



Ti-6Al-4V Titanyum Alaşımının Delinmesinde Ön Delik Uygulamasının İşlenebilirliğe Etkisinin İncelenmesi

Investigation of the Effect of Pre-Hole Application on Machinability in Drilling of Ti-6Al-4V Titanium Alloy

Selçuk Yağmur¹ , Muharrem Pul² 

¹Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, 06500 Ankara, TÜRKİYE

²Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, 71450, Kırıkkale, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 18/07/2020

Kabul / Accepted: 11/12/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 18/01/2021

Son Versiyon/Final Version: 18/01/2021

Öz

Bu çalışmada endüstride çok yaygın olarak kullanılan ve talaşlı işleme operasyonları uygulanan Ti-6Al-4V titanyum alaşımının delinmesinde ön delik delmenin işlenebilirlik özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla soğutma kanallı kaplamasız karbür matkap ile delme deneyleri yapılmıştır. Deney parametreleri olarak dört farklı kesme hızı (60, 75, 90, 108 m/dak) ve sabit ilerleme miktarı (0,20 mm/dev) seçilmiştir. Deneyler sırasında ilerleme kuvveti, kesme momenti ve kesme bölgesindeki sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Ayrıca delinmiş yüzeylere ait pürüzlülük değerleri belirlenmiştir. Elde edilen verilerin değerlendirilmesi sonucunda kesme hızının artmasıyla ilerleme kuvvetinin, kesme momentinin ve sıcaklık değerlerinin genel olarak azaldığı görülmüştür. Kesme hızındaki değişimler yüzey pürüzlülük değerleri üzerinde çok fazla değişmeye neden olmamıştır. Ön delik uygulaması yapılan numunelerde ilerleme kuvveti, moment, sıcaklık ve yüzey pürüzlülük değerleri daha düşük çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler

“Ti-6Al-4V, Delme, İlerleme kuvveti, Moment, Sıcaklık, Yüzey Pürüzlülüğü”

Abstract

In this study, the effect of pre-hole drilling on machinability properties of Ti-6Al-4V titanium alloy, which is widely used in the industry and machining operations are investigated. For this purpose, drilling tests were done with uncoated carbide drill with cooling channel. Four different cutting speeds (60, 75, 90, 108 m/min) and constant feed rate (0.20 mm/rev) were selected as test parameters. During the tests, the feed force, shear moment and temperature values in the shear region were measured. In addition, roughness values of the drilled surfaces were determined. As a result of the evaluation of the obtained data, it was seen that the cutting force, cutting moment and temperature values generally decreased with increasing cutting speed. Changes in cutting speed did not cause much change on surface roughness values. In the pre-hole samples, the feed force, moment, temperature and surface roughness values were lower.

Key Words

“Ti-6Al-4V, Drilling, Feed force, Moment, Temperature, Surface Roughness”

1. Giriş

Titanyum (Ti) alaşımları, sahip oldukları yüksek dayanım ağırlık oranları, mükemmel korozyon dirençleri, düşük elastisite modulleri ve biyouyumluluk özellikleri nedeniyle uzay, biyomedikal, otomotiv ve petrol endüstrisi başta olmak üzere daha birçok endüstri dalında geniş bir uygulama alanı bulmaktadır. Değişik özellikleri olan bu alaşımlar içerisinde, endüstrideki %60'lık kullanım oranıyla, en büyük payı Ti-6Al-4V titanyum alaşımı oluşturmaktadır (Kıvak ve Şeker 2012). Ti alaşımları çeliğin yarı ağırlığında olmasına rağmen çelikten daha dayanıklıdır. Bu özelliği sayesinde havacılık ve uzay sanayinde çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle çelik ile karşılaştırıldığında, %60 oranında daha hafif olmasının yanında daha dayanıklı olması ve bio-uyumluluğu nedeniyle sağlık alanında çok önemli kullanım sahası bulmuştur. Kemik plakaları, kol ve bacak mafsalsı elemanları, protezler ve diş implantları sağlık sektöründeki kullanımı için örnek olarak verilebilir. Ti-6Al-4V, 1954 senesinde Titanyum içerisindeki α fazını dengelemek üzere %6 Al ve β fazını dengelemek üzere %4 V eklenmesi ile ilk olarak bulunmuştur. Ti-6Al-4V α - β titanyum alaşımı, titanyum alaşımları içinde en yaygın kullanılan çeşittir. Ti-6Al-4V uzay ve medikal sanayilerinde %80, bu sanayi dallarının dünya çapındaki kullanımında ise %50'den fazla paya sahiptir (Uzun ve ark. 2017).

