



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/index>

Matkap boyunun delik toleranslarına etkisinin incelenmesi

Investigation of the drill length effect on hole tolerances

Yazar(lar) (Author(s)): Kemal YAMAN, Nuri BIÇAKÇI, Ali ÖZGEDİK

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Yaman K., Bıçakçı N. ve Özgedik A., “Matkap boyunun delik toleranslarına etkisinin incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 20(4): 765-775, (2017).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.368982

Matkap Boyunun Delik Toleranslarına Etkisinin İncelenmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Kemal YAMAN^{1*}, Nuri BIÇAKÇI¹, Ali ÖZGEDİK²

¹Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, Savunma Araştırma Geliştirme Enstitüsü (TÜBİTAK SAGE), Ankara, Türkiye

²Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümü, 06500, Beşevler, Ankara, Türkiye

(Geliş/Received : 21.06.2017 ; Kabul/Accepted : 21.07.2017)

ÖZ

Bu çalışmada, Ti6Al4V alaşımının, daha önce yapılan deneyler sonucunda belirlenen en uygun kesme parametrelerine göre uzun ve kısa HSS matkap ile delinerek takım boyunun delik toleranslarına olan etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, 8 mm çapında kaplamasız kısa ve uzun HSS matkaplar kullanılarak 3 eksen CNC freze tezgâhında 25.40 mm kalınlığında Ti6Al4V alaşım plakaya delikler delinmiştir. Nominal delik çapları ile ortalama eşeksensellikten, diklikten ve dairesellikten sapma değerleri ölçülmüştür. Matkaplardaki takım aşınma görüntüleri dijital mikroskop ile incelenmiştir. Kısa ve uzun HSS takımlarda aynı kesme şartlarında uygulanan delme operasyonları sonucunda, uzun takımındaki takım aşınmasının kısa takıma göre daha az olduğu, buna karşın uzun matkap tarafından delinen deliklerin çap boyutsal ve geometrik tolerans değerlerinin kısa takıma göre daha kötü olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Ti6Al4V, takım boyu, takım aşınması, delik çapı, geometrik tolerans.

Investigation of The Drill Length Effect on Hole Tolerances

ABSTRACT

In this study, the effect of tool length on hole tolerance of Ti6Al4V alloy was examined by drilling with long and short HSS drill according to the most suitable cutting parameters determined by previous experiments. For this purpose, holes were drilled in a Ti6Al4V alloy plate with a thickness of 25.40 mm in a 3-axis CNC milling machine using 8 mm diameter uncoated short and long HSS drills. Nominal hole diameters and deviations from the mean concentricity, perpendicularity and circularity are measured. Tool wear images on drills were investigated with a digital microscope. As a result of the drilling operations applied with short and long HSS tools under the same cutting conditions, it was found that the tool wear in the long tool was less than that in the short one, whereas the dimensional and geometric tolerances of the holes drilled by the long drill were worse than the short tool.

Keywords: Ti6Al4V, drilling, tool wear, hole diameter, geometric tolerance.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Talaşlı imalatta takım ve tezgâh titreşimleri, imal edilen parçanın boyutsal tamliğini ve yüzey kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Delik delme işleminde, matkap üzerinde meydana gelen titreşimler istenmeyen delik şekil hataları ve boyutsal toleranslara sebep olmaktadır. Hassas üretim, yüksek yüzey kalitesi ve uzun takım ömrü için delme operasyonu konusunda onlarca çalışma yapılmış ve hala da yapılmaktadır. Günümüzde, yüksek hızlı işleme ve hassasiyet gereksinimleri araştırmacıları bu olayın arka planını anlamaya zorlamaktadır. Bu çalışmada, helisel matkap ile delme operasyonunu etkileyen parametreler içerisinde önemli bir etkiye sahip olan matkap bağlama boyunun delik toleranslarına olan etkisi diğer işleme parametreleri sabit tutularak incelenmiştir. Bu konuda, literatürde yapılmış benzer bazı çalışmalara, özet olarak, aşağıda yer verilmiştir.

Helisel matkap ile delme operasyonunda burulma zırlaması (ing. torsional chatter) üzerine literatürde sayısız çalışma yapılmıştır. Delme verimliliğini ve takım ömrünü arttırmak için yapılan bir çalışmada, Abele ve Schafer [1], derin delik delme işleminde burulma zırlamasını önceden tahmin edebilecek bir sayısal model geliştirmişlerdir. Bu süreçte, kesme parametreleri, matkap burulma kayma modülü, dönme atalet momenti ve burulma-eksenel kavrama (ing. torsional-axial coupling) gibi birçok parametrenin etkisini incelemişlerdir. Geliştirdikleri model ile elde ettikleri sonuçları deneysel sonuçlarla karşılaştırmışlar ve derin delik delme işlemini benzeştirmede başarılı olduğunu görmüşlerdir.

Modelde ilerleme hızının dinamik değişimlerinin ve takım-işparçası arasındaki sürtünme değişimlerinin kesme kuvvetini arttırdığını belirtmişlerdir. Abele ve diğerleri [2] yapmış olduğu diğer bir çalışmada matkap boyunun takım aşınmasına olan etkisini incelemiştir. Bu çalışmada takım boyu (boy/çap oranı) arttıkça matkap

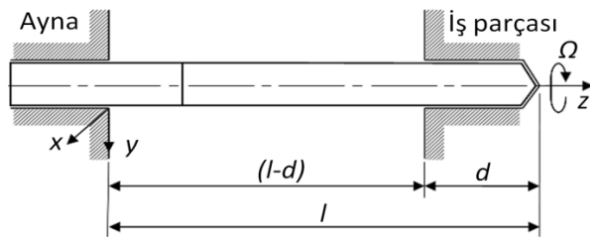
*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta: kemal.yaman@tubitak.gov.tr

burulma titreşimleri doğal frekansı düşmekte buna mukabil takım ömrü azalmaktadır.

Helisel matkap ile işlemede elde edilen deliğin boyutsal tamlığı, daireselliği ve yüzey kalitesi en fazla matkap ucu titreşiminden etkilenir [3]. Delme operasyonunda üç tip titreşim meydana gelir, bunlar: Yanal zırlama (ing. lateral chatter), burulma-eksenel zırlama (ing. torsional-axial chatter) ve eksenel dönme titreşimleri (ing. whirling) olarak belirtilmektedir. Bu titreşim modlarından herhangi en az birinin vuku bulması kararsızlığa yol açar. Oluşan zırlama titreşim frekansı matkap doğal frekansına yaklaştıkça dönel titreşim düzensizliği hemen her iş mili hızında ortaya çıkar. Dönel düzensizlik deliğin her yönünde meydana gelir ve bu düzensizlik yanal ve burulma-eksenel titreşimlerini arttırarak deliğin ölçü tamlığını ve matkap ucunu bozar [3]. Uygun kesme parametrelerinin önceden tahmini hassas ve pürüzsüz işleme, işleme zamanının kısalması ve bunun sonucu olarak işleme maliyetlerinin düşürülmesi anlamlarında büyük önem arz etmektedir.

Ahmedi ve Altıntaş [3] geliştirmiş oldukları model benzeşimi ve yapılan doğrulama deneyleri sonucunda keskin uçlu matkap ile düşük sönümlenmeli proste burulma-eksenel zırlama baskın titreşim modu olduğunu, yüksek sönümlenmeli aşınmış matkap ile proste ise yanal zırlama modunun düzensizliğe sebep olduğunu belirtmişlerdir. Yanal titreşimler deliğin dairesellik (İng. circularity) ve boyutsal tamlığını etkilerken, burulma-eksenel zırlama titreşimleri daha yüksek kesme kuvveti ve momentini (ing. torque) meydana getirerek matkabın ve iş parçasının daha çabuk aşınmasına sebep olmaktadır.

