve delik duvarı arasında birim zamandaki sürtünme sayısı artmakta ve boşta geçen süre azalmaktadır [37]. Vc ve/veya f'in artmasıyla beraber titreşim, tırlama ve sıcaklığın etkisiyle beraber Dd'nin arttığı ifade edilmiştir [8, 38]. Mevcut çalışmada ise 250 m/dak Vc değerinden sonra 4D ve 5D'nin Dd değerleri azalmıştır.

Deliğin girişinden deliğin çıkışına Dd'nin değişimi Şekil 9'da yer almaktadır. Şekil incelendiğinde deliğin girişindeki en düşük Dd değeri 3D ile elde edilmişken en yüksek değer 5D ile elde edilmiştir. Deliğin ortasında ve deliğin çıkışında en düşük değer 4De ile elde edilmişken en yüksek değer 5D ile elde edilmiştir. Deliğin girişi, ortası ve çıkışı dikkate alındığında bir birine en yakın Dd değişimi 4De için elde edilmiştir. Bu durum yanal titreşimlerin olmamasına veya en az olmasına atfedilmiştir. En fazla değişim ise 5D ile elde edilmiştir.

Alüminyum malzemelerin işlenmesinde delik yüzeyine ve kesici takımlara malzeme sıvanmasından dolayı delik kalitesi kötüleşmektedir [4]. Alüminyumun bu yapısından dolayı geometrik kaliteye dikkat etmek gerekir. Normal helisel matkaplarda radyal ağızdan dolayı, matkabın parçaya temasında bir miktar gezme olayı

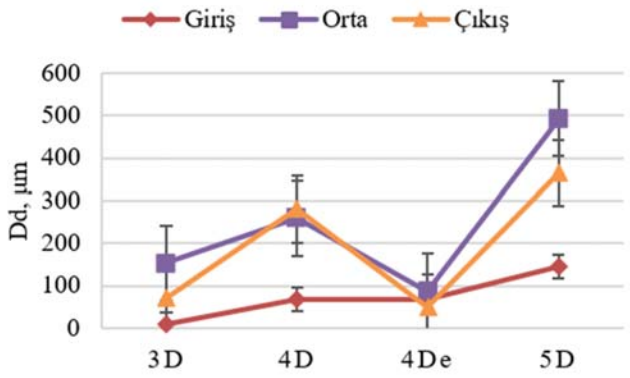


Şekil 7. Takım sapmaları (Tool deflections)



Şekil 8. Vc ve f'nin Dd'ye etkisi (Effect of Vc and f on Dd)

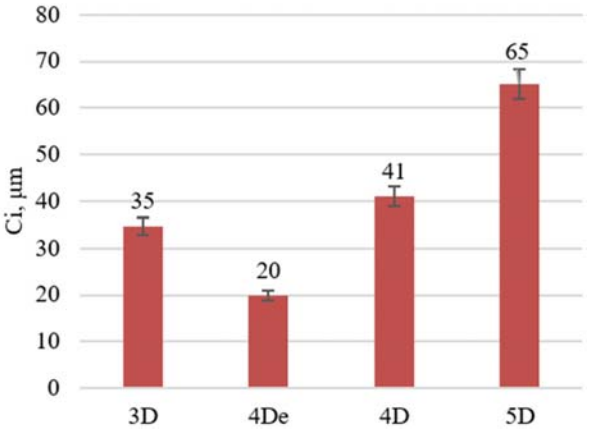
meydana gelmektedir. Bundan dolayı deliğin girişindeki çap, delik çıkışındaki çaptan daha büyük olmaktadır [4, 39]. Ancak U matkaplarda ise radyal ağız olmadığı için böyle bir gezme olayı meydana gelmemektedir [27]. Bundan dolayı deliğin girişindeki Dd değeri deliğin çıkışındaki değerden daha düşüktür.



Şekil 9. Delik derinliği ile Dd'nin değişimi
(Variation of Dd with hole depth)