Talaşlı imalattaki enerji sarfıyatı maliyetleri üretilen parçaların birim maliyeti üzerinde önemli bir yer tutmaktadır. İşleme sırasında takım tezgahının harcadığı güç kullanılan elektrik enerjisini, kesici takımın işleme sırasındaki maruz kaldığı kesme kuvvetleri ise harcanan gücü doğrudan etkilemektedir. Dolayısıyla talaşlı imalattaki operasyonların şekli ve kullanılan yöntemleri üzerine yapılan araştırmalar giderek önem kazanmaktadır. Ti-6Al-4V titanyum alaşımları genel olarak dolu kütük malzeme şeklinde temin edildikten sonra farklı imalat yöntemleri kullanılarak işlenmekte ve şekil verilmektedir. Diğer metallerde olduğu gibi Ti alaşımlarına şekil verilmesinde kullanılan en önemli yöntemlerden birisi de talaş kaldırma işlemidir. Talaş kaldırarak işleme yöntemleri içerisinde ise en büyük payı delik delme işlemleri almaktadır. Delik delme en önemli talaş kaldırma operasyonlarından ve talaşlı üretim işlerinin yaklaşık olarak %33'ünü kapsamaktadır. Ayrıca talaşlı işleme operasyonlarında harcanan toplam zamanın %25'i delik delme işlemleri olarak geçmektedir. Talaş kaldırma işlemlerinde daima temel amaç maliyetleri azaltmak ve verimliliği yükselterek optimum işleme koşullarını sağlamak olmuştur (Meral ve ark. 2011). Ti ve alaşımları üstün özellikleri nedeniyle birçok uygulama için çekicidir. Bununla birlikte, işlenmesi zor malzemeler olarak kabul edilirler. Ti için uygun maliyetli delme işlemlerinin geliştirilmesi ve/veya mevcut olan işlemlerin maliyet etkinliğinin artırılması arzu edilir (Zhang ve ark. 2008). Dolayısıyla endüstrinin pek çok alanında kullanılan Ti-6Al-4V alaşımının delinmesi üzerine yapılan araştırmalar önem kazanmıştır. Bu araştırmalarda farklı işleme parametreleri ile yapılan delik delme işlemlerinde, kesici takımların performansları ve Ti-6Al-4V alaşımının işlenebilirlik davranışları incelenmiştir. Aşağıda konuyla ilgili farklı çalışmalar yer almaktadır.

Çelik ve Kılıçkap (2018) yaptıkları çalışmada titanyum alaşımlarının delinmesinde zorluklarla karşılaşıldığını ifade etmişlerdir. Titanyum alaşımlarının düşük termal iletkenliği nedeniyle iş parçası/takım ara yüzeyinde yüksek sıcaklıkların meydana geldiğini ve yüksek dayanıma sahip olan bu alaşımların delinmesinde yüksek kesme kuvvetleri ile karşılaşıldığına işaret etmişlerdir. Rahim ve ark. (2008) yaptıkları çalışmada, Ti6Al4V alaşımının yüksek hızlı delme işlemlerinde (HSD) kaplamasız karbür takımın delme performansını incelemişlerdir. Çeşitli kesme koşullarında itme kuvveti, tork, titreşim, talaş oluşumu ve delinmiş yüzeyin yüzey bütünlüğü gibi işleme davranışları değerlendirilmiştir. Sonuçlar kesme hızı ve ilerleme değerinin işleme davranışlarını önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir. Parida (2018) çalışmasında, Ti-6Al-4V'nin delinmesinde malzeme maliyeti ve süreden tasarruf için bir 3D FEM simülasyon modeli ortaya koymuştur. Bu model itme gücü, tork, efektif gerilme ve delici uç sıcaklığını incelemek için DEFAS yazılımı ile çeşitli kesme ve ilerleme hızları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu araştırmaya göre, matkap ucu sıcaklığı ilerleme hızı aralıklarının artmasıyla artmıştır. Kesme hızındaki artış, ısı yumuşama nedeniyle iş parçasının sertliğini azalttığı için, matkap ucunda düşük sıcaklık gözlenmiştir. Daha iyi yüzey kalitesi yüksek kesme hızında ve düşük ilerleme hızında gözlenmiştir. Guu ve ark. (2012) çalışmalarında, titanyum alaşımının hassas delinmesindeki gerilme yığılması için ideal işleme parametrelerini belirlemek amacıyla Taguchi tabanlı bir deney tasarımı kullanılmıştır. Hassas delinmiş deliklerde gerilme yığılmasının özellikleri sonlu elemanlar yöntemi (FEM) ile analiz edilmiştir. Gerilme yığılmasını etkileyen kritik parametrelerin ideal seviyelerini ve önem sırasını belirlemek için sinyal-gürültü (S/N) oranı ve varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır. Çalışmadaki kritik kontrol parametrelerinin, dönme hızı (rpm), ilerleme hızı (mm/dak), kesme sıvısı ve matkap tutma uzunluğu (mm) olduğu görülmüştür. Li ve Shih (2007) yaptığı çalışmada, ticari olarak saf titanyumun delme işleminde takım sıcaklığının üç boyutlu ve geçici dağılımı, ters ısı transfer yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Eğik kesme analizi kullanılarak, itme kuvveti, tork ve sürtünme ısı miktarı hesaplanmıştır. Matkap üzerindeki sıcaklık dağılımı sonlu elemanlar yöntemi ile çözümlenmiş ve deneysel ölçümlerle doğrulanmıştır. 12,7 mm delik boyunda, 0,025 mm ilerlemede, 24,4 m/dak ve 73,2 m/dak kesme hızlarında matkabın tepe sıcaklığı, 480°C ve 1060°C'ye ulaşmıştır. Delme zamanına karşı delme sıcaklığının sürekli artması gözlenmiştir. Li ve ark. (2007) Ti-6Al-4V alaşımı üzerinde; 4 mm çaplı WC-Co spiral uçlu matkap ile 183 m/dak kesme hızında (MRR) yüksek verimli delme ve deneyleri yapmıştır. Kesme hızı, ilerleme ve soğutma sıvısı miktarı da dahil olmak üzere, takım malzemesi ve geometrisi ile delme işlemindeki parametrelerin matkap ömrü, itme kuvveti, tork, enerji ve talaş formu üzerindeki etkisini değerlendirilmiştir. Uzun kesme ömrü ve iyi delik yüzey pürüzlülüğü elde etmek için kesme hızı ve ilerleme arasındaki dengenin çok önemli olduğu vurgulanmıştır. Elmagrabi ve ark. (2008) çalışmalarında, Ti -6Al-4V titanyum alaşımı üzerinde kaplamasız ve kaplamalı karbür kesici takımlar ile kuru işleme şartlarında frezede delme deneyleri yapılmıştır. Deneysel testler 50, 80 ve 105 m/dak kesme hızlarında, 1, 1,5 ve 2 mm'lik kesme derinliğinde ve 0,1, 0,15 ve 2 mm/rev ilerleme hızlarında gerçekleştirilmiştir. Takım ömrü ve yüzey kalitesi kalitesi, kesici takımın performansını belirleyen faktörler olmuştur. PVD kaplı karbür takımın, azami 11,5 dakikalık takım ömrü ile daha iyi takım ömrüne sahip olduğu görülmüştür. Sharif ve Rahim (2007) çalışmalarında titanyum alaşımı Ti-6Al4V'yi delerken kaplamasız W/Co ve TiAlN – PVD kaplı karbür helisel matkapların performansı incelenmiştir. Soğutma sıvısı kullanarak delik açarken kesme hızının takım aşınması, takım ömrü ve deliğin yüzey kalitesi üzerinde

