



# Ti-6Al-4V Alaşımının Delinmesinde Kesme Parametrelerinin Kesme Kuvvetlerine ve Delik Kalitesine Etkisinin İncelenmesi

*Investigation of the Effect of Cutting Parameters on Cutting Force and Hole Quality of Ti-6Al-4V Alloy in Drilling*

Gültekin Uzun , Saltuk Alper Yaşar\* , İhsan Korkut 

Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği, Ankara, Türkiye

## Öz

Titanyum alaşımları sanayide ve medikal sektöründe pek çok üründe tercih edilen malzemedir. Özellikle savunma ve uzay sanayi gibi hassas alanlarda kullanılan Titanyum alaşımları için deliklerdeki ölçü hassasiyeti çok önemlidir. Bu çalışmada, çeşitli sanayilerde sıklıkla tercih edilen ve işlenmesi zor malzemeler sınıfında olan Ti-6Al-4V malzemesinin delinebilirliği incelenmiştir. Deneyler sonucunda kesme parametrelerinin itme kuvveti, kesme torku, takım aşınması ve delik kalitesi üzerine etkileri ile incelenmiştir. Deneyler sırasında 140° uç açısına sahip, 6.8 mm çapında karbür matkap kullanılmıştır. Deney parametresi olarak ıslak şartlarda, üç farklı kesme hızı (38, 41.8 ve 45.6 m/dk) ve sabit ilerleme miktarı (0.1 mm/dev) belirlenmiştir. Sonuç olarak kesme hızı ve kesme uzunluğu değiştiğinde kesme kuvvetlerinin ve delik kalitesinin de değiştiği görülmüştür. Bu değişimlerin başlıca sebebi takım aşınması ile takım geometrisinin değişimi olarak ön görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Delinebilirlik, Delik kalitesi, İşlenebilirlik, Kesme hızı, Kesme kuvveti, Kesme mesafesi, Ti-6Al-4V

## Abstract

Titanium alloys is a common material for manufacturing products in medical and other industries. Titanium alloys measurement precision is very important in holes which are used for vital parts in defense and aerospace industries. In this study, drillability of Ti-6Al-4V material was investigated which is one of the hard to machine materials and commonly used material in various industries. As a result of the experiments, the effects of cutting parameters on thrust force, cutting torque, tool wear and hole quality were investigated. During the experiments, a carbide drill was used (6.8 mm diameter, 140° point angle). As test parameters, three different cutting speeds (38, 41.8 and 45.6 m/dk) and constant feed rate (0.1 mm/rev) was determined in wet conditions. As a consequence of the experiments, as cutting speed and cutting distance change, cutting forces and hole quality change also. The leading causes of these changes are foreseen as the changes of tool wear and tool geometry.

**Keywords:** Drillability, Hole quality, Machinability, Cutting speed, Cutting forces, Cutting distance, Ti-6Al-4V

## 1. Giriş

Titanyum alaşımları yüksek sıcaklıklarda koruyabildiği özellikleri (yüksek dayanım/ağırlık oranı, yüksek ergime sıcaklığı, düşük yoğunluğu, yüksek özgül dayanımı, mükemmel korozyon direnci, iyi kaynaklanabilirlik ve biyolojik uyumluluğu) nedeniyle sanayide sıklıkla tercih edilen bir malzemedir (Qin vd. 2016, Bruschi vd. 2016, Perçin vd. 2016, Cantero vd. 2005, Garbiec vd. 2016). Bu

alaşımlar biyomedikal, uzay, havacılık, otomotiv, deniz ve kimyasal endüstriler gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Özellikle uçakların yapısal parçalarında, implantlarda, protezlerde kullanıldığı bilinmektedir. Mükemmel kimyasal ve mekanik özellikleri nedeniyle titanyum ve alaşımları içinde Ti-6Al-4V bu tür uygulamalarda sıklıkla tercih edilmektedir. Ti-6Al-4V alaşımı 1954 yılında  $\alpha$  fazını dengelemek için %6 alüminyum ve  $\beta$  fazını dengelemek için %4 vanadyum eklenmesi ile keşfedilmiştir (Garbiec vd. 2016). Ti-6Al-4V  $\alpha$ - $\beta$  titanyum alaşımı, titanyum alaşımları içinde en çok kullanılan malzemedir. Uzay ve medikal endüstrilerinde %80, global üretimde ise %50'den

\*Sorumlu yazarın e-posta adresi: [saltukalperyasar@gazi.edu.tr](mailto:saltukalperyasar@gazi.edu.tr)