3.2. Dairesellikten Sapma (Deviation from Circularity)

Dairesellikten sapmayı (Ci) ölçmek için çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemlerden biri CMM ile ölçmedir. Bu çalışmada Ci, CMM kullanılarak ölçülmüştür. Ci, şekil toleransı kapsamında iki boyutlu bir geometrik tolerans olarak değerlendirilmektedir. Dairesellikten sapma, bir dairenin orijinal şeklindeki bozulma olarak tanımlanabilir. Bu tanıma göre her dairesel kesitin çevre çizgisi aynı düzlemde bulunan ortak merkezli iki daire arasında bulunmak zorundadır. Ci için deneysel sonuçlar Tablo 5'te bulunmaktadır. Tablo 5'e göre en düşük Ci değeri (15 µm) 4De ile en düşük f ve en düşük - orta Vc kombinasyonunda oluşmuştur. En büyük Ci değeri (126 µm) 5D U matkap ile en küçük f ve orta Vc kombinasyonunda elde edilmiştir. Her bir U matkap için yapılan 9 deneyin ortalaması alınarak Şekil10'da ki Ci değerleri hesaplanmıştır. Buna göre Ci ortalamaları 3D için 35 µm, 4De için 20 µm, 4D için 41 µm ve 5D için 65 µm olarak hesaplanmıştır. U matkap LD arttıkça Ci artmaktadır. Yukarıda anılan titreşim modlarının ve takım sapmalarının etkisiyle Dd'de olduğu gibi Ci'de de yüksek değerler elde edilmiştir. Aynı nominal çapa sahip 4D U matkaplara bakıldığında ise ekstra soğutucu deliği olan 4De ile en düşük deneysel değerler elde edilmiştir. 4D ye göre 4De'de %51,2 oranında daha düşük ortalama Ci değeri elde edilmiştir. 4De de meydana gelen bu düşük değerler yanal takım sapmasının olmamasına veya çok az olmasına, burulma-eksenel titreşimlerinin etkisiyle talaşların daha erken koparak talaş tahliye kanalından atılmasına atfedilmiştir. Böylelikle talaşlar kesici gövdesiyle ve delik duvarıyla daha az temas etmiştir [40]. Bunun neticesinde de sıvanma ve yapışma daha az meydana gelerek Ci değerleri artmamıştır.

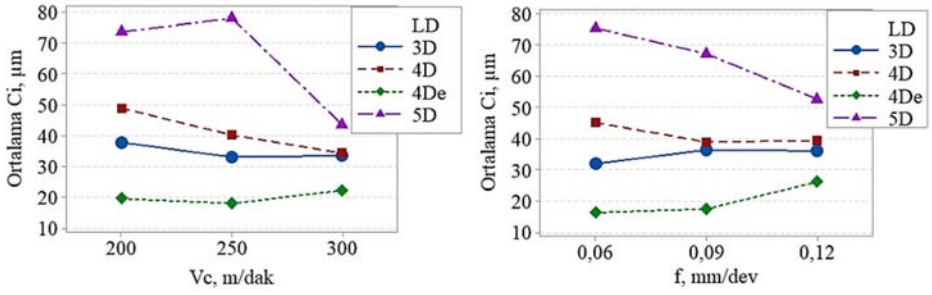


Şekil 10. U matkapların dairesellikten sapma ortalamaları (Average deviation from circularity of U drills)

Şekil 11 Vc ve f'e göre Ci'nin ortalamalarını göstermektedir. U matkaplarda düşük Vc'den orta Vc' ye Ci değerleri azalırken 5D için Ci değeri bir miktar artmıştır. Orta Vc'den yüksek Vc'ye 3D ve 4De için Ci değerleri çok az artarken, 4D ve 5D için azalmıştır. Ci değerleri f'in düşük değerden orta değere yükselmesiyle 3D ve 4De için bir miktar artarken 4D ve 5D için azalmıştır. Orta f'ten yüksek f'e artışta 4De için Ci değeri artmış, 5D için azalmış 3D ve 4D için hemen hemen aynı değerlerde kalmıştır. Vc ve f'de ki artışla beraber dinamik rijitsizlik (instability) ve titreşimlerin sonucunda Ci'nin arttığı ifade edilmektedir [8].

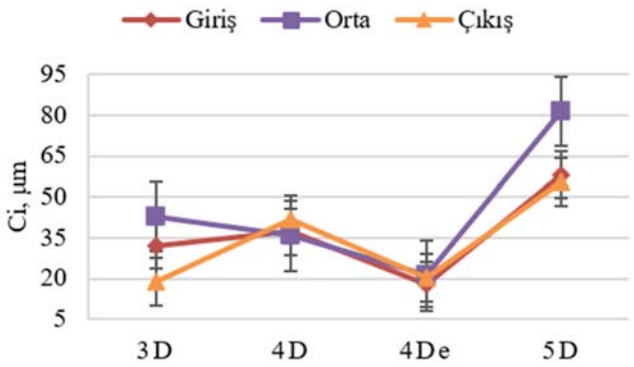
Deliğin girişinden deliğin çıkışına Ci'nin değişimi Şekil 12'de yer almaktadır. Şekil incelendiğinde deliğin girişi ve ortası için en düşük değer 4De ile elde edilirken en yüksek değer 5D ile elde edilmiştir. Deliğin çıkışı için en düşük değer 3D ile elde edilmişken en yüksek değer 5D ile elde edilmiştir. 3D ve 5D için en yüksek Ci değerleri deliğin ortasında meydana gelmiştir. Deliğin girişi, ortası ve çıkışı dikkate alındığında bir birine en yakın Ci değişimi 4De için elde edilmiştir. Yani eksenel sapmanın en az olduğu U Matkabın 4De olduğu şekil incelendiğinde söylenebilir. Kararsız bir kesimde daireselliğin deliğin girişine göre çıkışında daha kötü olduğu bulunmuştur [41]. Delik derinliğinin artmasıyla beraber Ci'de artma ve azalmalar meydana gelmiştir [8].Normal helisel matkaplarda, ilk deliğe girişlerde matkabın gezmesinden dolayı deliğin girişinde daha büyük Ci değerleri oluşur [8]. Bundan dolayı Ci geometrisi üçgen veya beşgen şekilli olabilir [39]. Ancak U matkaplarda radyal ağız olmadığı için gezme meydana gelmemekte ve Ci daha düzgün bir şekilde oluşmaktadır.