etkili olduğu bildirilmiştir. Test edilen tüm kesme hızlarında, TiAlN kaplı matkap ucunun, takım ömrü ve yüzey kalitesi açısından kaplamasız matkap uygulamasından önemli ölçüde daha iyi performans gösterdiği ifade edilmiştir. Shetty ve ark. (2014) çalışmalarında, Ti-6Al-4V'nin kuru delme işlemi sırasında işlenebilirliğini incelemiştir. Deneylerde, Ti-6Al-4V delik kalitesi ve talaş tipi için uygun delme koşullarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın sonucunda, Ti-6Al-4V alaşımının delinmesinde iyi yüzey kalitesi ve minimum talaş kalınlığının elde edilmesinde temel etkenin yüksek kesme hızı olduğu, asgari çapak için ise düşük kesme hızının etkili olduğu ifade edilmiştir. Yüksek kesme hızlarında, takım ile iş parçası arasında küçük temas uzunluğu nedeniyle kesme sıcaklığının arttığına işaret edilmiştir. Bu durumda, takım-iş parçası arayüzünde düşük sürtünme sonucunda, sürtünme katsayısı değerinin azalabileceği söylenmiştir. Bu faktörlerin yüzey kalitesine katkı sağladığına işaret edilmiştir.

Yapılan bu çalışmada ise literatürden farklı olarak ön delik delinmiş Ti-6Al-4V alaşımı ile delinmemiş Ti-6Al-4V alaşımı üzerinde tek ilerleme ve beş ayrı kesme hızı değeri seçilerek delik delmek deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler sırasında ve sonrasında yüzey pürüzlülük değerleri, kesme momenti, itme kuvveti, ve delme bölgesi sıcaklığı ölçülerek kaydedilmiştir. Elde edilen veriler ile ön delikli ve deliksiz Ti-6Al-4V alaşımı işlenebilirlik yönünden mukayese edilerek değerlendirilmiştir.