fazla kullanıma sahiptir (Shokrani vd. 2016). Ancak bu olumlu özelliklerinin yanında kayma, sertlik ve aşınmadaki zayıf performansı, zor tedarik edilmesi gibi olumsuz özellikleri de vardır. Titanyum alaşımları zayıf ısıl iletkenliği, yüksek sıcaklıklardaki dayanımı ve takım malzemeleri ile kimyasal reaktifliği nedenleriyle en zor işlenebilen malzemelerden biridir (Garbiec vd. 2016, Armendia vd. 2010). Günümüzde titanyumun işlenmesinde birçok işleme metodu kullanılmaktadır. Tüm Ti-6Al-4V işleme metodları arasında, birçok uygulamada gerekli olmasından ötürü delme diğer işleme yöntemlerine oranla çok daha önemlidir. Delme işlemi esnasında, plastik deformasyon işinin %90'ı ısıya dönüşmekte, deformasyon bölgelerinde takımın, iş parçasına ve talaşa temas ettiği bölgelerde yüksek ısı oluşturmaktadır. Titanyumun delinmesinde delik kalitesi genelde delik çapı, silindiriklik, yüzey pürüzlülüğü ve çapak oluşumu açısından değerlendirilmiştir. Titanyum genellikle yüksek doğruluk ve aşınma dayanımına sahip olması gereken parçalar için kullanıldığından yüksek delik kalitesi sağlanmak zorundadır. Daha yüksek yüzey pürüzlülük değeri çeşitli aşınma, aşırı derece yorulma ve korozyon direncinin azalması gibi durumlara sebep olabilir. Ancak, titanyum işleme operasyonları esnasında kolaylıkla hasar oluşabilmektedir. Hasar mikro çatlaklar, plastik deformasyon, ısıdan etkilenen bölgeler ve kalıntı çekme gerilmeleri şeklinde oluşabilmektedir. Birçok titanyum delme operasyonunda giriş ve çıkış yüzeylerinde çapak oluşmaktadır. Çoğu durumda dikkat çeken husus ise boyutsal olarak çıkış yüzeyinde oluşan çapağın daha büyük olmasıdır (Shetty vd. 2014).

Delik delme işleminde delik ölçülerinin geometrik toleransları çok önemlidir. Özellikle savunma ve uzay sanayi gibi hassas alanlarda kullanılan ürünler için deliklerdeki ölçü doğruluğu önem ihtiva eder. Delik çaplarının toleranslar dahilinde anma çapına en yakın değerlerde olması beklenir (Çakır, 2000). Hassas üretim ihtiyacı sonucu doğan yüksek doğruluğun sağlanması için dairesellik, ovallik gibi faktörlerin incelenmesi gerekmektedir. Sharif ve Rahim (2007)'e göre, kaplamasız WC/Co ile TiAlN-PVD kaplamalı karbür matkapların titanyum alaşımlarının delinebilirliği üzerindeki performansında; kaplamasız karbür matkabın kesici kenarın hızlı aşınmasından dolayı 25 m/dk ve üzeri kesme hızlarında Ti-6Al-4V delinmesi için kullanımının uygun olmadığı tespit edilmiştir. Su vd. (2006)'e göre, titanyum alaşımlarının yüksek hızda işlenmesi esnasında, kesme bölgesinde oluşan yüksek kesme

sıcaklıklarının takım ömrünü hızla azalttığını ifade ederek takım ömrünün artırılmasını büyük ölçüde kesme bölgesine uygulanan soğutma ve yağlama sıvılarının etkinliğine bağlamışlardır. Bütün kesme koşulları altında serbest yüzey aşınmasının, baskın aşınma tipi olduğu gözlemlenmiştir. Kaplamalı takımlar üzerinde difüzyon ve termal yorulma mekanizmalarının baskın aşınma mekanizmaları olduğunu tespit etmişlerdir. Ensarioğlu ve Çakır (2005)'e göre, verimliliği ve yüzey kalitesini arttırsa da kesme hızının takım ömrünü en çok etkileyen kesme parametresi olduğunu ifade etmişlerdir. İlerlemenin titanyumun işlenmesinde takım ömrünü diğer malzemelerde olduğundan daha fazla etkilese de ve yüzey pürüzlülüğünü arttırsa da, verimliliğin artırılmasında kesme hızına tercih edilmesinin gerekliliğine dikkat çekilmiştir. Heinemann vd. (2006)'e göre, yaptıkları çalışma neticesinde, soğutma sıvısının sürekli uygulanması ile kesikli uygulaması karşılaştırıldığında, kesikli uygulamanın özellikle ısıya duyarlı matkaplarda takım ömründe önemli bir azalmaya neden olduğu görülmüştür. Yüksek soğutma kapasiteli düşük viskoziteli soğutma sıvısının takım ömrünün artmasında oldukça etkili olduğu tespit edilmiştir. Kuru kesme şartlarında yapılan deneylerde kullanılan matkapların çoğunda, hızlı bir takım aşınması olduğu ve buna bağlı olarak takım ömründe önemli bir azalma olduğu gözlemlenmiştir. Abdelhafeez vd. (2015)'e göre, CVD elmas kaplamalı karbür matkap ile Al7010-T7451 ve Al2024-T351 alüminyum malzemeleri, kaplamasız karbür matkaplar ile de Ti-6Al-4V malzemeleri delerek çapak miktarını ve delik kalitesine olan etkilerini inceleyerek, ilerleme hızının tüm malzemelerde çıkıştaki çapak miktarı üzerinde etkili olduğunu belirtmişlerdir. Özellikle Ti-6Al-4V malzemesinde ilerleme miktarı ile birlikte kesme hızının da etkisinin büyük olduğunu vurgulamışlardır. Ti-6Al-4V malzemesinin delinmesinde yine ilerleme miktarı ve kesme hızının takım aşınması üzerine etkisini belirtmişler. Altmış delik delindikten sonra ölçüm yapıldığında tüm deneylerde yanak aşınmasının 30 µm'yi geçtiğini tespit etmişlerdir.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde, kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve takım ömrü yönünde çalışmaların olduğu görülmüştür. Fakat kesme mesafesinin artışıyla ilerleme kuvvetinde, kesme torkunda, çaptan sapmada ve dairesellikteki değişimlerin nasıl olduğu konusunda eksikliklerin olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmada delme işleminde kesme hızı ve kesme mesafesine göre ilerleme kuvveti, kesme torku, çaptan sapma ve dairesellikten sapma değişimi araştırılmıştır.