U matkap gövdesine yapışan alüminyum talaşların ve gövde boyunun artmasıyla beraber titreşimin artmasının en yüksek Ci değerlerinin oluşmasına neden olduğu düşünülmektedir. Normal helisel matkaplarda f'in artmasıyla beraber Ci artarken [8], 5D U matkap için



Şekil 11. Vc ve f'nin Ci'ye etkisi (Effect of Vc and f on Ci)

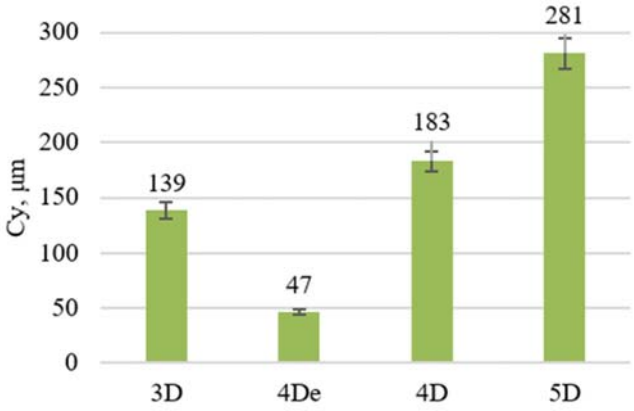
f'in artmasıyla beraber Ci de azalma meydana gelmiştir. Bu durumun f'in artmasıyla talaş tahliyesinin daha kolay olmasına atfedilmiştir.



Şekil 12. Delik derinliği ile Ci'nin değişimi
(Variation of Ci with hole depth)

3.3. Silindiriklikten Sapma (Deviation from Cylindricity)

Silindiriklikten sapma hatası (Cy) DIN ISO 1101 standartlarında ve şekil toleransları içerisinde yer almaktadır. Silindiriklikten sapma, üç boyutlu bir geometrik toleranstır. Bir deliğin ihtiyaç duyulan toleranslar içerisinde ve kalitede olabilmesi için Cy önemli bir yer arz etmektedir. Standartlara göre Cy'nin tolerans değeri ölçüsünde et kalınlığına sahip olan bir boru içinde olması gerekir. Cy'nin deneysel sonuçları Tablo 5'te bulunmaktadır. Tablo 5'te en düşük Cy (23 µm) 4D U matkap ile en yüksek f ve orta Vc değerlerinde elde edilmiştir. En yüksek Cy (453 µm) ise 5D U matkap ile en düşük f ve en düşük Vc değerinde elde edilmiştir. Her bir U matkap için yapılan 9 deneyin ortalaması alınarak Cy hesaplanmıştır. Hesaplanan değerlere göre Şekil 13 oluşturulmuştur. Şekil 13'e göre Cy ortalamaları 3D için 139 µm, 4De için 47 µm, 4D için 183 µm ve 5D için 281 µm hesaplanmıştır. En düşük değer ise 4De U matkap ile elde edilmiştir. Aynı nominal çapa sahip 4D U matkaba göre 4De %74,3 daha düşük Cy değeri vermiştir. 4De U matkabın merkezi ucunun bulunduğu talaş tahliye kanalına ekstra üçüncü bir soğutma deliği açılmıştır. 4De U matkaba açılan ekstra üçüncü soğutucu deliği gövdenin rijitliğini azaltmıştır. Ancak bu azalma boyut ve şekil toleranslarına olumlu katkı sağlamıştır. Ekstra açılan deliğin burulma-eksenel titreşimler ile beraber talaş akışını değiştirerek Cy değerlerinde azalmaya neden olduğu düşünülmektedir. Ekstra soğutucu deliği olmayan 3D, 4D ve 5D için ise yanal titreşimlerin meydana gelmesiyle beraber geometrik kalite ölçeklerinde azalma meydana gelmiştir. LD oranlarının artmasıyla beraber talaş tahliye problemleri meydana gelmiştir. Talaş tahliye problemlerinin yüksek torka neden olarak daha yüksek silindirikliğe neden olduğu belirtilmiştir [42]. Şekil 14 Vc ve f'e göre Cy'nin ortalamalarını göstermektedir. U matkaplarda düşük Vc'den orta Vc' ye Cy değerleri hemen hemen değişmemekle beraber 4D'de Cy biraz azalmıştır. Orta Vc'den yüksek Vc'ye 3D, 4D ve 4De için Cy değerleri çok az artarken, 5D için Cy belirgin şekilde azalmıştır. Cy değerleri f'in düşük değerden orta değere yükselmesiyle 3D ve 4D için bir miktar artarken 4De ve 5D için azalmıştır. Orta f'ten yüksek f'e artışta 3D ve 5D azalırken, 4D ve 4De için Cy değeri bir miktar artmıştır. 5D'de Vc ve f'nin artmasıyla beraber Cy değerlerinin azalması yanal titreşimlerin azalmasına atfedilmiştir. Bununla beraber delme işleminde meydana gelen ısı yüksek oranda talaşla atılmaktadır. Vc ve f'nin artmasıyla beraber talaş hızı artarak delik içinde kalma süresi azalmıştır [40]. Böylelikle sıvanma veya yapışma daha az olmuş ve talaş tahliyesinin hızlanması ile Cy değerleri azalmıştır. Vc, f 'nin artmasıyla silindirikliğin daha kötüleştiği, kesme derinliği ile kararsız bir durumun meydana geldiği literatürde de ifade edilmiştir [43].