Ulsoy ve Tekinalp [4], matkap ile delme operasyonunu dinamik olarak incelemişler, matkabı modelleyerek teorik ve deneysel olarak dinamik davranışlarını incelemişlerdir. Matkap Şekil 1'de gösterildiği gibi iki ucu tutturulmuş, kütsüz bir kiriş ortasında toplanmış noktasal bir kütle olarak modellenmiştir.



Şekil 1. Matkap destek şartları (Drill support conditions) [4]

Birikmiş kütle ifadesi Denklem (1)'de verilmiştir, bu ifadede ρ matkap malzeme yoğunluğu, A ise kesit alanıdır. Teorik çalışmalarda Şekil 1'de gösterilen bağlama şartlarına göre dinamik denklemler çıkarılmıştır. Bu modelleme denklemleri özet olarak aşağıda verilmiştir [4]:

$$m = \rho \cdot A \cdot (l-d) \quad (1)$$

Sistemin hareket denklemi,

$$m\ddot{r} = \sum F = F_e + F_s + F_d \quad (2)$$

Burada $r = x_e \quad y_e$ $[x_e \quad y_e]$ y yoğunlaştırılmış (konstantre) kütlelerin pozisyon vektörü, F_e , F_s ve F_d sırasıyla,

dış, yay ve sönümlenme kuvvetleridir. Denklem (2) matris formda yazıldığında,

$$\begin{bmatrix} m & 0 \\ 0 & m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C_1 & -2m\Omega \\ -2m\Omega & C_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K_x - m\Omega^2 & -2m\Omega \\ -m\Omega - C_2\Omega & K_y - m\Omega^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \end{bmatrix} \quad (3)$$

Burada, Ω , C_1 ve C_2 dönme hızları ve sönümlenme katsayılarıdır. K_x , K_y , F_x , F_y ise sırasıyla rijitlik katsayıları ve her iki dik yöndeki dış (ing. External) kuvvetlerdir [4].

Gerekli kabuller ve sadeleştirmeler yapıldığında doğal frekans ω_n ,

$$\omega_n = \left(\frac{\alpha EI}{\rho A (l-d)^4} - \frac{\beta F_z}{\rho A (l-d)^2} \right)^{1/2} \quad (4)$$

Denklem (4)'de α ve β doğal frekans formülasyon katsayıları, E , elastisite modülü ve I yanal (ing. transverse) alan atalet momentidir. Yapılan deneyler ve modelleme çalışmaları benzer sonuçları vermiştir, özetle çok yüksek dönme hızlarında (60 000 dev/dk ve üstü [4]) jiroskop etkisi denilen bu etkinin ciddi anlamda matkap-iş parçası sistemini etkilediği ancak hız azaldıkça bu etkinin de azaldığı gözlemlenmiştir. Matkap boyu arttıkça doğal frekansın hiperbolik olarak azaldığı, matkap çapı arttıkça da yaklaşık lineer olarak arttığı rapor edilmiştir [4].

Tekinalp ve Ulsoy [5], Rincon ve Ulsoy [6] yaptıkları diğer çalışmalarda helisel matkapla delme sırasında meydana gelen eğilme ve burulmanın titreşim özelliklerini sonlu elemanlar yöntemiyle incelemişlerdir.

Rincon ve Ulsoy [6] delme titreşimlerinin kesme kuvvetlerine etkisini teorik olarak incelemişler, analiz yapmamışlardır. Bu çalışmalarında yüksek hız altında jiroskopik etkiyi de incelemişlerdir. Yüksek hızlı (60 000dev/dk ve üstü) işlemede 2 ağızlı matkapların çok (3 ve 4) ağızlı matkaplara oranla daha mukavim ve bunun sonucu olarak yaklaşık %54 oranında daha yüksek doğal frekansa sahip olduğu görülmüştür. Yüksek hızlı delik delme işleminde malzeme özellikleri, duvar konikliği ve soğutma deliklerinin ağız sayısına göre çok daha az etkisi olduğu ifade edilmiştir.

Strenkowski [7] ve diğerleri de Tekinalp ve Ulsoy'un benzeri bir çalışma yaparak delme sırasında oluşan itme kuvveti ve torku sonlu elemanlar metoduyla analitik olarak incelemişler ve deneysel sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Deneysel ölçüm sonuçlarıyla SEM sonuçlarının tutarlı oldukları belirtilmiştir. Delme kuvvetinin matkap çapıyla doğrusal olarak artış gösterdiği de elde edilen diğer önemli sonuçlardan biridir.

Zırlama titreşimleri (ing. Chatter vibration) sırasında, tormalama ve frezelemenin zıttı olarak, delmede daha büyük genlikler izlenir. Bu gerçek "Metal Cutting Tool Handbook" elkitabında da belirtilmiştir [8].

Byly ve diğerleri [9] eksenel-burulma titreşimleri (zırlama) oluşum mekanizmasını kurdukları bir model ile burulmuş kiriş üzerinden açıklamaya çalışmıştır. Stabiliteleri tahmini ve zırlama frekansları frekans domeni analizleriyle elde edilmiş, sayısal simülasyon ve testlerle doğrulanmıştır. Yapılan çalışmaların sonunda, burulma zırlamasının doğal frekansın altında değerlerde meydana

geldiği görülmüştür. Delme sırasında burulma titreşimi doğal frekansında aksel yük altında olduğu için %1 oranında çok küçük bir değişim olduğu deneysel ve sayısal olarak görülmüştür.

Sheth ve George [10] CNC makinede delik delmede silindiriklik (ing. cylindricity) ve diklik (ing. perpendicularity) toleranslarının örnek bir montaja etkisini incelemişlerdir. Silindiriklik ve dikliği tahmin edecek 2. Dereceden bir regresyon modeli geliştirmişlerdir. Kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliğinin delik silindirikliğine ve dikliğine etkileri regresyon modeli ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Arvajah ve İsmail [11] eğilmeden kaynaklı enine zırlama titreşimlerini ve burulmadan kaynaklı aksel titreşimleri modelleyen bir model geliştirdiler. Birinci kısımda eğilme titreşimleri başlangıç sınırı tespit edebilen model geliştirilmiş, ikinci kısımda ise hem enine zırlama hem de burulma-aksel titreşimleri zamana bağlı simule eden model geliştirilmiştir. Sistemin hareket denklemleri merkezinde toplanmış noktasal kütle olan ankastre giriş yaklaşımıyla, matkabı ve jiroskopik etkiyi simule edecek şekilde, çıkarılmıştır. Çalışmalar sonunda jiroskopik etkinin ihmal edilecek seviyede düşük olduğu, çok yüksek devirlerde bu etkinin arttığı görülmüştür. Modelde kullanılan kısa ve uzun boylu matkaplara uygulanan devir hızının radyal titreşim genliklerinde nasıl bir etki yaptığı incelenmiş, uzun boylu matkabın kısa boylu matkaba göre daha geniş radyal genlikte titreştiğini göstermişlerdir.

Ema ve Marui [12] derin delik delmede zırlama titreşimlerini teorik olarak incelemişler ve kararlılık tablolarını çıkarmışlardır. Bunun yanı sıra farklı matkap ucu konfigürasyonları ve darbe sönümleyici kullanarak zırlamanın bastırılmasına çalışılmıştır. Sadece karasız bölge değil aynı zamanda takım uçlarının temas zarfı hattının da zırlamada etkili bir gösterge olduğu belirtilmiştir. Darbe sönümleyicinin zırlamanın bastırılmasında etkili olduğu kararlılık tabloları üzerinden gösterilmiştir.

Kaplan ve diğerleri [13], AISI D2 ve AISI D3 soğuk iş takım çeliklerinin sertliğinin, matkap çapı, matkap boyu ve delme kuvveti ve kesme momenti üzerine etkisini, kuru delme şartları altında, araştırmışlardır. Deneysel sonuçlar, delme kuvveti ve kesme momentinin iş parçası malzeme sertliği, matkap çapı, matkap boyu, ilerleme hızı ve delik sayısı ile orantılı olarak arttığını ve kesme hızıyla da azaldıklarını göstermiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL STUDIES)

Bu çalışmada, ASTM 136 standardına uygun Ti6Al4V titanyum alaşımı kullanılmıştır. Deney numunesi olarak 150x154x25.4 mm boyutlarında dikdörtgen prizma şekilli iş parçası kullanılmıştır. Deney numunesinin mekanik özellikleri Çizelge 1’de gösterilmiştir.

