

Ti6Al4V Malzemeye Uygulanan Delme İşleminde Kesme Parametrelerinin İtme Kuvveti, Kesme Momenti Ve Kesme Sıcaklığına Etkileri

Bahattin YILMAZ^{1,*}, Gültekin UZUN¹, Abdulkadir GÜLLÜ¹

¹Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Ankara, Türkiye

MAKALE BİLGİSİ

Alınma: 05.11.2020

Kabul: 04.12.2020

Anahtar Kelimeler:

Delme

Ti6Al4V

İtme Kuvveti

Kesme Momenti

Kesme Sıcaklığı

ÖZET

Talaşlı imalat süreci; tasarlanmış bir iş parçasına kesici takımlar kullanılarak gerekli boyut ve özelliklerin kazandırılması işlemlerini kapsamaktadır. Talaşlı imalatta verimlilik iş parçasına bu özelliklerin en az maliyetle kazandırılması ile sağlanmaktadır. Delme işlemleri talaşlı imalat yöntemleri arasında en çok başvurulan uygulamaların başında gelmektedir. Delme operasyonunun iş parçası içinde kapalı bir bölgede gerçekleşmesi, talaşın takım üzerinden tahliyesi ve kesme sırasında oluşan yüksek sıcaklıklar delme işlemini diğer talaşlı imalat yöntemlerine göre daha karmaşık ve zor kılmaktadır. Tüm bu olumsuzluklar delme işlemi sırasında belirlenen kesme parametrelerinin önemini ve etkisini artırmaktadır. Bu çalışmada Ti6Al4V malzemenin delinmesi sırasında kullanılan farklı kesme hızları ve ilerleme oranlarının delik delme performansına etkileri araştırılmıştır. Araştırma kapsamında operasyon sırasında oluşan itme kuvvetleri, moment ve sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Artan ilerleme oranı ile moment ve itme kuvveti değerlerinin yükseldiği çalışma sonucunda belirlenmiştir. Yine artan ilerleme oranı sıcaklık oluşumunu her iki kesme hızında da %30 oranında artırmış ve sıcaklıkların 600°C'ye yakın değerlere çıktığı görülmüştür.

The Effects of Cutting Parameters on the Thrust Force, Cutting Moment and Cutting Temperature in Drilling Process Applied to Ti6Al4V Material

ARTICLE INFO

Received: 05.11.2020

Accepted: 04.12.2020

Keywords:

Drilling

Ti6Al4V

Thrust Force

Cutting Moment

Cutting Temperature

ABSTRACT

The machining process includes the processes of gaining the required dimensions and features to a designed workpiece by using cutting tools. Efficiency in machining is provided by bringing these features to the workpiece at the least cost. Drilling operations are one of the most used applications among machining methods. The drilling operation takes place in a closed area inside the workpiece, the evacuation of the chips from the tool and the high temperatures that occur during cutting make the drilling process more complex and difficult than other machining methods. All these negativities increase the importance and effect of the cutting parameters determined during the drilling process. In this study, different cutting speeds and feed rates were used during the drilling of Ti6Al4V material. The effects of rates on drilling performance have been investigated. Within the scope of the research, the thrust forces, moment and temperature values generated during the operation were measured. It was determined as a result of the study that increasing feed rate, moment and thrust force values increased. Also increasing the feed rate increased the temperature by 30% at both cutting speeds and it is determined that the temperature values reached around 600°C.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Talaşlı imalat yöntemi; fazla malzemenin (talaş), kesici takımlar kullanılarak uzaklaştırıldığı ve iş parçasına hedeflenen son geometrinin kazandırıldığı operasyonlar ailesidir [1]. Talaşlı imalat yöntemi; operasyon çeşitliliği, farklı geometrik özelliklerin elde edilebilirliği, boyutsal doğruluk ve üstün yüzey kalitesi ile diğer imalat yöntemlerinin önüne geçmektedir [2, 3]. Delik açma operasyonları yaklaşık %33 lük bir oranla en çok kullanılan talaşlı imalat yöntemlerindedir [4]. Delik açma işlemi, kılavuz çekme, delik büyütme, raybalama vb. operasyonlardan önce