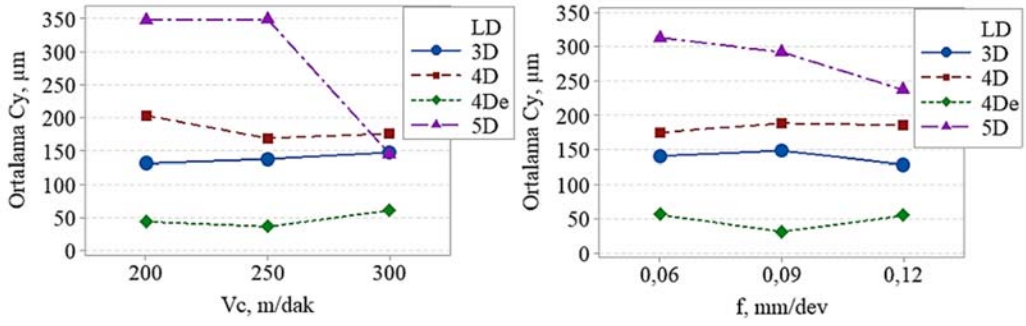


Şekil 13. U matkapların silindiriklikten sapma ortalamaları (Average deviation from cylindricality of U drills)

3.4. Kesici Görünümü, Kapak ve Talaşlar
(Cutter View, Disk and Chips)

Çevresel uç ve merkezi uçların delik delme işlemi sonrasında görüntüleri alınmıştır. Şekil 15'te yer alan çevresel uçlar incelendiğinde en az sıvanmanın olduğu kesici uç 3D gövde de kullanılan uçtur. 4D'ye takılı olan kesici uç için sıvanma 3D'den biraz daha fazla olmuştur. 4De'de kullanılan kesici uç incelendiğinde ise kesimden etkilenerek sıvanmanın olduğu bölge en büyüktür. 4De'de oluşan bu durum, rijitsizlik neticesinde delik tabanında oluşan dalgalı yüzeye atfedilmiştir [32]. 5D'de kullanılan kesici uçta ise tanecik kopması (chipping) meydana gelmiştir.

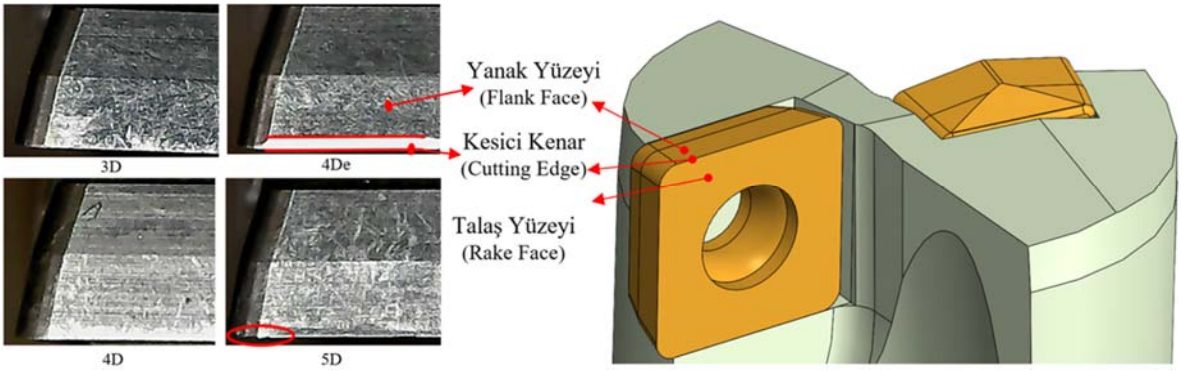
Şekil 16'da yer alan merkezi uçlar incelendiğinde 4De dışındaki tüm U matkaplarda kullanılan kesici uçların sırt kısmına daha fazla sıvanma meydana gelmiştir. 4De'ye ise hemen hemen başladığı