Delme deneyleri TÜBİTAK-SAGE mekanik üretim alt-yapısında yer alan Mass Tezsan/ TMC V 750 dik işleme merkezinde yapılmıştır. Delme işlemi sonucunda yapılan ölçümler ise TÜBİTAK-SAGE boyutsal kalite kontrol laboratuvarında yer alan DEA PC-DMIS CMM tezgâhında yapılmıştır.

Çizelge 1. Ti6Al4V mekanik özellikleri (Mechanical properties of Ti6Al4V)

Mekanik Özellik	Değeri
Çekme Dayanımı	≥ 895 Mpa
Akma Dayanımı	≥ 828 Mpa
Poisson Oranı	0.31
Elastik Modülü	105-120 Gpa
Kayma Modülü	41-45 Gpa
% Uzama	≥ %10

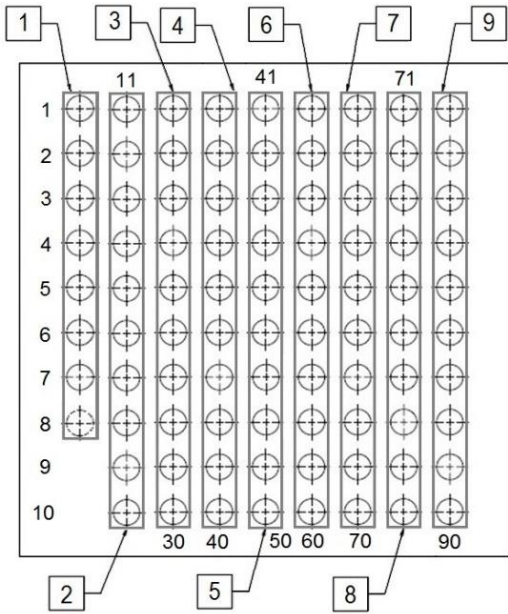
Kullanılan matkaplarda meydana gelen takım aşınması çekilen SEM fotoğraflarıyla detaylı olarak incelenmiştir. Deneysel sonuçlar, HSS olarak MTE marka B000078008000 (TS/ISO 235-DIN1897) ürün kodlu kaplamasız 118° uç açılı ve işleme boyu 37 mm (toplam boyu 76 mm) olan kısa takım ile B000072008000 (TS/ISO 494-DIN340) ürün kodlu kaplamasız 118° uç açılı, işleme boyu 75 mm (toplam boyu 117mm) olan uzun takım kullanılmıştır.

Takımlardan kısa olanlar 43 mm boydan bağlanırken uzun olan takım 76 mm boydan bağlanmıştır. Deneysel sonuçlar, kesme parametreleri matkaplara göre Çizelge 2’de gösterilmiştir. Burada uygulanan kesme ve ilerleme hızı değerleri başlangıçta katalogdan alınmış, daha sonra takım aşınması ve delik kalitesine bakılarak en iyi kesme parametresi belirlenmeye çalışılmıştır. Matkaplar iş parçası yüzeyinden sıfırlanarak, 28 mm mesafeye 1’er mm gagalama (ing. Peck drilling) yöntemiyle delme işlemini gerçekleştirmiştir. Şekil 2’de ise kesme parametrelerinin uygulandığı delik grupları gösterilmektedir.

Çizelge 2. Parametre belirleme deneylerinde kullanılan kesme parametreleri (Cutting parameters used in parameter-settings experiments)

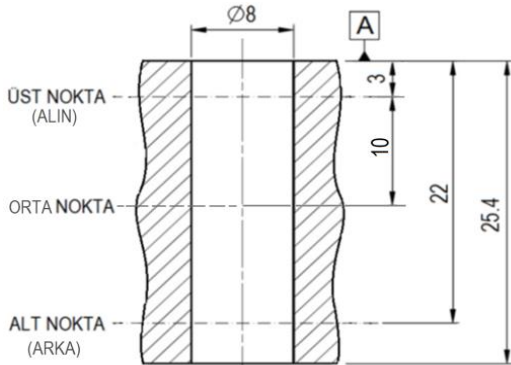
Kesici Takım	Devir hızı [dev/dk]	Kesme Hızı [m/dk]	İlerleme Hızı [mm/dev]	Grup No
Kısa matkap	400	10.0	0.040	1
	300	7.50	0.050	2
	300	7.50	0.065	3
	250	6.00	0.070	4
	300	7.50	0.080	5
Uzun matkap	350	8.50	0.040	6
	300	7.50	0.050	7

	300	7.50	0.065	8
	350	8.50	0.070	9



Şekil 2. Delik grupları (Hole groups)

Delik delme işlemi sonucunda CMM tezgâhında deliklerin alt ve üst çap kontrolü, eşeksensellikten (İng. concentricity) sapma, diklikten sapma ile alt ve üst dairesellikten sapma kontrolleri yapılmıştır. Şekil 3’de alt ve üst çap ile dairesellikten sapma kontrollerinin yeri gösterilmektedir. A referans düzleminin (ing. datum) parça üstü olduğu kabul edilirse, bu düzleme göre ölçüm mesafeleri gösterilmiştir. Ölçümlerde her bir delik için dörder adet ölçüm alınarak ortalamaları verilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü her bir delik için 3’er kez Alın, orta ve arka bölgelerden Mitutoyo SJ-310 tipi yüzey pürüzlülük ölçüm cihazıyla ölçülmüştür.



Şekil 3. Delik kesiti ve kontrol noktası ölçüleri (Hole cross section and control point measurements)

Delme deneylerinde kesme sıvısı olarak CIMCOOL Cimperial 806 yarı sentetik emülsiyon (%5) kullanılmıştır. Kesme sıvısı seçimi malzemenin cinsi ve takım kataloglarında yazan bilgiler dikkate alınarak seçilmiştir.

Delme esnasında kesme sıvısı kesme ortamına uygulanmıştır. Şekil 4’de deneysel çalışmalarda kullanılan HSS matkaplar ve boyutsal ölçüleri gösterilmiştir.



Şekil 4. MTE marka kaplamasız HSS matkaplar (MTE uncoated HSS drills) [15]

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Bu bölümde, Ti6Al4V alaşımına uygulanan delme işlemi sonucunda kesme parametrelerindeki değişime bağlı olarak değişen delik çapı, aksel sapma, diklikten sapma, dairesellik sapma değerleri ile takım aşınmasına yönelik sonuçlar ve değerlendirmeler verilecektir.

3.1. Kısa HSS Takım (Short HSS Tool)

Kısa HSS takım ile ve farklı kesme parametreleri ile her bir delik grubu için 10 farklı delik delme deneyi gerçekleştirilmiştir. Deneylerde HSS matkaplar için katalogdan kesme parametreleri seçilmiş ve 1-5 arası grup delikler işlenmiştir. 1. Grup deneylerde 10 m/dk kesme hızı, 400 dev/dk devir sayısı ve 0.04 mm/dev ilerleme hızında 10 adet delik delme planlanmış fakat

7. delikte matkap aşınmış ve körelmiştir. 1. ve 7. delikte de alt ve üstteki çap farkı 0.01 mm çıkmıştır. Aksel sapma ortalama olarak 0.083 mm, diklikten sapma ise ortalama olarak 0.046 mm ölçülmüştür. 1. deliğin üst ve alt kısmında ölçülen dairesellikten sapma farkı 0.054 mm iken 7. delikte 0.033 mm ölçülmüştür. 8. Delik delme sırasında matkap sardığı için delik delinmemiştir. Çıkan sayısal değerler ve takım aşınması görüntüleri değerlendirildiğinde kesme parametrelerinin uygun olmadığı görülmüştür.