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: bahattinyilmaz@gazi.edu.tr

gerçekleştirilmek zorundadır. Ayrıca makine montaj ekipmanı olarak kullanılan cıvata, perçin, pim vb. bağlantı elemanlarının kullanımı için de delik açma operasyonlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Tüm bu durumlar delik açma işleminin kullanımını artırmakla beraber önemini de yükseltmiştir. Delme işleminin parça içerisinde kapalı bir bölgede gerçekleşmesi, talaşın helis kanalları aracılığı ile takım üzerinden tahliye edilmesi, talaş sıkışmasına bağlı olarak takım kırılmaları ve kesme sırasında oluşan yüksek sıcaklıklar bu operasyonu karmaşık ve zorlu bir hale getirmektedir [5, 6]. Yaşanan bu zorluklar delik delme işlemi üzerinde yapılan çalışmaları daha değerli ve anlamlı kılmaktadır.

Delme operasyonlarının bu karmaşık durumu, özellikle uzay ve havacılık alanı gibi yüksek hassasiyet ve verimlilik gerektiren alanlarda, araştırmanın önemini daha da artırmıştır. Uzay ve havacılık alanları başta olmak üzere medikal, biyomalzeme, otomotiv, gıda, kimya vb birçok sanayi dalında titanyum alaşımları yaygın olarak kullanılmaktadır. Titanyum alaşımları; yüksek dayanım/ağırlık oranı, yüksek ergime sıcaklığı, düşük yoğunluğu, yüksek özgül dayanımı, mükemmel korozyon direnci, iyi kaynak edilebilirliği ile birçok endüstri alanında kullanılan önemli bir malzeme ailesi olmuştur [7]. Bu olumlu özellikleri yanında malzemenin zayıf ısıl iletkenliği ve yüksek sıcaklıklardaki dayanımı malzemenin talaşlı imalat ile şekillendirilmesini zorlaştırmaktadır [8, 9]. Endüstride en çok kullanılan titanyum alaşımlarının başında Ti6Al4V malzemesi gelmektedir. Gerek malzemenin zor şekillendirilmesi gerekse delme operasyonunun karmaşık yapısı bu malzeme ile yapılan delme çalışmalarına önem kazandırmıştır.

Farklı kesme koşulları kullanılarak (38; 41,8 ve 45,6 m/dak kesme hızları) Ti6Al4V malzemenin delinmesine yönelik yapılan çalışmada itme kuvvetleri, tork ve takım aşınması değerleri incelenmiştir. Çalışma geleneksel soğutma yöntemi eşliğinde kaplamalı karbür matkaplar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Artan kesme uzunluğu ile itme kuvvetlerinin arttığı ifade edilmiştir. Yüksek kesme hızlarında artan takım aşınması ile itme kuvvetlerinin arttığı belirtilmiştir [7]. Ti6Al4V malzemenin delinmesi işlemi sırasında farklı özelliklere sahip matkaplar (kaplamasız, TiAlN/TiN kaplamalı, kriyojenik işlem uygulanmış, kriyojenik işlem ve temperleme uygulanmış) ve değişen kesme parametreleri (kesme hızları: 6, 8, 10 ve 12 m/dak, ilerleme oranları: 0,04; 0,05 ve 0,06 mm/dev) ile deneyler yapılmıştır. Islak ve kuru şartlar altında yapılan çalışmada soğutma işleminin ve kaplamalı matkap kullanımının delik kalitesini artırdığı bildirilmiştir [8]. Delme yöntemi değiştirilerek yapılan bir diğer çalışmada takım aşınması incelenmiştir. Üç farklı delme yönteminin test edildiği çalışmada AlCrN kaplamalı karbür matkaplar kullanılmıştır. Çalışma sonucunda bir mm dalma ve ardından tam çıkma yöntemi ile yapılan delme işleminden yüksek verim alındığı ifade edilmiştir [10]. Benzer bir başka çalışmada doğrudan delme ve gagalama ile delme yöntemleri kıyaslanmıştır. Farklı kesme hızlarının (50, 60 ve 70 m/dak) da kullanıldığı çalışmada kaplamasız karbür matkaplar kullanılmıştır. Tüm çalışma koşullarında gagalamalı delme işleminin daha uzun takım ömrü sağladığı belirtilmiştir [11]. Kaplamalı matkapların delme işleminde performans etkilerinin araştırıldığı bir başka çalışmada kaplamasız ve TiAlN kaplı karbür matkaplar kullanılmıştır. Dört farklı kesme hızı (25, 35, 45 ve 55 m/dak) ile gerçekleştirilen deneyler sonucunda kaplamalı takımların delme operasyonunda daha iyi performans gösterdiği bildirilmiştir [12]. Farklı delme derinlikleri ve kesme hızlarının operasyon çıktılarına (itme kuvveti, kesme momenti ve sıcaklık oluşumu) etkileri araştırılmıştır. Artan delme derinliği ile itme kuvvetlerinin, moment ve sıcaklık değerlerinin arttığı çalışma sonucunda gözlemlenmiştir [13].