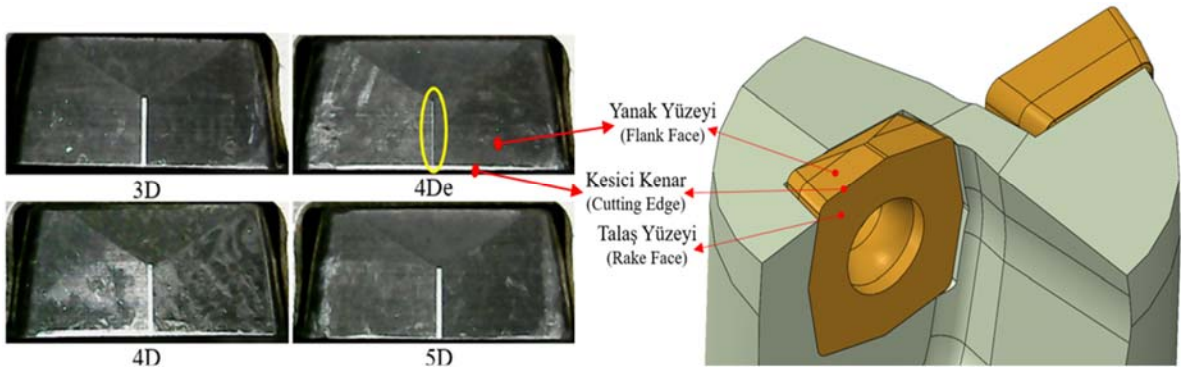
Şekil 14. Vc ve f'nin Cy'ye etkisi (Effect of Vc and f on Cy)

şekilde delme işlemi sonuçlanmıştır. 3D, 4D ve 5D'nin daha fazla yanal titreşime uğrayarak bu sonucun oluştuğu düşünülmektedir.

Tüm U matkaplar için elde edilen talaşlar incelenmiştir. 200 m/dak–0,06 mm/dev ve 300 m/dak–0,12 mm/dev'de tüm U matkaplar da meydana gelen talaş görüntüleri ile Şekil 17 oluşturulmuştur. Şekil 17 incelendiğinde düşük Vc ve düşük f için 3D ve 4De'de koni şeklinde daha düzenli talaşlar meydana gelirken 4D ve 5D'de daha düzensiz hatta sıkışan talaşlar meydana gelmiştir. Bu durum LD oranının artmasıyla beraber talaş tahliyesinin daha zor olduğuna atfedilmiştir. Yüksek Vc ve yüksek f için tüm U matkaplarda talaşlar daha kalın ve daha düzensiz oluşmuştur. Özellikle 5D ile elde edilen sürekli talaşlar delik kalitesini olumsuz bir şekilde etkilemiştir [44]. Şekil 18 incelendiğinde 4D'ye göre 4De'de talaşlar üzerinde titreşim nedeniyle oluşan dalgalı tırlama (chatter) izleri görülmektedir [34]. Vc ve f'nin artmasıyla tırlama izleri daha belirgin hale gelerek talaş kenarlarında yırtılmalara neden olmuştur. Benzer görüntüler literatürde de bulunmaktadır. Alüminyum alaşımlarının delinmesinde talaşların kesme bölgesinden uzaklaştırılması konusunda en büyük sorunun matkap üzerine talaşların sıvanması olduğu da ifade edilmiştir [45, 46]. Şekil 19'da ki delik içi görüntüsünü almak için iş parçaları ortadan ikiye kesilmiştir. 4De ile delinen delik 4D ile delinen deliğe göre daha iyi yüzey kalitesine sahiptir. 4D ile delinen delikte talaş yapışmaları ve sıvanmaları 4De'ye göre oldukça fazladır. 4D'de delik tabanına yaklaşırken kanallar dikkati çekmektedir. Bu kanalların delik derinliğinin artmasıyla beraber talaşların sıvanması/tıkanması durumunda kesicinin yavaşlaması ve kurtulması sonucu hızlanmasıyla oluştuğu değerlendirilmektedir [47].