2 numaralı (grup) deneyde 1 numaralı deneydeki olumsuz durumlar değerlendirilerek kesme parametreleri değiştirilmiştir. 7.5 m/dk kesme hızı, 300 dev/dk devir sayısı ve 0.05 mm/dev ilerleme hızında 10 delik delme planlanmıştır. 10 delikte başarıyla delinmiştir. Matkapın ucunda hafif yanmalar gözlenmiştir. 1. ve 10. delikte de alt ve üst çap arasındaki fark 0.01 mm mertebesini geçmemiştir. Aksel sapma ortalama 0.15 mm, diklikten sapma ise ortalama 0.083 mm ölçülmüştür. 1. deliğin üst

ve alt kısmında ölçülen dairesellikten sapma farkı 0.061 mm iken 10. delikte 0.034 mm ölçülmüştür. Çıkan sayısal değerler ve takım aşınması görüntüleri değerlendirildiğinde kesme parametrelerinin 1 numaralı operasyona göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

3 numaralı deneyde 2 numaralı deneydeki uygun kesme hızı ve devir sayısı korunmuş, ilerleme hızındaki artışın sayısal değerler ve takım aşınması üzerindeki etkisine bakılmıştır. 7.5 m/dk kesme hızı, 300 dev/dk devir sayısı ve 0.05 mm/dev ilerleme hızında 10 delik delme planlanmış, 10 delikte başarıyla delinmiştir. Matkabın ucunda hafif yanmalar gözlenmiştir, fakat körelme 2 numaralı operasyona göre daha az olmuştur. 1. ve 10. delikte alt ve üst çap farkı daha da azalarak 0.01 mm'den daha da az ölçülmüştür. Eksenel sapma ortalama 0.123 mm, diklikten sapma ise 0.068 mm ölçülmüştür. 1. deliğin üst ve alt kısmında ölçülen dairesellikten sapma farkı 0.05 mm iken 10. delikte de 0.019 mm ölçülmüştür. 2 numaralı operasyona göre takım aşınması, delik çapları, eksenel sapma, diklikten sapma ve dairesellikten sapma değerleri iyi çıkmıştır.

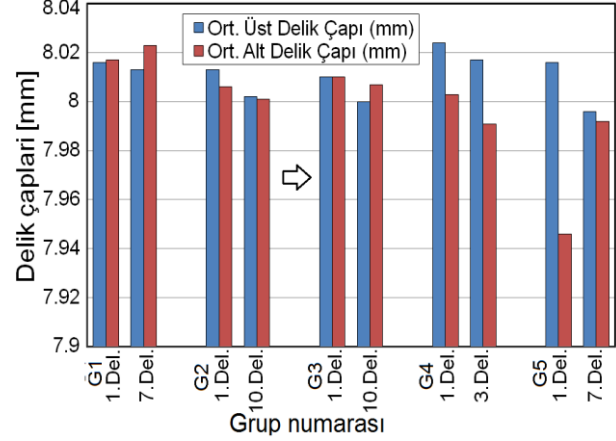
4 numaralı deneyde 3 numaralı deneye göre kesme hızı düşürülmüş, buna bağlı olarak devir sayısı da düşürülmüş fakat ilerleme hızı artırılmıştır. 6.5 m/dk kesme hızı, 250 dev/dk devir sayısı ve 0.08 mm/dev ilerleme hızında 10 delik delme planlanmıştır. Fakat 3. delikten sonra matkap aşırı derecede körelmiştir. Delik çapları 1. delikte iyi görünürken 3. delikte altta $\varnothing 8.017$ mm, üstte $\varnothing 7.991$ mm ölçülmüştür. 3 numaralı deneye göre kesme hızının düşürülmesi ve ilerleme hızının artırılması olumsuz sonuç vermiştir.

5 numaralı deneyde 4 numaralı deneye göre kesme hızı artırılmış fakat ilerleme hızı aynı tutulmuştur. Burada amaçlanan 3 numaralı deneydeki uygun kesme hızının yüksek ilerleme miktarı ile denenmesidir. 7.5 m/dk kesme hızı, 300 dev/dk devir sayısı ve 0.08 mm/dev ilerleme hızında 10 delik delme planlanmıştır. Fakat matkap 7. delik sonunda aşınmış ve uç kısmında yanmalar gözlenmiştir. 1. delikte alt ve üst çap farkı 0.07 mm iken 10. delikte 0.01 mm ölçülmüştür. Matkabın dış köşesinin aşınmasından dolayı 7. delikte delik çapı $\varnothing 7.992$ mm ye kadar düşmüştür. Eksenel sapma diğer delme operasyonlarına göre yüksek (ortalama olarak 0.253 mm) çıkmıştır. Diklikten sapma ise ort. 0.141 mm ölçülmüştür. 1. deliğin üst ve alt kısmında ölçülen dairesellikten sapma farkı 0.081 mm iken 10. delikte 0.096 mm çıkmıştır. Bu operasyonda kullanılan yüksek ilerleme hızı ile 7.5 m/dk kesme hızı olumlu sonuç vermemiştir. İlerleme hızının yüksek olması matkabın dış köşesinin aşırı aşınmasına hatta kırılmasına neden olmuştur.

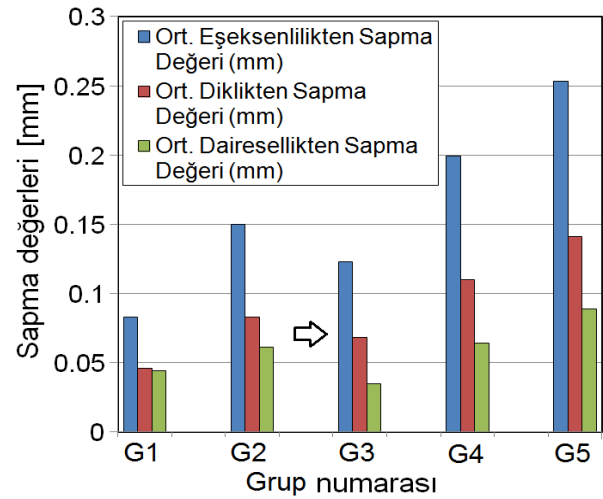
Uygulanan deneyler sonucunda ölçülen ortalama üst ve alt delik çapları Şekil 5'de, ortalama eksenel sapma, diklikten sapma ve dairesellikten sapma değerleri ise Şekil 6'da gösterilmiştir.

Sonuç olarak; kaplamasız HSS takımlar ile titanyum alaşımlarının delinmesi esnasında takımın aşınması ve buna bağlı olarak aşınma gözlenmektedir. Delik çapları ve eksenel sapma değerleri kötü, takım aşınması daha

hızlı oluşmaktadır. Kullanılan kesme parametreleri içerisinde en uygunu 3 (G3) numaralı deneyde uygulanan kesme parametreleri olan, 300 dev/dk devir sayısı, 7.5 mm/dev ilerleme hızı ve 7.5 m/dk kesme hızı olarak tespit edilmiştir.



Şekil 5. Kısa HSS ile delinen deliklerin ortalama üst ve alt delik çap boyutları (The average upper and lower hole diameter dimensions of the holes drilled with short HSS)



Şekil 6. Kısa HSS ile delinen deliklerin ortalama eksenel sapma, diklikten sapma ve dairesellikten sapma değerleri (The average axial deflection, deviation from perpendicularity and deviation from circularity of holes drilled with short HSS)

3.2. Uzun HSS Takım (Long HSS Tool)

Uzun HSS takım ile farklı kesme parametrelerinde 4 farklı delik delme deneyi uygulanmıştır. 6 (G6) numaralı deneyde kısa HSS takımlara göre kesme hızı yüksek tutulmuş, ilerleme hızında ortalama bir değer alınmıştır. 8.8 m/dk kesme hızı, 350 dev/dk devir sayısı ve 0.04 mm/dev ilerleme hızında 10 adet delik başarıyla delinmiştir, fakat matkapta körelmeler ve kesici kenar yüzeyinde aşınma ve kırılmalar meydana gelmiştir. 1. delikte alt ve üst çap farkı 0.032 mm iken 10. delikte bu fark 0.041 mm'ye çıkmıştır. 10 delik içinde alt delik çaplarında $\varnothing 8$ mm'nin altına düşen değerler görülmektedir.