Bu çalışmada birçok farklı endüstri alanında yoğun bir şekilde kullanılan Ti6Al4V malzemenin delinmesine yönelik bir dizi araştırma yapılmıştır. Farklı kesme parametreleri kullanılarak yapılan bu deneysel çalışmada itme kuvvetlerinin, kesme momentinin ve sıcaklık oluşumunun değişimi incelenmiştir. Çalışmalar sonucunda elde edilen verilerin grafikleri çizilerek değişkenlerin çıktı parametreleri üzerindeki etkileri yorumlanmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

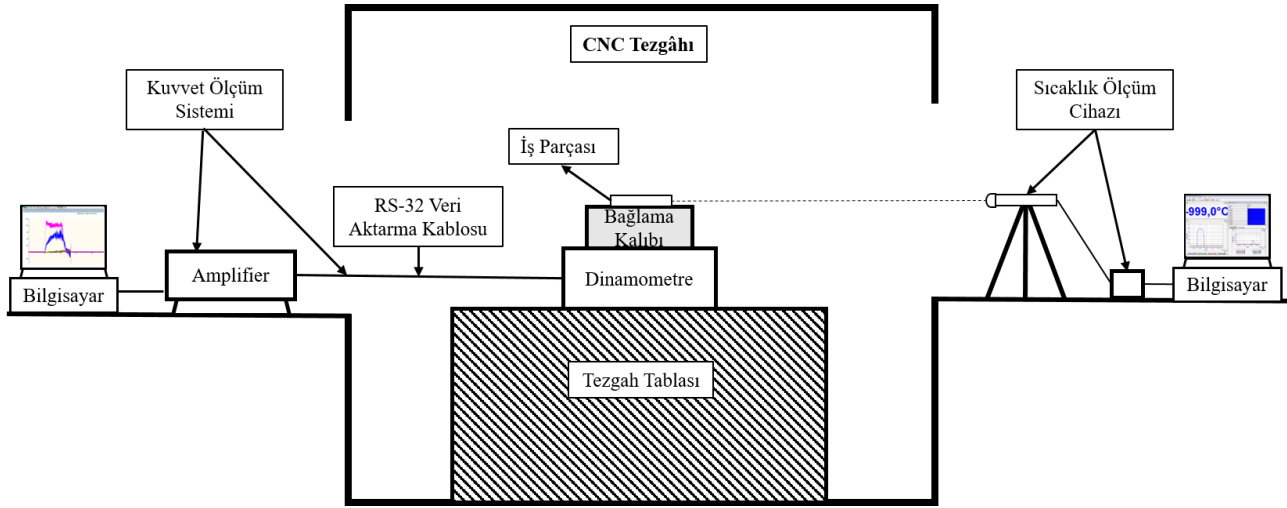
2.1. Deney Düzenegi (Experimental Setup)

Gerçekleştirilen deneysel çalışmalar kapsamında Ti6Al4V malzemenin delinmesi işlemi Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümü bünyesinde bulunan çok eksenli Haas

VF 22 CNC tezgâhında gerçekleştirilmiştir. Tezgâhın maksimum gücü 22.4 KW, en yüksek devri ise 12000 rpm dir.

Kesme kuvvetleri ve moment değerlerinin belirlenmesinde Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında bulunan, üç kesme kuvveti bileşenini (Fx, Fy, Fz) ve momenti (Mz) aynı anda ölçme kapasitesine sahip, KISTLER 9272 A tipi 4 bileşenli piezo-elektrik dinamometre kullanılmıştır. Dinamometreden elde edilen sinyallerin veriye dönüştürülmesinde KISTLER 5070-A çok kanallı Amplifierdan yararlanılmıştır. Verilerin işlenmesi KISTLER Dynoware 2825A-02-01 yazılımı ile gerçekleştirilmiştir.