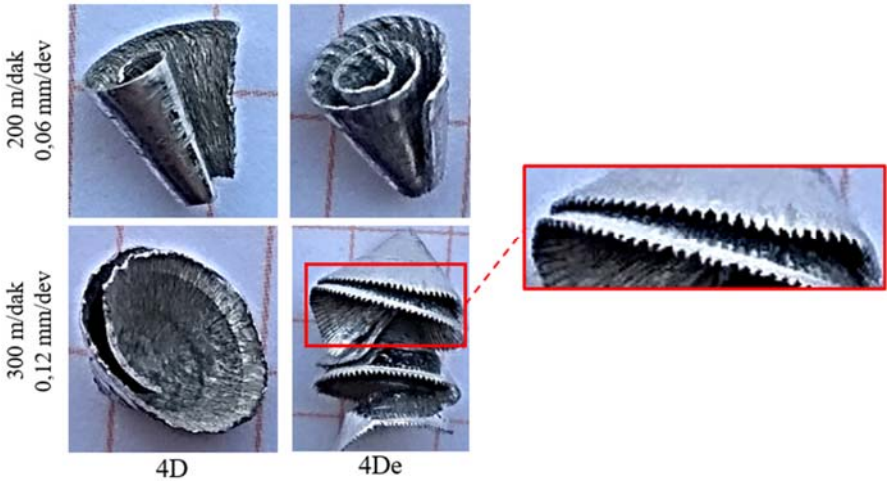
Şekil 15. Kullanılmış çevresel uçlar (Used peripheral inserts)



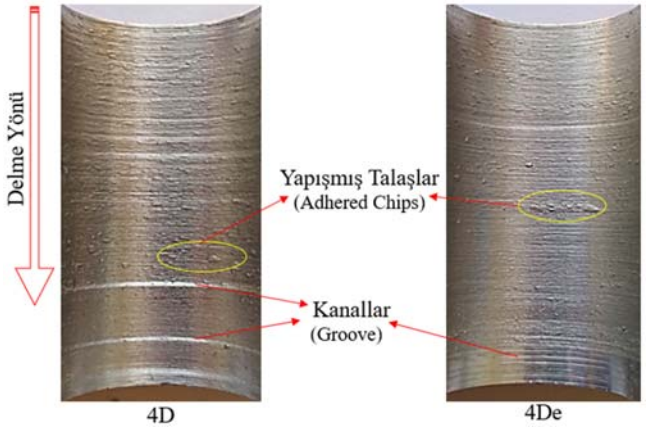
Şekil 16. Kullanılmış merkezi uçlar (Used central inserts)



Şekil 17. Talaşlar (Chips)



Şekil 18. Ekstra soğutucu deliğin etkisi (Effect of extra coolant hole)



Şekil 19. Delik içi yüzeyi (In-hole surface)

4. Sonuçlar (Conclusions)

Bu çalışmada belirlenen kesme parametrelerinin delik delmeye etkisi, Dd, Ci ve Cy ile karşılaştırılmıştır. Her bir çıktı yanıtı grafikler kullanılarak yorumlanmıştır. Verilerin aralarındaki uyum veya uyumsuzluklar tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu çalışma ile AA 2024-T351 malzemesinin farklı uzunluk/çap oranı ve ekstra soğutucu deliğe sahip olan U matkaplar kullanılarak delinmesinin Dd, Ci ve Cy üzerindeki etkileri, belirlenen kesme parametrelerine göre tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- 3D, 4D ve 5D için LD oranının artmasıyla beraber U matkabın rijitliği azalmıştır. Böylelikle yanal, eksenel ve burulma titreşimleri uyarılmıştır. Bu titreşimlerin etkisiyle Dd, Ci ve Cy artan LD oranına paralel olarak artmıştır. 4De ise ekstra açılan soğutucu deliğe girmeye çalışan talaşların etkisiyle burulma-eksenel titreşimler meydana gelmiştir. Bu titreşimler ise boyutsal ve geometrik ölçüleri bozmamış aksine daha düşük değerlerin meydana gelmesine neden olmuştur.
- En düşük Dd (11 µm) 3D U matkap ile en düşük f ve en düşük Vc'de elde edilirken, en yüksek Dd (450 µm) 5D U matkap ile en düşük Vc, en yüksek f'de gerçekleşmiştir. Ekstra soğutucu deliği olan 4De, olmayan 4D U matkaba göre %68,4 daha düşük Dd vermiştir.
- En düşük Ci (15 µm) 4De U matkap ile en düşük f ve en düşük-orta Vc'de elde edilirken, en yüksek Ci (126 µm) 5D U matkap ile orta Vc, en küçük f'de gerçekleşmiştir. Ekstra soğutucu deliği olan 4De, olmayan 4D U matkaba göre %51,2 daha düşük Ci vermiştir.
- En düşük Cy (23 µm) 4De U matkap ile en yüksek f ve orta Vc'de elde edilirken, en yüksek Cy (453 µm) 5D U matkap ile en küçük Vc, en küçük f'de gerçekleşmiştir. Ekstra soğutucu deliği olan 4De, olmayan 4D U matkaba göre %74,3 daha düşük Cy vermiştir.
- U matkap LD oranı arttıkça ekstra soğutucu deliği olan 4De U matkap dışında Dd, Ci ve Cy değerleri artmıştır. En küçük ortalama değerler tüm çıktı parametreleri için 4De ile elde edilmiştir. U matkaplardaki ekstra soğutucu deliği boyutsal ve şekil toleranslarını açık bir şekilde olumlu etkilemiştir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından 07/2019-08 kodu ile desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı araştırmacılar Gazi Üniversitesi BAP birimine teşekkür ederler.