**Çizelge 1.** Malzeme kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri.

| Kimyasal Bileşimi   |               |       |                     |       |         |       |               |
|---------------------|---------------|-------|---------------------|-------|---------|-------|---------------|
| Al                  | V             | Fe    | O                   | N     | H       | C     | Ti            |
| %5.9                | %4.00         | %0.09 | %0.14               | %0.01 | %0.002  | %0.01 | Denge Miktarı |
| Fiziksel Özellikler |               |       |                     |       |         |       |               |
| Çekme Dayanımı      | Akma Dayanımı |       | Sertliği Rockwell C |       | % Uzama |       |               |
| 900-1100 MPa        | 830 MPa       |       | 36                  |       | 10      |       |               |

**Çizelge 2.** CNC dik işleme merkezinin özellikleri.

|                       |             |
|-----------------------|-------------|
| Y eksen               | 500 mm      |
| X eksen               | 550 mm      |
| Z eksen               | 450 mm      |
| Tezgaah gücü          | 7.5 kW      |
| Maksimum devir sayısı | 6000 dev/dk |
| Hassasiyet            | 0.001 mm    |
| Taret takım adeti     | 12 adet     |
| Kontrol sistemi       | Fanuc       |

## 2. Gereç ve Yöntem

### 2.1. Kullanılan Malzeme

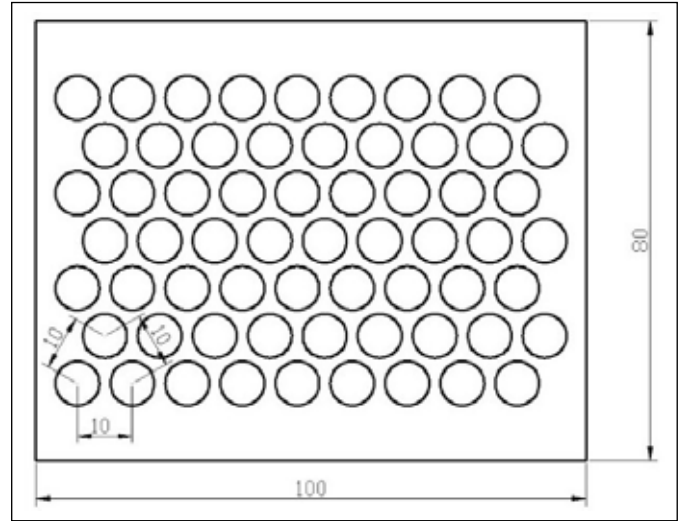
Delinebilirlik deneylerinde, titanyum alaşımları içinde en çok kullanılan Ti-6Al-4V sembolleri ile anılan %6 alüminyum ve %4 vanadyum içeren  $\alpha+\beta$ -Ti alaşımı kullanılmıştır. Malzemenin fiziksel özellikleri ve kimyasal bileşenleri Çizelge 1’de verilmiştir.

### 2.2. Takım Tezgaahı

Delinebilirlik deneyleri Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Laboratuvarında bulunan Johnford VMC-550 marka CNC dik işleme merkezinde yapılmıştır. Tezgaahın teknik özellikleri Çizelge 2’de verilmiştir.

### 2.3. Kesici Takım ve Kesme Parametreleri

Deneylerde Sandvik Coromant marka 6.8 mm çapında,  $140^\circ$  uç açısına sahip, TiN/TiAlN kaplamalı iki ağızlı helisel karbür matkap kullanılmıştır. Deneyler ıslak şartlarda gerçekleştirilmiş olup ıslak şartlarında “Hocut 3380” marka (%20 emülsiyon) kesme sıvısı kullanılmıştır. Deneylerde kesme sıvısı CNC tezgaahına ait soğutma sistemi ile kesici ve iş parçası üzerine püskürtülerek kullanılmıştır. Bu çalışmada üç farklı (38, 41.8 ve 45.6 m/dk) kesme hızı ve sabit ilerleme miktarı (0.1 mm/dev) kullanılmıştır. Kesme hızı ve ilerleme miktarı literatürde yapılan çalışmalar ve kesici takım katalogları dikkate alınarak ön deney çalışmaları neticesinde belirlenmiştir.