Kesme sırasında oluşan sıcaklık değerlerinin ölçümü için lazer opsiyonlu Raytek MI3 cihazı kullanılmıştır. Sıcaklık ölçümü sırasında iş parçası yüzey pürüzlülüğü ve malzeme özelliklerine göre emissivity değeri 0,4 olarak alınmıştır [14]. Sıcaklık ölçümleri iş parçası yüzeyinden gerçekleştirilmiştir. Delik duvarı ve iş parçası yüzeyi arasında 2 mm'lik bir mesafe bırakılmıştır. Literatürde benzer ölçüm tekniğinin kullanıldığı görülmüştür [15]. Tüm deneyler için aynı ölçüm koşulları kullanılmıştır. Mesafeli ölçümlerde termal kameraya göre daha etkili olan bu cihaz ile yapılan ölçümler sonucunda sıcaklık grafikleri oluşturulmuştur. Deneysel çalışmaya ait deney düzeneği Şekil 1'de şematize edilmiştir.



Şekil 1. Deney düzeneği (Experimental Setup)

2.2. İşparçası ve Takım Özellikleri (Workpiece and Tool Properties)

Deneyler sırasında 6 mm çapında, TiN kaplı Sumitomo marka sementit karbür matkaplar kullanılmıştır. İş parçası Ti6Al4V numunelerinin boyutları 80x100 mm kalınlığı ise 15 mm olarak belirlenmiştir. Delme operasyonu kuru şartlar altında numunenin tam boyunda gerçekleştirilmiştir. İş parçası boyutları bağlama kalıbı özellikleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Bağlama kalıbı iş parçasının dinamometreye bağlanmasını ve cihazın güvenli bir şekilde çalışmasını sağlamaktadır [16]. İş parçasına ait kimyasal bileşim Tablo 1.'de verilmiştir. Kesme parametrelerinin belirlenmesinde literatür çalışmalarından ve katalog değerlerinden yararlanılmıştır [7,10,11,12]. Çalışma kapsamında iki farklı kesme hızı (42 ve 61 m/min) ve dört farklı ilerleme oranı (0,05; 0,073; 0,1 ve 0,15 mm/rev) kullanılmıştır. Kesme parametreleri ile oluşturulan deney düzeneği Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 1. Ti6Al4V kimyasal bileşimi (Chemical composition of Ti6Al4V)

Kimyasal Bileşim (%)							
Al	V	Fe	O	N	H	C	Ti
6.00	4.00	0.09	0.14	0.01	0.002	0.01	Denge Miktarı

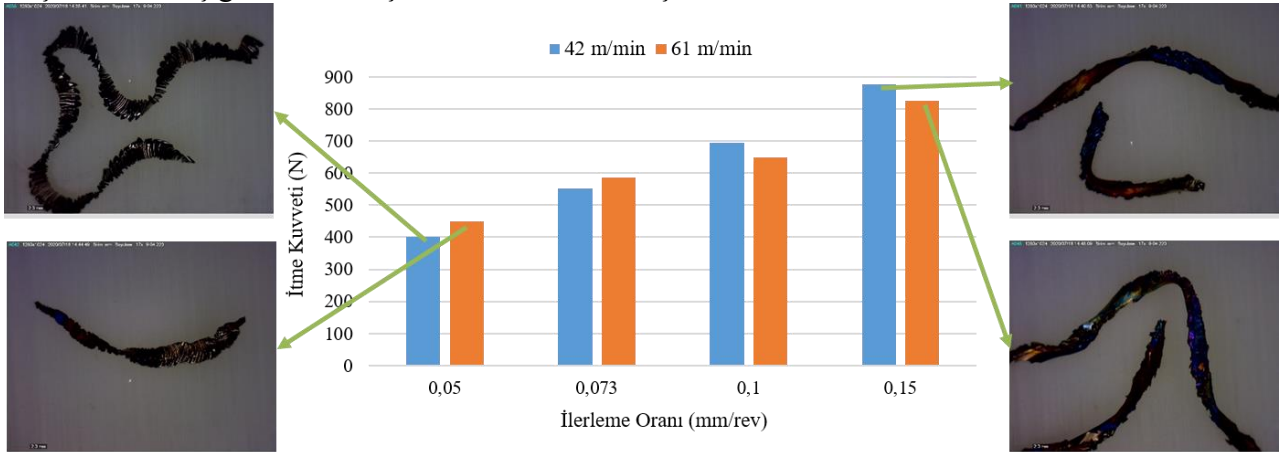
Tablo 2. Deney parametreleri (Experimental parameters)