Kaynaklar (References)

1. Campbell F. C., Elements of metallurgy and engineering alloys, ASM International, Materials Park, Ohio, A.B.D., 2008.
2. Aamir M., Giasin K., Tolouei-Rad M., Vafadar A., A review: Drilling performance and hole quality of aluminium alloys for aerospace applications, J. Mater. Res. Technol., 9 (6), 12484-12500, 2020.
3. Davis J., Metals Handbook, ASM International, Materials Park, Ohio, A.B.D., 1998.
4. Giasin K., Hodzic A., Phadnis V., Ayvar-Soberanis S., Assessment of cutting forces and hole quality in drilling Al2024 aluminium alloy: experimental and finite element study, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 87 (5), 2041-2061, 2016.
5. Saunders L. K. L., Mauch C. A., An exit burr model for drilling of metals, J. Manuf. Sci. Eng., 123 (4), 562-566, 2001.
6. List G., Girot F., On the optimisation of machining parameters for dry drilling of aeronautic aluminium alloy, J. Phys. IV France, 110, 471-476, 2003.
7. Ralph W. C., Johnson W. S., Toivonen P., Makeev A., Newman Jr J., Effect of various aircraft production drilling procedures on hole quality, Int. J. Fatigue, 28 (8), 943-950, 2006.
8. Kurt M., Kaynak Y., Bagci E., Evaluation of drilled hole quality in Al 2024 alloy, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 37 (11), 1051-1060, 2008.
9. Kurt M., Bagci E., Kaynak Y., Application of Taguchi methods in the optimization of cutting parameters for surface finish and hole diameter accuracy in dry drilling processes, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 40 (5), 458-469, 2009.
10. Lauderbaugh L. K., Analysis of the effects of process parameters on exit burrs in drilling using a combined simulation and experimental approach, J. Mater. Process. Technol., 209 (4), 1909-1919, 2009.

11. Zitoune R., Krishnaraj V., Collombet F., Study of drilling of composite material and aluminium stack, Compos. Struct., 92 (5), 1246-1255, 2010.

12. Krishnaraj V., Zitoune R., Collombet F., Davim J. P., Challenges in drilling of multi-materials, Mater. Sci. Forum, 763, 145-168, 2013.

13. Davoudinejad A., Ashrafi S. A., Hamzah R. I. R., Niazi A., Experimental analysis of wear mechanism and tool life in dry drilling of Al2024, Advanced Materials Research, 566, 217-221, 2012.

14. Lastnosti V., Vrtanju H., Influence of the process parameters and the mechanical properties of aluminum alloys on the burr height and the surface roughness in dry drilling, Mater. Tehnol., 46 (2), 103-108, 2012.

15. Neto F., Gerônimo T. M., Cruz C. E. D., Aguiar P. R. d., Bianchi E., Neural models for predicting hole diameters in drilling processes, Procedia CIRP, 12, 49-54, 2013.

16. Barani A., Amini S., Paktinat H., Tehrani A. F., Built-up edge investigation in vibration drilling of Al2024-T6, Ultrasonics, 54 (5), 1300-1310, 2014.

17. Zhu Z., Guo K., Sun J., Li J., Liu Y., Zheng Y., Chen L., Evaluation of novel tool geometries in dry drilling aluminium 2024-T351/titanium Ti6Al4V stack, J. Mater. Process. Technol., 259, 270-281, 2018.

18. Zhu Z., He B., Chen J., Evaluation of tool temperature distribution in MQL drilling of aluminum 2024-T351, J. Manuf. Processes, 56, 757-765, 2020.

19. Aamir M., Tolouei-Rad M., Giasin K., Vafadar A., Feasibility of tool configuration and the effect of tool material, and tool geometry in multi-hole simultaneous drilling of Al2024, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 111 (3), 861-879, 2020.

20. Aamir M., Tolouei-Rad M., Giasin K., Vafadar A., Machinability of Al2024, Al6061, and Al5083 alloys using multi-hole simultaneous drilling approach, J. Mater. Res. Technol., 9 (5), 10991-11002, 2020.

21. Parsian A., Regenerative Chatter Vibration in Indexable Drills: Modeling and Simulation, PhD Thesis, University West, Production Technology, Trollhättan, Sweden, 2018.

22. Heisel U., Schaal M., Burr formation in short hole drilling with minimum quantity lubrication, Prod. Eng., 3 (2), 157-163, 2009.

23. Biermann D., Hartmann H., Reduction of burr formation in drilling using cryogenic process cooling, Procedia CIRP, 3, 85-90, 2012.

24. Kaymakci M., Kilic Z., Altintas Y., Unified cutting force model for turning, boring, drilling and milling operations, Int. J. Mach. Tools Manuf., 54, 34-45, 2012.