**Şekil 1.** Deliklerin numune üst yüzeyindeki dağılımı.

### 2.4. Deney Numuneleri

Deney numuneleri 100x80x15 mm ebatlarında plaka olarak hazır alınmıştır. Kesilen parçaların dinamometreye bağlanabilmesi için bağlama kalıbı tasarlanarak imal edilmiştir (Uzun ve Korkut, 2013). Delinebilirlik testlerinde, her numune üzerine 63 adet delik delinmiştir. Deliklerin numune üst yüzeyindeki dağılımı Şekil 1’de verilmiştir. Delinen delik etrafındaki sertlik dağılımı göz önüne alınarak, deliklerin parça üzerine simetrik olarak yerleştirilmesine dikkat edilmiştir. Bu durum delme sırasında ısının mümkün olduğu kadar eşit şartlarda dağılması sağlanmıştır.

### 2.5. Kesme Kuvvetlerinin Ölçülmesi

Kesme kuvvetlerinin ve momentin deneysel olarak belirlenmesi üç kesme kuvveti bileşenini ( $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ ) ve momentini ( $M_z$ ) aynı anda ölçme kapasitesine sahip, KISTLER 9272 A tipi dinamometre, KISTLER 5070-A çok kanallı amplifier, verilerin işlenmesi ve grafiklerin elde edilmesi için Windows işletim sistemi ile uyumlu KISTLER Dynoware 2825A-02-01 yazılımı kullanılmıştır. Kesme deneylerinin en uygun biçimde yapılabilmesi için dinamometrenin üzerine bağlama kalıbı ile iş parçası

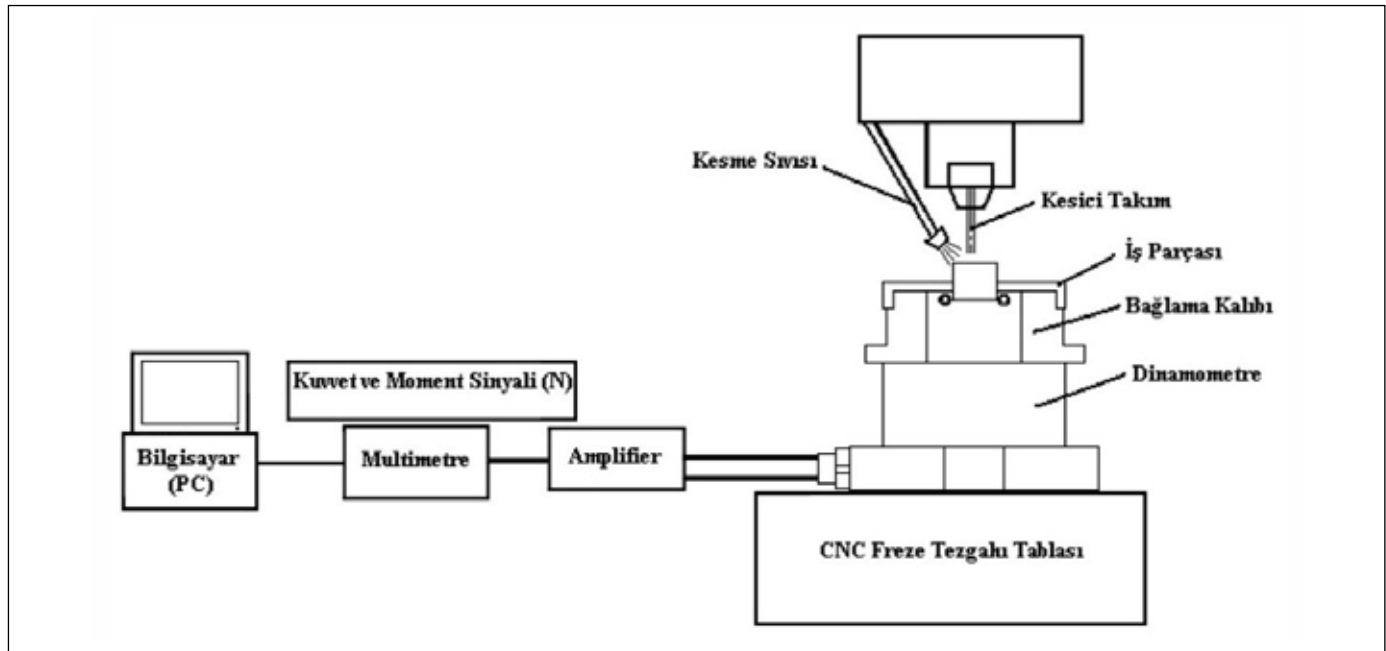
yerleştirilmiştir (Şekil 2). Tasarımı yapılan sistemde kuvvet verileri, iş parçası ile dinamometre arasında doğrudan temas sağlanarak iş parçası üzerinden alınmıştır.