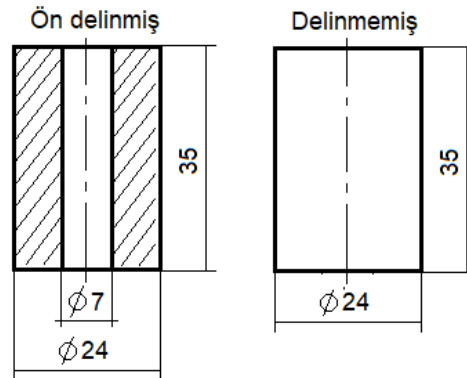
2.Malzeme ve Yöntem

Bu çalışmada özellikle uzay, biyomedikal, otomotiv sanayinde yaygın olarak kullanılan ISO 5832-3 standardında dövme titanyum alaşımı Ti-6Al-4V (Grade 5) kalite malzeme kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan malzemenin fiziksel özellikleri ve kimyasal kompozisyonu Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo1. Titanium Ti-6Al-4V (Grade 5) malzemesinin fiziksel özellikleri ve kimyasal bileşimi

Fiziksel özellikler	Değer	Kimyasal içerik	Değer
Çekme Mukavemeti (MPa)	950	C %	0,08 max.
Akma Mukavemeti (MPa)	880	V %	3,5-4,5
Uzama %	14	N %	0,05 max.
Elastite Modülü (GPa)	113,8	Al %	5,5-6,75
Yoğunluk (g/cm ³)	4,43	Fe %	0,30 max.
Sertlik (HRC)	36	O %	0,20 max.
Ergime Sıcaklığı (°C)	1604-1660	H %	0,015 max.
Beta Trans. Sıcaklığı (°C)	980	Ti %	Kalan

Deneylerde iki farklı delik tipi kullanılmıştır. Delik tipleri; dolu numune ve ön delik delinmiş numune olarak belirlenmiştir. Ön delikli numuneler deneylerde uygulanacak çapın % 50'si oranında 7 mm çapındaki matkapla boydan boya delinmiştir. Şekil 1'de deneylerde kullanılan numunelerin ölçüleri verilmiştir.



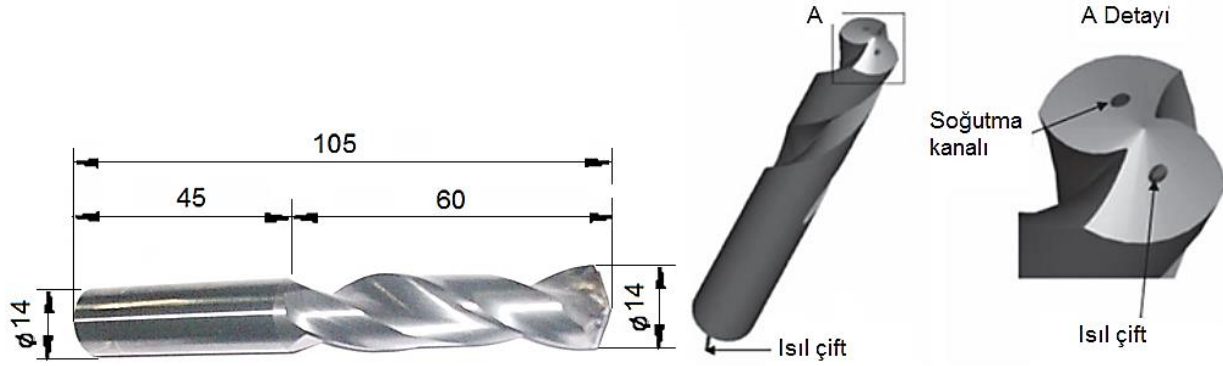
Şekil 1. Deney numunesi ölçüleri

Deneyler Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümünde bulunan Johnford VMC-550 marka CNC dik işleme merkezinde yapılmıştır. CNC Dik işleme merkezinin özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Deneysel kullanılan tezgahın teknik özellikleri

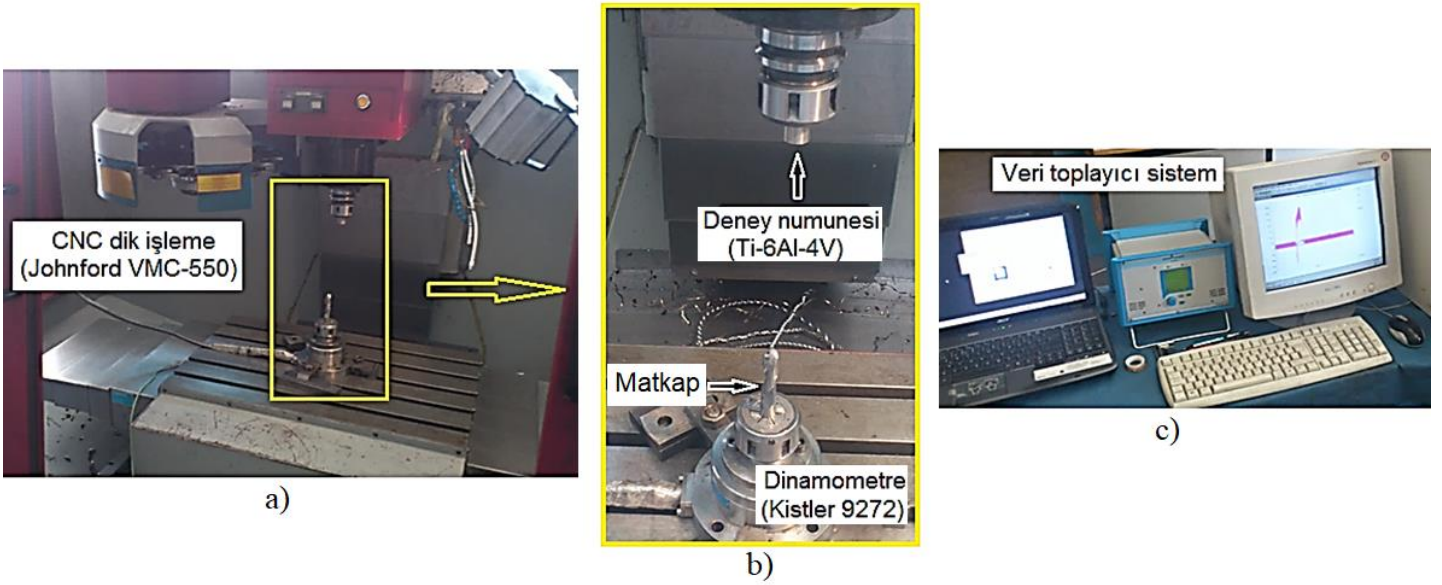
Özellik	Değer
Tezgah gücü	5 kW
Maksimum devir sayısı	8000 dev/dak
X, Y, Z eksenleri	600 mm, 500 mm, 600 mm
Hassasiyet	0,001 mm
İşletim sistemi	Fanuc