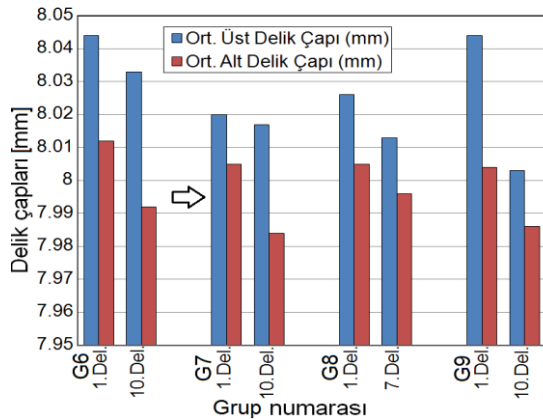
Eksenel sapma ortalama olarak 0.17 mm, diklikten sapma ise ort. 0.095 mm ölçülmüştür. 1. deliğin üst ve alt kısmında ölçülen dairesellikten sapma farkı 0.132 mm iken 10. delikte 0.059 mm ölçülmüştür. İlerleme hızından farklı olarak, kesme hızı artışında çok belirgin iyileşmeler elde edilemese de ölçü tamlığı ve takım aşınması açısından biraz daha iyi sonuçlar vermiştir.

7 numaralı deneyde kesme hızı düşürülmüş, ilerleme hızı artırılmıştır. 7.5 m/dk kesme hızı, 300 dev/dk devir sayısı ve 0.05 mm/dev ilerleme hızında 10 adet delik sorunsuz delinmiştir. Takımın kesici kenarında yer yer kırılmalar görülmüştür. 1. delikte alt ve üst çap arasındaki fark 0.015 mm iken 10. delikte 0.033 mm'ye çıkmıştır. Matkabın kesici kenarındaki kırılmalardan dolayı son deliklere doğru çap değeri 8 mm'nin altına düşmüştür. Eksenel sapma ort. 0.172 mm, diklikten sapma ise ort. 0.096 mm ölçülmüştür. 1. deliğin üst ve alt kısmında ölçülen dairesellikten sapma farkı 0.122 mm iken 10. delikte 0.04 mm ölçülmüştür. 6 numaralı operasyona göre kesme hızının düşürülüp, ilerleme hızının artırılması olumlu sonuç vermiş; takım aşınmasının azalmasına ve ölçü tamlığının iyileşmesine neden olmuştur.

8 numaralı deneyde 7.5 m/dk kesme hızı, 300 dev/dk devir sayısı ve 0.065 mm/dev ilerleme hızında 10 delik delme işlemi planlanmış fakat 7. delik sonunda matkabın kesici kenar ucu kırılmıştır. 1. delikte alt ve üst çap arasındaki fark 0.019 mm iken 7. delikte 0.017 mm ölçülmüştür. Eksenel sapma ort. 0.183 mm, diklikten sapma ise ort. 0.102 mm ölçülmüştür.

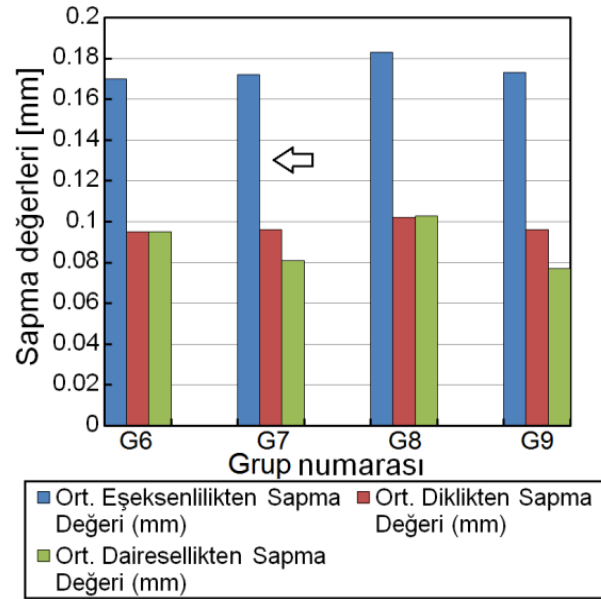
1. deliğin üst ve alt kısmında ölçülen dairesellikten sapma farkı 0.161 mm iken 10. delikte 0.045 mm ölçülmüştür. İlerleme hızının artırılması iyi sonuç vermemiştir. 9 numaralı deneyde artan ilerleme hızına kesme hızının düşük kaldığı düşünülerek, ilerleme ve kesme hızı artırılmıştır. 8.8 m/dk kesme hızı, 350 dev/dk devir sayısı ve 0.07 mm/dev ilerleme hızında 10 delik delme planlanmıştır. 10 delikte başarıyla delinmiştir. Fakat 7 numaralı deneye göre ölçülen sayısal değerler ve matkap aşınması açısından kötü sonuç vermiştir.

Uygulanan deneylerde ortalama üst ve alt delik çapları Şekil 7'de, ortalama eksenel sapma, diklikten sapma ve dairesellikten sapma değerleri ise Şekil 8'de gösterilmiştir. Uzun HSS takımlarda da, kısa HSS takımlarla aynı sorunlar gözlemlenmiştir.



Şekil 7: Uzun HSS ile delinen deliklerin ortalama üst ve alt delik çapları (The average upper and lower hole diameters of holes drilled with long HSS)

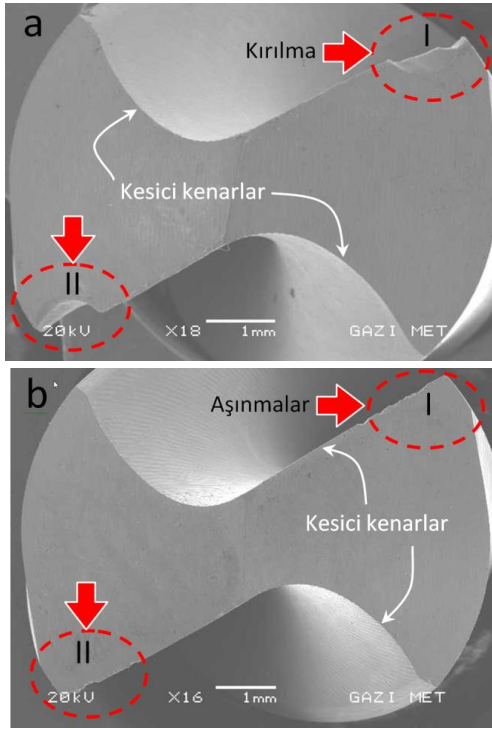
Uzun HSS takımlarda uç bölgesinde oluşan sıcaklığın az olmasından dolayı kısa HSS takımlara göre takım aşınması daha az gözlenmiştir. Kullanılan kesme parametrelerine içinde 7 (G7) numaralı deneyde kullanılan kesme parametreleri en iyi sonucu vermiştir. Parametre belirleme deneyleri sonucunda hem kısa hemde uzun matkaplar için en uygun kesme parametreleri, 300 dev/dk devir sayısı, 0.05 mm/dev ilerleme hızı ve 7.5 m/dk kesme hızı olarak kabul edilmiş ve karşılaştırma deneyleri bu parametrelere göre yapılmıştır.