### 3. Deneysel Bulgular ve Değerlendirme

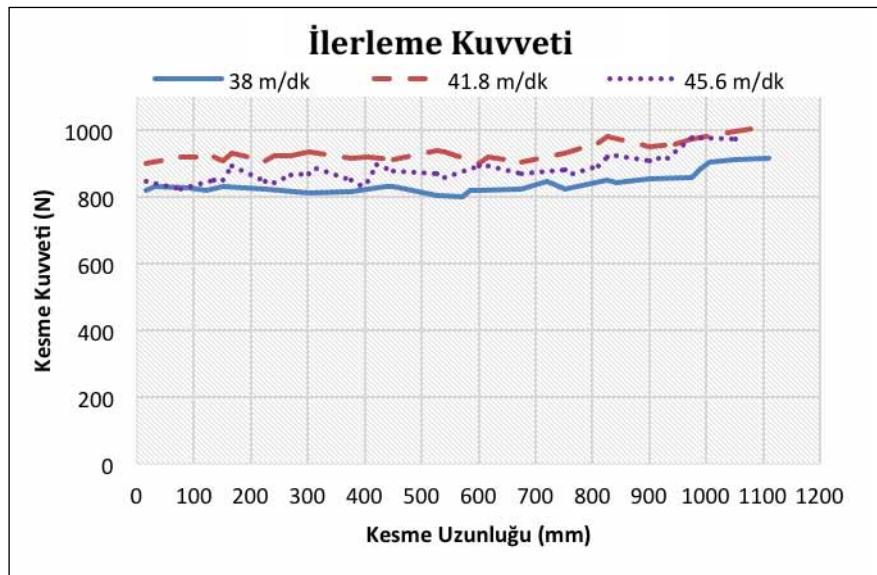
Deneysel sırasında kesme kuvvetleri ölçülmüş, kesme kuvvetlerinden elde edilen veriler kesme kuvvetleri ve delik kalitesi değerlerine göre değerlendirilmiştir. Deneysel 6.8 mm çapa sahip matkapla gerçekleştirilmiş olup, üç farklı kesme hızına (38, 41.8 ve 45.6 m/dk) ve kesme mesafesine göre kıyaslaması yapılmıştır. Şekil 3'te kesme uzunluğu

ve kesme kuvvetine göre ilerleme kuvveti mukayesesi yapılmıştır.

Şekil 3 incelendiğinde, en düşük ilerleme kuvveti değeri en düşük kesme hızı 38 m/dk kesme hızında tespit edilmiştir. Kesme hızının düşük oluşu takım aşınmasının en az olmasına nedeni ile kesme torkunun en düşük çıkması beklenen bir sonuçtur. Şekil 4'te 38 m/dk kesme hızında takım aşınmasının diğer kesme hızlarına göre daha az olduğu görülmektedir. En yüksek ilerleme kuvveti ise 41.8 m/dk kesme hızında olduğu görülmüştür. 41.8 m/dk kesme hızında 45.6 m/dk kesme



Şekil 2. Deneysel seti tasarımı (Uzun ve Korkut, 2013).



Şekil 3. Kesme uzunluğu ve kesme hızına göre ilerleme kuvveti grafiği.

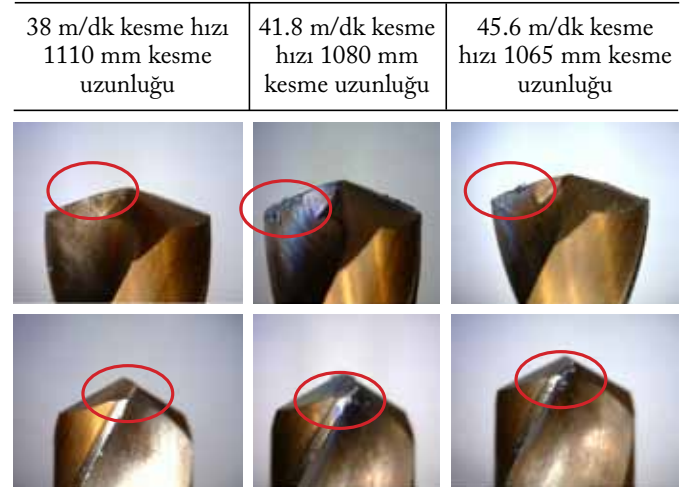
hızına göre daha yüksek ilerleme kuvveti gözlemlenmiştir. Kesme bölgesinde oluşan ısının büyük bir kısmı (%85) talaşla dışarı atılırken, bir kısmı da (%10) iş parçasına iletilmektedir. İletilen bu ısı iş parçasının akma dayanımını düşürür. Bu da talaş kaldırmayı kolaylaştırır. Artan kesme hızıyla sıcaklığın artması ve dolayısıyla ikinci deformasyon bölgesinde yapışan malzemenin dayanımının azalması ile açıklanabilir (Tekait vd. 2009, Uzun vd. 2009, Yağmur vd. 2011, Çiçek vd. 2011, Mavi ve Korkut 2011). Şekil 4'te takım üzerindeki talaş yapışmaları açıkça görülmektedir. Bu nedenlerden dolayı 45.6 m/dk kesme hızında daha düşük kesme kuvvetleri olduğu tespit edilmiştir. Şekil 4'te takım resimleri 50X büyütme ile çekilmiştir.

Kesme uzunluğu arttıkça takımda oluşan aşınmalar nedeniyle ilerleme kuvvetinde artış gözlemlenmiştir. Kesme hızının %10 artırılması ile kesme uzunluğunda %3 lük bir kısalma görülmüştür. Kesme hızı %20 artırıldığında ise kesme uzunluğu %5 azalmıştır. Bütün kesme hızlarında kesme uzunluğu ile kesme kuvvetlerinin arttığı gözlemlenmiştir. 600 mm kesme uzunluğundan sonra bu artışın daha belirgin olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum takım aşınmasının artışı ile takım geometrisindeki değişim ile gerçekleşmekte ve kesme işleminin zorlaşması ile açıklanabilir. Bütün kesme hızlarında alınan 600 mm kesme mesafesinde ilerleme kuvveti artışlarının çok olmadığı fakat 1000 mm yol mesafesinden sonra kuvvetlerin %10 ile %16 arasında artış gösterdiği gözlemlenmiştir.