Çalışmada DIN 6537 standardında K25 kalite kaplamasız helisel karbür soğutma kanallı matkaplar kullanılmıştır. Kullanılacak matkap çapı 14 mm olarak belirlenmiştir. Matkap çapının $\varnothing 14$ mm olması ile, matkabın kesici kısmındaki sıcaklığın ısı çifti ile ölçülebilmesinde ısı çiftinin soğutma kanallarından rahat geçebilmesi dikkate alınmıştır. Deneysel kullanılan matkapların ölçüleri ve biçimi Şekil 2’de, fiziksel özellikler Tablo 3’te verilmiştir.

**Şekil 2.** Deneysel kullanılan karbür helisel matkap (Yağmur ve ark. 2013)**Tablo 3.** Deneysel kullanılan matkapların mekanik ve termal özellikleri

Tip	K25 grade (Kaplamasız)
Yoğunluk (gr/cm^3)	14,6
Basma Dayanımı (MPa)	5000
Young Modülü (GPa)	590
Poisson Oranı	0,22
Termal İletkenlik (W/mK)	70
Termal genişleme katsayısı ($10^6/\text{K}$)	5,6

Delme deneylerinde kesme parametreleri olarak 60 m/dak, 75 m/dak, 90 m/dak, 108 m/dak olmak üzere dört farklı kesme hızı ve 0,20 mm/dev sabit ilerleme miktarı seçilmiştir. Bu kesme parametreleri kesici takım firmasının Titanyum malzemelerin işlenmesi için önerdiği değerler arasından seçilmiş ve ön deneyler ile nihai kesme parametreleri belirlenmiştir. Delme işlemlerinde birim zamanda kaldırılan malzeme miktarı (talaş debisi) sabit olduğu için kesme derinliği (mm) otomatik olarak sabit seçilmiştir. Kesme kuvvetlerinin ve momentin deneysel olarak belirlenmesi için üç kesme kuvveti bileşenini (F_x , F_y , F_z) ve momenti (M_z) aynı anda ölçme kapasitesine sahip, kuartz kristal esasıyla çalışan Kistler 9272 tipi dinamometre ve Kistler 5070 tipi amplifier kullanılmıştır. Kesme bölgesi sıcaklığının ölçülmesi için -200 °C ile 1200 °C arasındaki sıcaklıkları ölçebilen K tipi bir ısı-çifti kullanılmıştır. Sıcaklık ölçümlerinin bilgisayar aktarılabilmesi için PICO marka 8 kanallı data logger kullanılmıştır. Delik yüzeylerinin pürüzlülük miktarlarını belirlemek amacıyla, ortalama yüzey pürüzlülük (R_a) değerlerini ölçmek üzere Mahr Perthometer M1 portatif yüzey pürüzlülük aparatı kullanılmıştır. Her yüzeyden 5 farklı yerden yapılan ölçümlerin aritmetik ortalaması alınmıştır. Şekil 4’te delme deneylerinin yapıldığı dik işleme merkezi ve düzeneğinin fotoğrafı verilmiştir.