Şekil 8: Uzun HSS ile delinen deliklerin ortalama eksenel sapma, diklikten sapma ve dairesellikten sapma değerleri (The average axial deviation, deviation from vertical, and deviation from circularity of holes drilled with long HSS)

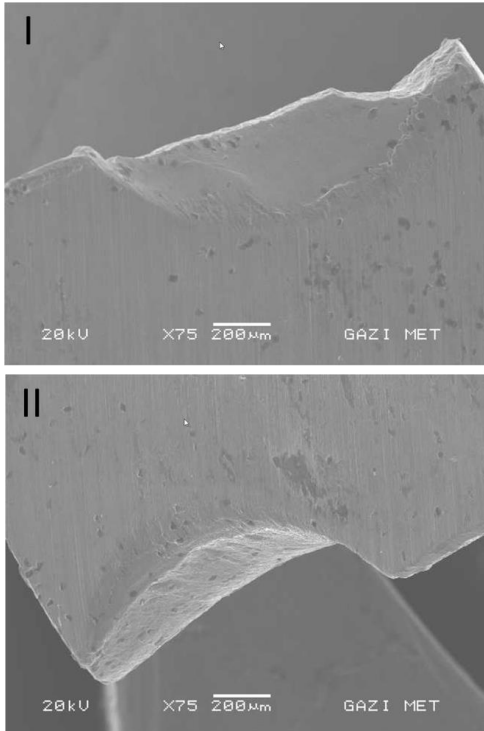
3.3. Kısa HSS ve Uzun HSS Matkapların Aynı Kesme Parametrelerine Göre Karşılaştırılması (Comparison of Short HSS and Long HSS Drills Compared to the Same Cutting Parameters)

Aynı yapıdaki kısa ve uzun HSS matkaplara aynı kesme parametrelerinde, 7.5 m/dk kesme hızı, 300 dev/dk devir sayısı ve 0.05 mm/dev ilerleme hızında karşılaştırma yapılmıştır. Delik çap boyutları kısa takımında uzun takıma oranla daha hassas sonuçlar vermiştir. Eksenel sapma, diklikten sapma ve dairesellikten sapma değerlerine bakıldığında uzun takımın kısaya göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Takım aşınmalarına bakıldığında HSS uzun takımın daha az aşındığı görülmektedir. Şekil 9a'da kısa takımında, Şekil 9b'de ise uzun takımında meydana gelen takım ucu aşınması (ing. flank wear) SEM görüntüleri görülmektedir.

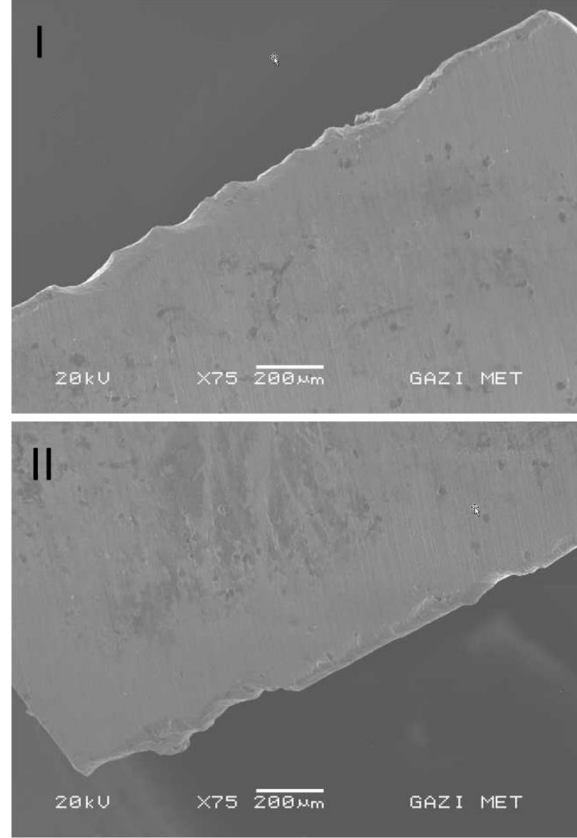


Şekil 9. 2 ve 7 numaralı deneylerde kullanılan (a) kısa ve (b) uzun HSS matkapların takım ucu aşınma (X16 ölçek büyütülmüş) SEM görüntüleri (SEM images of tool tip wear for (a) short and (b) long HSS drills used in Experiments 2 and 7 (X16 magnification))

Şekil 9a'da görüldüğü üzere kısa aynı şartlarda işleme yapan kısa matkapta uzun matkba oranla daha büyük aşınma değerleri elde edilmiştir.



Şekil 10. 2 numaralı deneylerde kullanılan kısa matkaba ait (i) birinci bölge ve (ii) ikinci bölge aşınma (X75 ölçek büyütülmüş) SEM görüntüleri (SEM images of the wear of the short drill used in Experiment 2 (I) first region and (ii) second region wear (X75 magnification))



Şekil 11. 7 numaralı deneylerde kullanılan uzun matkaba ait (i) birinci bölge ve (ii) ikinci bölge aşınma (X75 ölçek büyütülmüş) SEM görüntüleri (SEM images of the wear of the short drill used in Experiment 7 (I) first region and (ii) second region wear (X75 magnification))

Şekil 10i ve Şekil 10ii'de kırılan bölgeler yaklaşık 800 µm boya ve yaklaşık 400 µm boyunda kavite oluşturmuştur. Şekil 11i ve Şekil 113ii'de uzun matkaba ait aşınma bölgeleri gösterilmiştir. Bu her iki bölge de yaklaşık 1mm uzunluğunda ve 50µm genişliğinde bir dikdörtgen alan içinde kaldığı görülmektedir. Kısa takımda büyük çaplı aşınmalar hatta kırılmalar meydana gelirken uzun takımında aşınma bölgeleri daha sınırlı kalmıştır. Matkap bağlama boyu arttıkça elde edilen delik toleranslarında meydana gelen bozulmaların işleme esnasındaki titreşim genliğindeki artıştan kaynaklandığı söylenebilir. Takım boyu uzadıkça takım doğal frekansı azaldığı [1, 4] için standart işleme hızlarında bile takımın rezonans frekansına yaklaşmalar meydana gelmekte ve bunun sonucu olarak takımın literatürde zırlama (ing. chatter) olarak tabir edilen yüksek genlikli titreşimler oluşmaktadır. Bu yüksek genlikli ve geniş radyal genlikte [11] titreşimler takım aşınmasını arttırmakta [2, 3, 13] bunun sonucu olarak elde edilen deliklerde geometrik ve

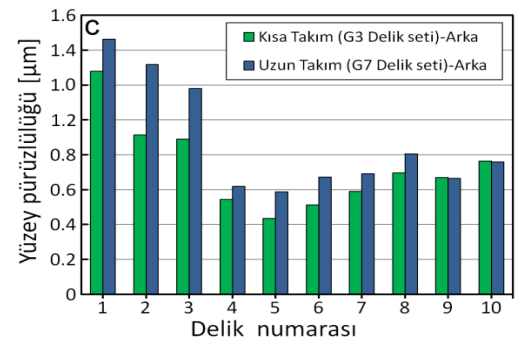
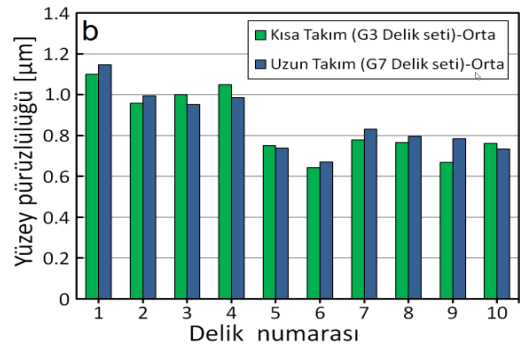
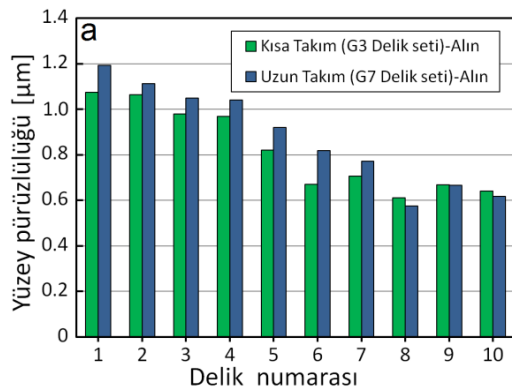
Çizelge 3. Yüzey pürüzlülüğünün kısa (G3 delik grubu) ve uzun takım (G7 delik grubu) boyuna göre değişimi (Variation of surface roughness with respect to length of short (G3 hole group) and long tool (G7 hole group))