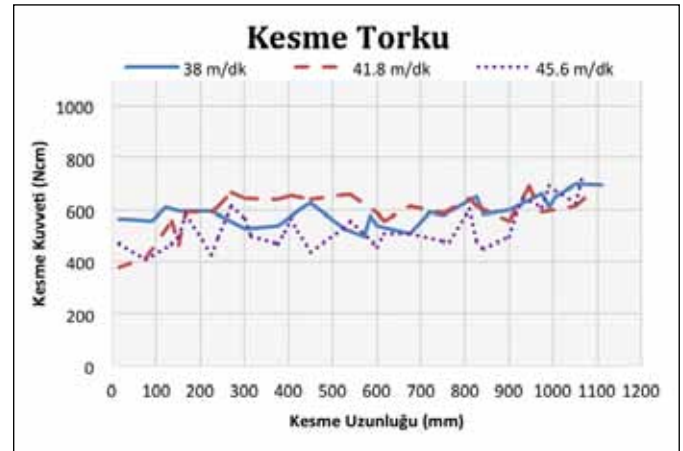
Şekil 5 incelendiğinde kesme mesafesi arttıkça kesme torku da artmaktadır. Kesme torkundaki anlık yükselmelerin talaş tahliyesinin gerçekleşmemesi sonucunda talaş sıkışmalarının meydana geldiği düşünülmektedir. Bu atışların takım aşınmasından kaynaklandığı da söylenebilir. 41.8 m/dk kesme hızında ilerleyen deneylerde kesme torkundaki artışın oluşan takım aşınmasından olduğu tahmin edilmektedir. En düşük kesme hızı olan 38 m/dk da daha az tork artışları görülmüştür. Düşük kesme hızında takımın daha geç aşınması ile bu durum açıklanabilir. İlk deneylerde kesme torku 41.8 ve 45.6 m/dk kesme hızlarında daha düşük olduğu görülmüştür. Yüksek kesme hızlarında talaşın kesme bölgesinden daha hızlı tahliye edilebilmesi ile bu durum açıklanabilir (Sultan vd. 2015, Siyambaş ve Turgut 2015). Kesme uzunluğunun 250 mm geçmesi ile kesme torklarında artışların olduğu tespit edilmiştir. Bu durum yüksek kesme hızlarında takım aşınması ve talaşın takıma yapışması ile açıklanabilir.

Tüm deneylerde elde edilen çap değerleri nominal çaptan daha büyük olmuştur. Genellikle kesme hızı arttıkça çapsal

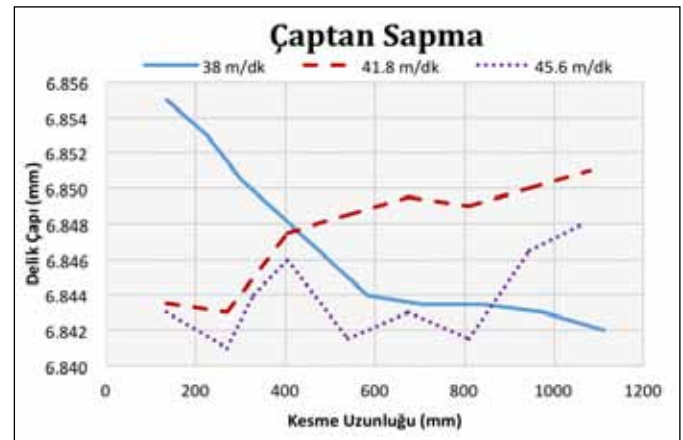
hata da artmaktadır (Sultan vd. 2015, Siyambaş ve Turgut 2015, Yağmur vd. 2013). Delme deneyleri sonucu oluşan Şekil 6'daki grafiklere göre kesme hızı arttıkça çapsal hatada



Şekil 4. Kesme hızlarının değişimine bağlı takım resimleri (50X).

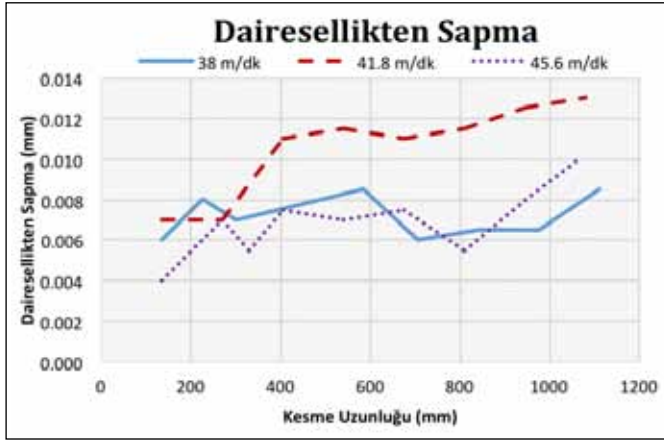


Şekil 5. Kesme uzunluğu ve kesme hızına göre kesme torku grafiği.