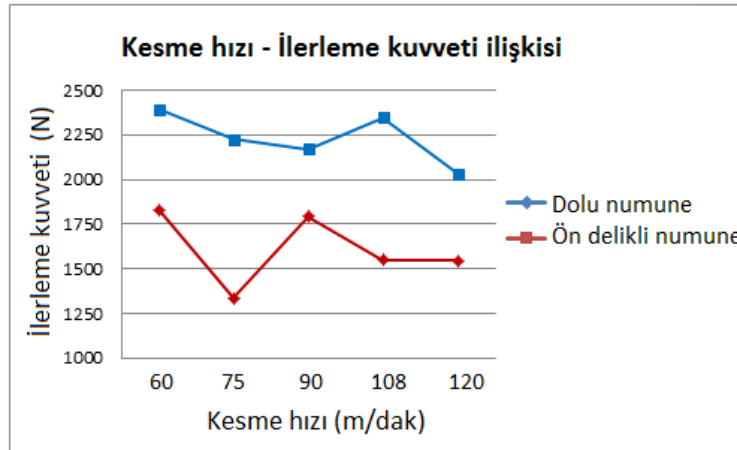


Şekil 4. Deneş düzeneği a) Dik işleme merkezi, b) Numune ve kesici takım c) Veri toplayıcı sistem

3. Bulgular ve tartışma

İlerleme kuvvetlerinin değeriendirilmesi

Delme deneyleri sırasında dinamometre ile ölçülerek kaydedilen ilerleme kuvvetlerini gösteren grafik Şekil 5'te verilmiştir.

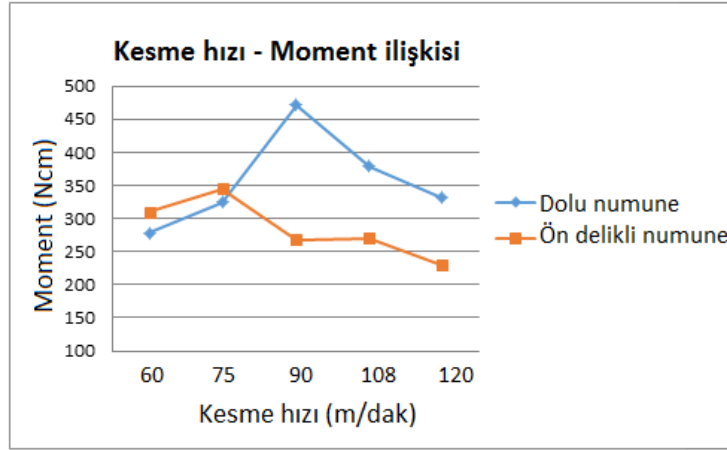


Şekil 5. Kesme hızına göre ilerleme kuvveti

Şekil 5'te verilen grafik incelendiğinde genel olarak artan kesme hızı ile birlikte ilerleme kuvvetlerinde bir düşüş meydana gelmiştir. Kesme hızındaki artışın ısı yumuşama ile birlikte daha rahat talaş kaldırmaya sebep olması ile birlikte kesme kuvvetlerinde düşüş söz konusu olmuştur. Artan kesme hızları ile birlikte kesme kuvvetlerinin düşmesi beklenen bir sonuçtur. Her ne kadar artan kesme hızları ile birlikte kesme bölgesi sıcaklığının düştüğü görülsede aslında ölçülen kesme bölgesi sıcaklığının düşmesi talaş tahliyesi ile ilişkilendirilerek belirtilmiştir. Bu sebeple kesme hızlarının artması ile birlikte ilerleme kuvvetlerinin düşmesi beklenen bir durumdur (Yağmur ve ark. 2013). İki numune tipi incelendiğinde ise ön delikli numuneler ile yapılan deneylerde bütün parametrelerde elde edilen ilerleme kuvveti değeri dolu numunelerde elde edilen değeri daha düşük olduğu görülmektedir. Ön delik delinmemiş numunelerde talaş miktarının fazla olması kesme işlemi esnasında talaş kaldırmak için gereken kuvvetin artmasına atfedilebilir.

Kesme momentlerinin değeriendirilmesi

Delme deneyleri sırasında dinamometre ile ölçülerek kaydedilen moment değeri gösteren grafik Şekil 6'da verilmiştir.

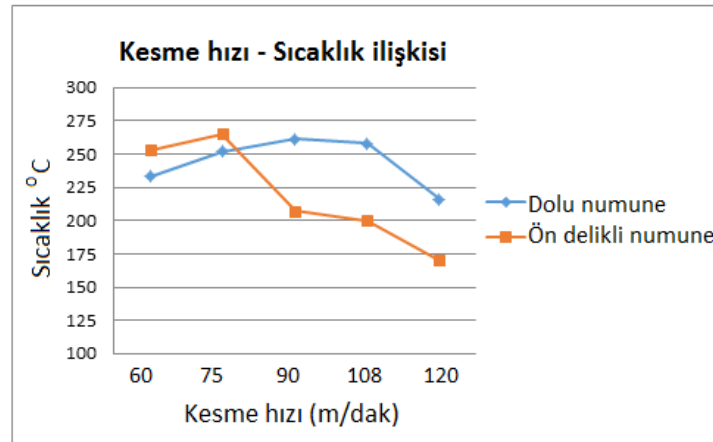


Şekil 6. Kesme hızına göre kesme momenti

Şekil 6’da verilen grafik incelendiğinde ilerleme kuvvetinde meydana gelen değişikliklere benzer bir durum olduğu görülmektedir. Genel olarak kesme hızının artması kesme momentini düşürmüştür. Yine ilerleme kuvvetinde olduğu gibi ön delikli numunelerde meydana gelen moment değerleri genel olarak dolu numunelerde meydana gelen değerlerden düşük olduğu görülmüştür. Ön delikli numunelerde moment değerlerinin düşmesi, delme işlemi sırasındaki talaş hacminin azalmasıyla, kesici takım ucuna tesir eden kuvvetlerinde azalmasıyla açıklanabilir.