Delik ölçüm bölgesi	Alın	Orta	Alın	Delik ölçüm bölgesi	Alın	Orta	Arka	Delik No
MTE Kısa (G3)	1.074	1.099	1.279	MTE Uzun (G7)	1.198	1.147	1.463	1
	1.063	0.957	0.914		1.112	0.994	1.317	2
	0.978	1.001	0.890		1.048	0.951	1.180	3
	0.968	1.049	0.544		1.041	0.986	0.619	4
	0.820	0.750	0.434		0.920	0.738	0.588	5
	0.670	0.642	0.512		0.818	0.670	0.673	6
	0.706	0.779	0.589		0.772	0.831	0.691	7
	0.611	0.765	0.807		0.575	0.794	0.805	8
	0.768	0.667	0.672		0.764	0.784	0.665	9
	0.572	0.762	0.760		0.618	0.733	0.759	10

Çizelge 4. MTE Kısa (43 mm bağlama boyu) HSS matkap ile işlenen deliklerin boyutsal ve geometrik ölçüleri (Dimensional and geometric measurements of holes drilled with HSS MTE Short drill (43 mm mouthed length))

Delik No	Delik çapı [mm] (Alın)	Delik çapı [mm] (Arka)	Eşeksensellikten sapma [mm]	Diklikten sapma [mm]	Dairesellikten sapma [mm] (Alın)	Dairesellikten sapma [mm] (Arka)
1	8.013	8.006	0.079	0.044	0.014	0.015
2	8.022	8.003	0.130	0.072	0.082	0.055
3	8.003	8.005	0.110	0.062	0.058	0.016
4	8.027	7.998	0.169	0.094	0.100	0.050
5	8.001	8.002	0.075	0.043	0.042	0.013
6	8.012	8.005	0.219	0.122	0.046	0.022
7	8.015	8.005	0.133	0.073	0.077	0.041
8	8.004	8.004	0.189	0.106	0.087	0.059
9	8.008	8.000	0.166	0.092	0.072	0.053
10	8.002	8.001	0.234	0.130	0.041	0.022

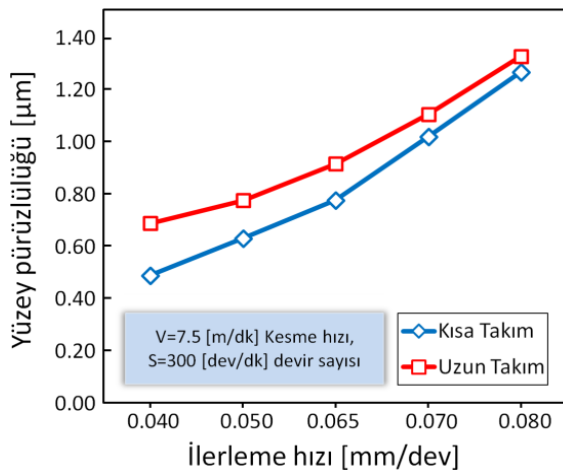
boyutsal olarak ölçü tamlığı bozulmakta ve yüzey pürüzlülüğü artmaktadır. Yüzey pürüzlülüğünün takım boyuna göre değişimi Şekil 12'de gösterilmiştir, yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonuçları ise Çizelge 3'de verilmiştir.

**Şekil 12.** (a) Delik alın bölgesi, (b) orta bölge ve (c) arka bölgeden ölçülen yüzey pürüzlülüğünün takım boyuna göre değişimi (Change of surface roughness measured in (a) hole face region, (b) central region and (c) back region according to tool length)

Çizelge 5. MTE Uzun (76 mm bağlama boyu) HSS matkap ile işlenen deliklerin boyutsal ve geometrik ölçüleri (Dimensional and geometric measurements of holes drilled with HSS MTE Long drill (76 mm mouthed length))

Delik No	Delik çapı [mm] (Alın)	Delik çapı [mm] (Arka)	Eksenellikten sapma [mm]	Diklikten sapma [mm]	Dairesellikten sapma [mm] (Alın)	Dairesellikten sapma [mm] (Arka)
1	8.020	8.005	0.116	0.064	0.069	0.041
2	8.033	8.016	0.297	0.166	0.049	0.028
3	8.047	8.009	0.132	0.074	0.134	0.019
4	8.006	8.004	0.139	0.077	0.065	0.028
5	8.059	8.006	0.117	0.065	0.169	0.029
6	8.042	8.003	0.098	0.053	0.167	0.021
7	8.031	8.000	0.239	0.133	0.101	0.038
8	8.044	7.986	0.165	0.093	0.189	0.078
9	8.029	7.986	0.218	0.122	0.137	0.066
10	8.017	7.984	0.208	0.116	0.140	0.050

Sabit kesme parametreleri (300 [dev/dk] devir sayısı, 0.05 [mm/dev] ilerleme hızı ve 7.5 [m/dk] kesme hızı) altında kısa HSS takımla (3. Grup delikler) ve uzun (7. Grup delikler) elde edilen deliklere ait alın, orta ve arka bölgelerden ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerleri sırasıyla Şekil 12a, b ve c'de verilmiştir. Bu değerler incelendiğinde alın (delik ağzı) bölgesinde ve arka (delik sonu) bölgesinde uzun takım tarafından açılan deliklere ait yüzey pürüzlülükleri aynı bölgelerde kısa takımla elde edilen deliklerden elde edilen pürüzlülük değerlerinden daha büyük olduğu görülmektedir. Bu durum, uzun takımın işleme esnasında daha yüksek genlikteki titreşimlere (zırlama, ing. chatter vibration) maruz kalarak daha bozuk yüzey oluşumuna sebep olduğu şeklinde açıklanabilir. Her iki tip takım içinde orta bölgeden ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri delik uç bölgelerine göre daha küçük ve birbirlerine yakın çıkmaktadır. Çizelge 4 ve Çizelge 5'te yukarıda verilen sabit işleme parametreleri altında 43 mm ve 76 mm boydan bağlanan kısa ve uzun matkaplarla işlenmiş deliklere ait boyutsal ve geometrik ölçüler verilmiştir.

**Şekil 13.** Uzun ve kısa takımda ilerleme hızının delik yüzey pürüzlülüğüne etkisi (The effect of feed rate on hole surface roughness for long and short tool)

Uzun ve kısa takımda ilerleme hızı arttıkça delik yüzey pürüzlülüğünün arttığı tespit edilmiştir (Şekil 13). Benzer

sonuçlar Çaydaş ve Çelik [16]'in çalışmasında da görülmektedir. Uzun takımlardan elde edilen delik yüzey pürüzlülükleri kısa takıma göre biraz daha yüksek çıkmıştır. Aynı takımla işlenen delik sayısı arttıkça kısa matkapta meydana gelen takım aşınmalarının delik yüzey pürüzlülüğünü arttırdığı ve uzun takıma ait değerlere yaklaştığı gözlemlenmiştir (Şekil 13).

Helisel matkap ile delik delme operasyonunda matkabın uygun boydan bağlanmasının önemli işleme parametrelerinden biri olduğu ve operasyonu doğrudan etkilediği görülmüştür. Çok kısa bağlandığında matkabın normalden çok daha çabuk aşınacağı, çok uzun bağlandığında ise delik ölçülerinde geometrik ve boyutsal sapmalar ve daha bozuk yüzey elde edilebileceği düşünülerek takımın uygun boydan bağlanması gerektiği sonucuna varılmıştır. Şekil 14'de bazı kısa ve uzun matkaplarla işleme sonucunda elde edilen talaş fotoğrafları verilmiştir.