Şekil 6. Kesme uzunluğu ve kesme hızına göre çaptan sapma grafiği.





Şekil 7. Kesme uzunluğu ve kesme hızına göre daireellikten sapma grafiği.

artmıştır. Bunun sebebinin takım aşınması ve artan kesme hızı olduğu düşünülmektedir (Kıvak vd. 2012, Meral vd. 2015). Artan kesme hızı ile birlikte kesme uzunluğunun artmasıyla 41.8 ve 45.6 m/dk kesme hızlarında çapsal hatada 0.005 mm ile 0.007 mm arasında artmıştır. En düşük kesme hızında bu durum tam tersi şeklinde olduğu görülmüştür. 38 m/dk kesme hızında ise 0.013 mm çapsal hatanın azaldığı görülmektedir. Çapsal hatanın özellikle 400 kesme mesafesinden sonra takım aşınmasına bağlı olarak hızlı bir şekilde değiştiği Şekil 5'de ki grafikte açıkça görülmektedir. 300 mm kesme mesafesine kadar aşınmanın özellikle matkabın zırh bölümünde olduğu ve bu nedenle ilk kesme mesafelerinde çapsal hatanın azalma yönünde olduğu görülmektedir. Fakat 41.8 ve 45.6 m/dk kesme hızlarında kesme mesafesinin artışı ile talaş yapışmalarının ve takım aşınmalarının artmasıyla çapsal hatada artış gözlemlenmiştir. Matkabın uç profilini değiştirecek bir aşınma ya da talaş yapışması meydana gelmiş ve bundan dolayı da deliklerde çap artışı olmuştur (Kıvak vd. 2012).

Dairesellikten sapma için Şekil 7 incelendiğinde en büyük farkın 0.013 mm ile 41.8 m/dk kesme hızında olduğu görülmektedir. En az sapma değeri ise yine 45.6 m/dk kesme hızında 135 mm kesme mesafesinde 0.004 mm olarak elde edilmiştir. Kesme mesafesinin artışı ile en düşük kesme hızı olan 38 m/dk'da daha düşük daireellikten sapma değerleri tespit edilmiştir (Kıvak vd. 2012, Çiçek vd. 2011, Meral vd. 2015). Bu durum takım aşınmasının ve talaş yapışmasının en az olması ile açıklanabilir. Fakat tüm değerlerde daireellikten sapma farkı mikron seviyesinde olduğu için daireellikten sapma değerlerinin iyi olduğu söylenebilir. Kesme mesafesinin artışı ile daireellikten sapma değerleri 0.003 ile 0.006 mm arasında artış göstermiştir.

### 3. Sonuç

Sonuç olarak, en düşük ilerleme kuvveti değeri en düşük (38 m/dk) kesme hızında tespit edilmiştir. En yüksek ilerleme kuvveti ise en yüksek takım aşınmasının olduğu 41.8 m/dk kesme hızında görülmüştür. Kesme mesafesinin artması ile ilerleme kuvveti %10 ile %16 arasında artış göstermiştir. İlk deneylerde kesme torku 41.8 ve 45.6 m/dk kesme hızlarında daha düşük olduğu görülmüştür. Fakat kesme mesafesinin artışı ile takımlardaki aşınma miktarının artışıyla orantılı olarak kesme torkunda artışlar görülmüştür. Tüm deneylerde elde edilen çap değerleri nominal çaptan daha büyük olmuştur. Kesme hızının ve kesme mesafesinin artışı ile çapsal hata da artmıştır. 41.8 ve 45.6 m/dk kesme hızlarında çapsal hatada 0.005 mm ile 0.007 mm arasında artmıştır. Fakat 38 m/dk kesme hızında ise 0.013 mm çapsal hatanın azaldığı görülmektedir. En az daireellikten sapma değeri en yüksek kesme hızı olan 45.6 m/dk da tespit edilmiştir. Fakat kesme mesafesi 900 mm geçmesi ile en az değer en düşük kesme hızı olan 38 m/dk kesme hızında görülmüştür. Dairesellikten sapma için en büyük farkın 41.8 m/dk kesme hızında olduğu görülmektedir. Tüm değerlerde daireellikten sapma farkı mikron seviyesinde olduğu için daireellikten sapma değerlerinin iyi olduğu söylenebilir.

### 4. Kaynaklar

- Abdelhafeez, A. M., Soo, S. L., Aspinwall, D. K., Dowson, A., Arnold, D. 2015. Burr formation and hole quality when drilling titanium and aluminium alloys. *Procedia CIRP*, 37: 230-235.
- Armendia, M., Garay, A., Iriarte, L. M., Arrazola, P. J. 2010. Comparison of the machinabilities of Ti6Al4V and TIMETAL® 54M using uncoated WC-Co tools. *J. Mater. Process. Tech.*, 210(2): 197-203.
- Bruschi, S., Bertolini, R., Bordin, A., Medea, F., Ghiotti, A. 2016. Influence of the machining parameters and cooling strategies on the wear behavior of wrought and additive manufactured Ti6Al4V for biomedical applications. *Tribol. Int.*, 102: 133-142.
- Cantero, J. L., Tardio, M. M., Canteli, J. A., Marcos, M., Miguelez, M. H. 2005. Dry drilling of alloy Ti-6Al-4V. *Int. J. of Mach. Tool. Manu.*, 45(11): 1246-1255.
- Çakır, MC. 2000. Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri, Vipaş A.Ş., Bursa, 390 s.
- Çiçek A., Kıvak T., Uygur I., Ekici E., Turgut, Y. 2012. Performance of cryogenically treated M35 HSS drills in drilling of austenitic stainless steels. *Int. J. Adv. Manu. Tech.*, 60: 65-73.