Kesme Bölgesi Sıcaklığının Değerlendirilmesi

Delme deneyleri esnasında kesme bölgesinden ölçülerek kaydedilen sıcaklık değerlerini gösteren grafik Şekil 7’de verilmiştir.

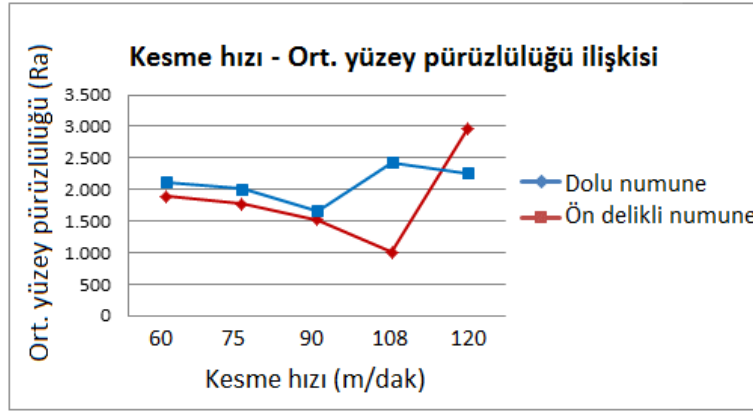


Şekil 7. Kesme hızına göre kesme bölgesi sıcaklığı

Şekil 7’deki grafik incelendiğinde özellikler ön delikli numunelerde kesme hızının artması kesme bölgesi sıcaklığını düşürmüştür. Dolu numunelerde ise kesme hızının artması kesme bölgesi sıcaklığını arttırırken bir istisna olarak 120 m/dak kesme hızında kesme bölgesi sıcaklığında bir düşüş meydana gelmiştir. Benzer sonuçlar Yağmur ve ark. (2013) çalışmasında ortaya koyulmuştur. Genel olarak özellikle tormalama ve frezeleme gibi talaşlı imalat işlemlerinde kesme hızının artışının kesme bölgesi sıcaklığında artışa sebep olması beklenir. Fakat delik delme işleme bu iki işleme göre farklılık gösteren tarafları vardır. En önemli farkı talaş kaldırma işleminin kapalı bir ortamda gerçekleşiyor olmasıdır. Bu sebeple delme işlemlerinde meydana gelen talaşın dış atmosferle karşılaşmasından önce delik içerisinde delinen malzemenin cidarları ile kesici takımla bir süre temasta kalmaktadır. Talaş tahliyesinin kolaylaşması malzeme cidarı ve kesici takımın talaşın temas süresini azaltacaktır. Talaşlı imalatta kesme bölgesinde meydana gelen sıcaklığın %80’ninin talaş ile uzaklaştırıldığı bilinen bir gerçektir. Özellikle ön delikli numunelerle yapılan deneylerde artan kesme hızları ile birlikte talaş tahliyesinin daha kolay olduğu gözlemlenmiştir. Bu sebeple işlem sırasında kesme bölgesi sıcaklığı artsa bile, bu sıcaklığın %80’lik kısmının talaş ile uzaklaştırılması sonucunda kesme bölgesi sıcaklığında düşüş meydana gelmesi muhtemel bir sonuçtur. Parida (2018) yaptığı çalışmada, kesme hızındaki artışın ısı yumuşama ile birlikte iş parçasının sertliğini azalttığını ve matkap ucunda düşük sıcaklık gözlemlendiğini ifade etmiştir.

Delik yüzey pürüzlülüklerinin değerlendirilmesi

Delinmiş yüzeylerin profilometre ile ölçülerek kaydedilen ortalama pürüzlülük değerlerini gösteren grafik Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8. Kesme hızına göre ortalama yüzey pürüzlülüğü

Şekil 8’de verilen grafik incelendiğinde özellikle ön delikli numunelerde artan kesme hızları beklendiği gibi ortalama yüzey pürüzlülük değerlerini olumlu yönde etkilerken 120 m/dak kesme hızında bir artış meydana gelmiştir. Bu değişikliğin sebebinin tahliye olan talaşın yüzeye sürtünmesi olduğu düşünülmektedir. Genel olarak ön delikli numunelerde meydana gelen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri beklenen şekilde dolu numunelerde meydana gelen değerlere nazaran daha düşük çıkmıştır. Shetty ve ark. (2014) yüksek kesme hızlarında, takım ile iş parçası arasında küçük temas uzunluğu nedeniyle kesme sıcaklığının artarak takım-işparçası arayüzündeki sürtünme katsayısı değerinin azalabileceğini ifade etmiştir. Azalan sürtünme katsayısının da yüzey kalitesine katkı sağladığı işaret edilmiştir. Parida (2018) çalışmasında ise daha iyi yüzey kalitesinin yüksek kesme hızında ve düşük ilerleme hızında gözlemlendiği belirtilmiştir.