25. Kilic Z., Altintas Y., Generalized mechanics and dynamics of metal cutting operations for unified simulations, Int. J. Mach. Tools Manuf., 104, 1-13, 2016.

26. Kilic Z., Altintas Y., Generalized modelling of cutting tool geometries for unified process simulation, Int. J. Mach. Tools Manuf., 104, 14-25, 2016.

27. Rahman M., Seah K., Venkatesh V., Performance evaluation of endrills, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 28 (4), 341-349, 1988.

28. Venkatesh V., Xue W., A study of the built-up edge in drilling with indexable coated carbide inserts, Journal of Materials Processing Technology, 58 (4), 379-384, 1996.

29. Varatharajulu M., Shahithya R., Jayaprakash G., Baskar N., Davim J. P., Evaluation of desirability function approach and grey relation analysis for modeling circularity, perpendicularity and cylindricity in drilling magnesium AZ31, Proc. Inst. Mech. Eng., Part E: J. Process Mech. Eng., 235 (2), 238-248, 2021.

30. Yaman K., Bıçakçı N., Özgedik A., Matkap boyunun delik toleranslarına etkisinin incelenmesi, Journal of Polytechnic, 20 (4), 765-775, 2017.

31. Jiao A., Zhang G., Liu B., Liu W., Study on improving hole quality of 7075 aluminum alloy based on magnetic abrasive finishing, Adv. Mech. Eng., 12 (6), 1687814020932006, 2020.

32. Ahmadi K., Altintas Y., Stability of lateral, torsional and axial vibrations in drilling, Int. J. Mach. Tools Manuf., 68, 63-74, 2013.

33. Arvajeh T., Ismail F., Machining stability in high-speed drilling—Part 1: Modeling vibration stability in bending, Int. J. Mach. Tools Manuf., 46 (12-13), 1563-1572, 2006.

34. Abele E., Schäfer D., A New Approach for a Simulation-Based Prediction of Torsional Chatter in Deep Hole Drilling With Extra-Long Twist Drills, Proceedings of the ASME 2013 International Manufacturing Science and Engineering Conference, Madison, Wisconsin, USA, 1-7, June 10-14, 2013.

35. Abele E., Ellermeier A., Hohenstein J., Tschannerl M., Tool length influence on wear behaviour of twisted carbide drills, Prod. Eng., 1 (1), 51-56, 2007.

36. Ema S., Marui E., Theoretical analysis on chatter vibration in drilling and its suppression, J. Mater. Process. Technol., 138 (1-3), 572-578, 2003.

37. Dilipak H., Yılmaz V., Investigation of vibrations and statistical analysis in milling of AISI 1050 steel with carbide tools, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 27 (2), 285-294, 2012.

38. Silva W., Jesus L., Carneiro J., Souza P., Martins P., Trava-Airoldi V., Performance of carbide tools coated with DLC in the drilling of SAE 323 aluminum alloy, Surf. Coat. Technol., 284, 404-409, 2015.

39. Abdelhafeez A., Soo S., Aspinwall D., Dowson A., Arnold D., Burr formation and hole quality when drilling titanium and aluminium alloys, Procedia Cirp, 37, 230-235, 2015.

40. Yağmur S., Acir A., Şeker U., Günay M., An experimental investigation of effect of cutting parameters on cutting zone temperature in drilling, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 28 (1), 1-6, 2013.

41. Bayly P. V., Metzler S. A., Schaut A. J., Young K. A., Theory of torsional chatter in twist drills: model, stability analysis and composition to test, J. Manuf. Sci. Eng., 123 (4), 552-561, 2001.

42. Ascroft H., Dewes R., Aspinwall D., The use of soft/lubricating coatings when dry drilling BS L168 aluminium alloy, Surf. Coat. Technol., 177, 716-726, 2004.

43. Sheth S., George P., Experimental investigation, prediction and optimization of cylindricity and perpendicularity during drilling of WCB material using grey relational analysis, Precis. Eng., 45, 33-43, 2016.

44. Abbas C. A., Huang C., Wang J., Wang Z., Liu H., Zhu H., Machinability investigations on high-speed drilling of aluminum reinforced with silicon carbide metal matrix composites, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 108, 1601-1611, 2020.

45. Aydın E., Nalbant M., The effect of drill point angles on drillability in CFRP/Al-7075 stacking drilling, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 35 (2), 917-932, 2020.

46. Muharrem P., Özerkan H. B., The effect of cutting depth and cutting tool geometry on surface roughness and tool wear behavior in the machining of Al 6061 alloy, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 37 (4), 2013-2024, 2022.

47. Barış Ö., Akgün M., Demir H., Evaluation of the effect of hot forging and cooling conditions on the microstructure, hardness and machinability of medium carbon DIN 41Cr4 steel, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 38 (1), 231-244, 2023.