- Çiçek, A., Kıvak, T., Turgut, Y., Uygur, İ., Ekici, E. 2011.** Derin kriyojenik işlemin kesme kuvvetleri, delik çapları ve takım ömrü üzerine etkileri. *6 th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, 16-18 May 2011, Elazığ, Turkey.
- Ensarioğlu, C., Çakır, MC. 2005.** Titanyum ve alaşımlarının işlenebilirlik etüdü 2. Bölüm, Mühendis ve Makine, Cilt: 46 Sayı: 547.
- Garbicc, D., Siwak, P., Mróz, A. 2016.** Effect of compaction pressure and heating rate on microstructure and mechanical properties of spark plasma sintered Ti6Al4V alloy. *ACME*, 16(4): 702-707.
- Heinemann, R., Hinduja, S., Barrow, G., Petuelli, G. 2006.** Effect of MQL on the tool life of small twist drills in deep-hole drilling. *Int. J. Mach. Tool. Manu.*, 46(1): 1-6.
- Kıvak, T., Habalı, K., Şeker, U. 2012.** The effect of cutting parameters on the hole quality and tool wear during the drilling of Inconel 718, *GUJS*, 25(2): 533-540.
- Mavi, A., Korkut, İ. 2014.** The machinability of Ti-6Al-4V alloy with cryogenically treated cemented carbide tools, *Mater. Tech.*, 48:4(577-580).
- Meral, G., Sarıkaya, M., Dilipak, H., Şeker, U. 2015.** Multi-Response optimization of cutting parameters for hole quality in drilling of AISI 1050 steel, *Arab. J. Sci. Eng.*, 40(12): 3702-3722.
- Perçin, M., Aslantaş, K., Uzun, İ., Kaynak, Y., Çiçek, A. 2016.** Micro-drilling of Ti-6Al-4V alloy: The effects of cooling/lubricating. *Precision Eng.*, 45: 450-462.
- Qin, Y., Xiong, D., Li, J., Jin, Q., He, Y., Zhang, R., Zou, Y. 2016.** Adaptive-lubricating PEO/Ag/MoS<sub>2</sub> multilayered coatings for Ti6Al4V alloy at elevated temperature. *Mater. Design*, 107: 311-321.
- Sharif, S., Rahim, EA. 2007.** Performance of coated-and uncoated-carbide tools when drilling titanium alloy—Ti-6Al4V. *J. Mater. Process. Tech.*, 185(1): 72-76.
- Shetty, PK., Shetty, R., Shetty, D., Rehaman, NF., Jose, TK. 2014.** Machinability study on dry drilling of titanium alloy Ti-6Al-4V using L9 orthogonal array. *Procedia Mater. Sci.*, 5: 2605-2614.
- Shokrani, A., Dhokia, V., Newman, ST. 2016.** Investigation of the effects of cryogenic machining on surface integrity in CNC end milling of Ti-6Al-4V titanium alloy. *J. Manuf. Process.*, 21: 172-179.
- Siyambaş, Y., Turgut, Y. 2015.** HSLA DIN EN 10149 çeliğinin delinmesinde kesme parametrelerinin aksel kuvvet ve momente etkilerinin deneysel araştırılması, *Mak. Teknol. Elektron. Derg.*, 12(2): 41-49.
- Sultan, A., Z., Sharif, S., Kurniawan, D. 2015.** Effect of machining parameters on tool wear and hole quality of AISI 316L stainless steel in conventional drilling. *2nd International Materials, Industrial and Manufacturing Engineering Conference (MIMEC 2015)*, 4-6 February 2015, Bali, Indonesia.
- Tekaüt, İ., Günay, M., Seker, U. 2009.** Tornalama işlemlerinde kesici takım titreşiminin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisinin araştırılması. *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, 13-15 Mayıs 2009, Karabük, Türkiye.
- Uzun, G., Korkut, İ. 2013.** The effect of cryogenic treatment on tapping. *Int. J. Adv. Manu. Tech.*, 67: 857-864.
- Yağmur, S., Acır, A., Şeker, U. 2013.** AISI 1050 çeliğinin delinmesinde kesme parametrelerinin ve kaplama uygulamasının dairesellikten sapma (ovalite) üzerindeki etkilerinin araştırılması. *J. Polytechnic*, 16 (3): 105-109.
- Yağmur, S., Acır, A., Günay, M., Şeker, U. 2011.** Delik delme işlemlerinde kesme parametrelerine bağlı olarak değişen sıcaklığın incelenmesi. *VI. Makina Tasarım ve İmalat Teknolojileri Kongresi*, Konya, Türkiye.