4.Sonuçlar

Ti-6Al-4V titanyum alaşımı malzemelerle yapılan delme deneyleri ile kesme hızının ilerleme kuvveti, kesme sırasında meydana gelen moment, kesme bölgesinde oluşan sıcaklık ve delik yüzey pürüzlülüğü üzerindeki tesirinin incelendiği çalışmadan çıkarılan sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Delik delme operasyonunda kesme hızındaki değişimlerin işleme parametrelerini önemli ölçüde etkilediği görülmüştür.
- Kesme hızının artmasıyla birlikte ilerleme kuvveti, kesme momenti ve kesme bölgesinde oluşan sıcaklık değerlerinde azalma meydana gelmiştir.
- Delinen yüzeylerin pürüzlülük değerlerinde kesme hızının değişimiyle kayda değer farklılıklar oluşmamıştır. Ön delikli numunede 120 m/dak kesme hızında meydana gelen ani yükselme, takım-delik yüzeyi arasına sıkışarak sürtünen talaş oluşumuna atfedilmiştir.
- Bu çalışmada ele alınan işlenebilirlik parametreleri dikkate alındığında, ön delikli numunelerden daha düşük kesme değerleri elde edilmiştir. Bu durumda harcanan enerji, delik yüzey kalitesi ve dolaylı olarak ta takım ömrü açısından ön delik işleminin avantajlı olabileceği sonucuna varılmıştır.

Referanslar

Çelik, Y.H. ve Kılıçkap, E. (2018). “Titanyum Alaşımlarından Ti-6Al-4V’nın İşlenmesinde karşılaşılan zorluklar: Derleme. GU J Sci, Part C, 6, (1), 163-175.

Elmagrabi, N., Che Hassan C.H., Jaharah A.G., Shuaeib, F.M. (2008). High speed milling of Ti-6Al-4V Using coated carbide tools. European Journal of Scientific Research, 22, (2), 153-162.

Guu, Y.H., Deng, S., Ti-Kunang Hou, M., Hsu, C.H., Tseng, K.S. (2012). Optimization of machining parameters for stress concentration in micro drilling of titanium alloy. Materials and Manufacturing Processes, 27, 207-213.

Kıvak, T. ve Şeker, U. (2012). Ti-6Al-4V Alaşımının delinmesinde kaplama malzemesi ve kesme şartlarının kesme kuvvetleri üzerindeki etkisi. International Iron & Steel Symposium, Karabük, Türkiye, 855-860.

Li, R., Hegde, P., Shih, A.J. (2007). High-throughput drilling of titanium alloys. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 47, 63-74.

- Meral, G., Sarıkaya, M., Dilipak, H. (2011). Delme işlemlerinde kesme parametrelerinin Taguchi yöntemiyle optimizasyonu. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 27, (4), 332-338.
- Parida, A.K. (2018). Simulation and experimental investigation of drilling of Ti-6Al-4V Alloy. International Journal of Lightweight Materials and Manufacture, xxx 1-9.
- Rahim, E.A., Kamdani, K., Safian Sharif, S. (2008). Performance Evaluation of Uncoated Carbide Tool in High Speed Drilling of Ti6Al4V. Journal of Advanced Mechanical Design Systems, and Manufacturing, 2, (4), 522-531.
- Rui Li, R., & Shih, A.J. (2007). Tool Temperature in Titanium Drilling. Journal Of Manufacturing Science And Engineering, 129, 740-749.
- Sharif, S., & Rahim, E.A. (2007). Performance of coated-and uncoated-carbide tools when drilling titanium alloy-Ti-6Al4. J. Mater. Process. Tech., 185, (1), 72-76.
- Shetty, P.K., Shetty, R., Shetty, D., Rehaman, N.F., Jose, T.K. (2014). Machinability study on dry drilling of titanium alloy Ti-6Al-4V using L9 orthogonal array. Procedia Mater. Sci., 5, 2605-2614.
- Uzun, G., Yaşar, S.A., Korkut, İ. (2017). Ti-6Al-4V Alaşımının delinmesinde kesme parametrelerinin kesme kuvvetlerine ve delik kalitesine etkisinin incelenmesi. Karaelmas Fen ve Müh. Derg. 7, (2), 469-475.
- Yağmur, S., Acır, A., Şeker, U., Günay, M., (2013). Delik delme işlemlerinde kesme parametrelerinin kesme bölgesindeki sıcaklığa etkisinin deneysel incelenmesi. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 28, No 1, 1-6.
- Zhang, P.F., Churi, N.J., Pei, Z.J., Treadwell C. (2008). Mechanical drilling processes for titanium alloys: a literature review. Machining Science and Technology, 12, (4), 417-444.