**Şekil 14.** Kısa ve uzun takımlarla onuncu işlemede elde edilen talaş şekilleri: (a) kısa takım 0.050 [mm/dev], (b) 0.065 [mm/dev], (c) 0.080 [mm/dev], (d) uzun takım 0.050 [mm/dev], (e) 0.065 [mm/dev] ve (f) 0.080 [mm/dev] (The chip shapes obtained with the tenth machining with short and long tools: (a)

short tool for 0.050 [mm/rev], (b) 0.065 [mm/rev], (c) 0.080 [mm/rev], (d) long tool 0.050 [mm/dev], (e) 0.065 [mm/dev] and (f) 0.080 [mm/dev]

Sabit 300 [dev/dk] iş mili devir sayısı ve sabit 7.50 [m/dk] kesme hızı işleme şartları altında ilerlemeler 0.050-0.080 [mm/dev] aralığında artırılarak elde edilen talaşlar incelendiğinde, kısa takımda ilerleme hızı ve işleme sayısı arttıkça matkapta meydana gelen aşınmalar talaş şeklinin bozulmasına sebep olmaktadır. İlerleme hızı arttıkça talaş şekli sürekli spiral yapıdan kesikli yığılmış yapıya doğru dönüşmektedir. Elde edilen sonuçların literatürde yapılan benzer çalışmalar [16, 17] ile uyumlu olduğu görülmüştür.

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada Ti6Al4V titanyum alaşımının kısa ve uzun kaplamasız HSS matkap ile takım boyunun delinebilirliğe olan etkileri araştırılmıştır. 2 farklı boyda takım ile aynı kesme parametrelerinde delme işlemleri uygulanmış, sonunda delik çap boyutsal toleransları, eksenel sapma, diklikten sapma ve dairesellikten sapma geometrik toleransları ile takım aşınması kontrolü yapılmıştır. Kısa ve uzun HSS takımlarda aynı kesme parametreleri ve aynı kesme şartlarında uygulanan delme operasyonları sonucunda, uzun takımındaki takım aşınmasının kısa takıma göre daha az olduğu görülmüştür. Buna karşın yanal, eksenel ve burulma titreşimlerinin sebep olduğu salğıdan dolayı uzun matkap çap ve geometrik tolerans değerlerinin kısa takıma göre daha kötü olduğu görülmüştür. İlerleme hızı arttıkça her iki tip takımdan elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri artış göstermiş, uzun takımın daha belirgin arttığı tespit edilmiştir. Aynı takım ile işlenen delik sayısı arttıkça kısa matkapta meydana gelen takım aşınmalarının delik yüzey pürüzlülüğünü arttırdığı ve uzun takım yüzey pürüzlülük değerlerine yaklaştığı gözlemlenmiştir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Deneysel çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen TÜBİTAK-SAGE yönetimine ve Mekanik Üretim Altyapısı çalışanlarına teşekkür ederiz.

SİMGELER VE KISALTMALAR (SYMBOLS AND ABBREVIATIONS)

Semboller (Symbols)

ρ	matkap malzeme yoğunluğu (drill material density)
A	matkap kesit alanı (drill cross section)
l	matkap boyu (drill length)
\underline{r}	pozisyon vektörü (displacement vector)
F_e	dış kuvvet (external force)
F_s	yay kuvveti (spring force)
F_d	sönümleme kuvveti (damping force)

Ω	dönme hızı (rotation speed)
ω_n	doğal frekans (natural frequency)
C	sönümleme katsayısı (damping coefficient)
K	rijitlik katsayısı (stiffness coefficient)
E	elastisite modülü (modulus of elasticity)
I	yanal alan atalet momenti (transverse area moment of inertia)
α, β	doğal frekans formülasyon katsayıları (natural frequency formulation coefficients)

Kısaltmalar (Abbreviations)

HSS	yüksek hızlı takım çeliği (high speed steel)
CNC	Bilgisayarla sayısal denetimli takım tezgâhı (Computer numerical controlled machine tool)
SEM	taramalı elektron mikroskop (scanning electron microscope)
CMM	koordinat ölçme cihazı (coordinate measuring machine)
AISI	(American Iron and Steel Institute)
TS	Türk Standartları
ISO	Uluslar Arası Kalite Standardı ailesi (family of quality management systems)
DIN	Alman Standartları (Deutsches Institut für Normung)

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Abele E. and Schafer 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, Int. Manuf. Sci. and Eng. Conference*, 1184, June 10-14, Wisconsin, USA, (2013).
2. Abele E., Ellermeier A., Hohenstein J. and Tschannerl M., "Tool length influence on wear behaviour of twisted carbide drills" *Prod. Eng. Res. Devel*, 1: 51-56, (2007).
3. Ahmadi K. and Altintas Y., "Stability of lateral, torsional and axial vibration in drilling", *Int. J. of Mach. Tools and Manuf.*, 68: 63-74, (2013).
4. Ulsoy A.G. and Tekinalp O., "Dynamic modelling of transverse drill bit vibrations", *Annals of the CIRP*, 33: 253-258, USA, (1984).
5. Tekinalp O. and Ulsoy A.G., "Modeling and finite element analysis of drill bit vibrations", *J. Vib. Acoust. Stress. Reliab. Des.*, 111: 148-155, (1989).
6. Rincon D.M. and Ulsoy A.G., "Complex geometry, rotary inertia and gyroscopic moment effects on drill vibrations", *J. Sound Vib.*, 188(5): 701-715, (1995).
7. Strenkowski J.S., Hsieh C.C. and Shih A.J., "An analytical finite element technique for predicting thrust force and torque in drilling", *Int. J. of Mach. Tools Manuf.*, 44: 1413-1421, (2004).
8. "Metal cutting tool handbook", *Metal Cutting Tool Institute*, Newyork, USA, p.31, (1965).
9. Sushinder K., Shivaram P.R., Nivedh K.S.B., Nisarg G. and Vijay S.K.S., "Investigation of thrust forces, toeque and

- chip microstructure during drilling of Ti-6Al-4V titanium alloy”, *Appl. Mech. Mater.*, 787: 431-436, (2015).
10. Bayly P.V., Sandra A.M., Schaut A.J. and Young K.A., “Theory of torsional chatter in twist drills: Model, stability analysis and composition to test”, *J. Sound Vib.*, 188(5): 701-715, (1995).
 11. Sheth S. and George P.M., “Experimental investigation, prediction and optimization of cylindricity and perpendicularity during drilling of WCB material using grey relational analysis”, *Precision Engineering*, 45: 33-43, (2016).
 12. Arvajah T. and Fathy I., “Machining stability in high-speed drilling-Part1: Modelling vibration stability in bending”, *Int. J. of Mach. Tools Manuf.*, 46: 1563-1572, (2006).
 13. Ema S. and Mariu E., “Theoretical analysis on chatter vibration in drilling and its suppression”, *J. Mater. Process. Technol.*, 138: 572-578, (2003).
 14. Kaplan Y., Okay Ş., Motorcu A.R. and Nalbant M., “Investigation of the effect of machining parameters on the thrust force and cutting torque in the drilling of AISI D2 and AISI D3 cold work tool steels”, *Indian J. of Engineering and Material Sciences*, 21: 128-138, (2014).
 15. Makine Takım Endüstrisi, “MTE 2013 fiyat listesi”, *Makine Takım Endüstrisi*, Kocaeli, 14-29, (2013).
 16. Çaydaş U. and Çelik M., “AA 7075-T6 Alaşımının Delinmesinde Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğü, Takım Sıcaklığı Ve İlerleme Kuvvetine Etkilerinin Araştırılması”, *Politeknik Dergisi*, 20(2): 419-425, (2017).
 17. Zhang P.F., Churi N.J., Pei Z.J. and Treadwell C., “Mechanical drilling processes for titanium alloys: A literature review”, *Machining Science and Technology*, 12: 417-444, (2008).