Deney No	Kesme Hızı (m/min)	İlerleme Oranı (mm/rev)
1	42	0,050
2	42	0,073
3	42	0,100
4	42	0,150
5	61	0,050
6	61	0,073
7	61	0,100
8	61	0,150

3. DENEY VE OPTİMİZASYON SONUÇLARI (EXPERIMENT AND OPTIMIZATION RESULTS)

3.1. İtme Kuvvetlerinin Değerlendirilmesi (Evaluation of Thrust Forces)

Kesme sırasında oluşan kuvvetler malzemenin işlenebilirliği hakkında önemli bilgiler verirken [5], operasyon esnasında oluşan kuvvet değerleri de harcanan güç hakkında ipuçları vermektedir [17]. Prensip olarak talaşlı imalat işlemlerinde düşük kesme kuvvetleri işleminin daha rahat yapıldığının göstergesidir ve bu durum genellikle arzulanmaktadır. Bu deneysel çalışma kapsamında farklı kesme parametreleri kullanılarak yapılan deneysel çalışmalar sonucunda ölçülen itme kuvvetleri Şekil 2’de sunulmuştur. Kuvvetlerdeki değişimleri doğru bir şekilde analiz edebilmek için deney esnasında oluşan bazı talaş görselleri de şekil üzerine eklenmiştir.



Şekil 2. İtme kuvvetinin kesme parametrelerine göre değişimi (Variation of thrust force according to cutting parameters)

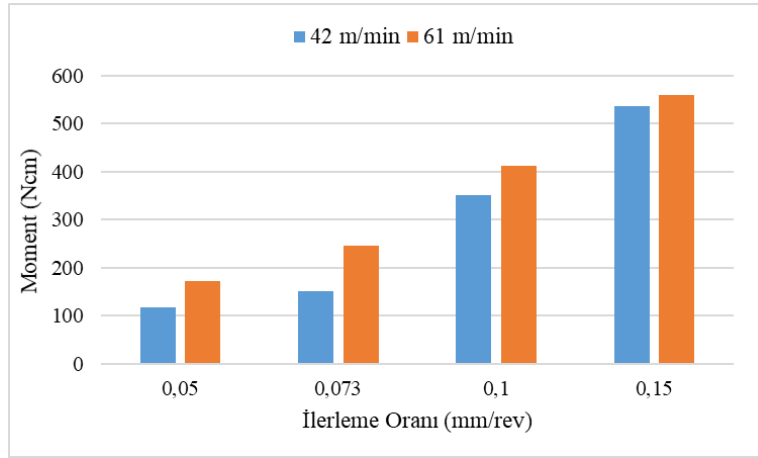
Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde her iki kesme hızı içinde artan ilerleme oranı ile itme kuvvetlerinin arttığı görülmüştür. Artan ilerleme oranıyla birim zamanda kaldırılan talaş kesiti de artmaktadır. Bu durum delme esnasında ilerleme kuvvetlerinin artmasına neden olmaktadır [5, 18]. Kesme hızının 42 m/min olduğu deneylerde ilerleme oranının üç kat artması ile itme kuvvetleri %118’lik bir artış göstermiştir. Benzer şekilde kesme hızının 61 m/min olduğu durumda ise artan ilerleme oranı ile itme kuvvetlerinde %83’lük bir artış gerçekleşmiştir. Yapılan deneyler sonucunda düşük ilerleme oranları (0,05 ve 0,073 mm/rev) kullanılarak gerçekleştirilen testlerde 61 m/min kesme hızında daha yüksek itme kuvvetleri ölçülmüştür. Artan ilerleme oranları (0,1 ve 0,15 mm/rev) ile bu sefer 42 m/min kesme hızında daha yüksek itme kuvvetleri gözlemlenmiştir.

Delme işleminde talaş oluşumu ve tahliyesi büyük önem taşımaktadır. Talaşın helis kanallarından tahliyesi operasyon çıktılarını önemli ölçüde etkilemektedir. Kesme hızlarına göre itme kuvvetlerinin değişmesiyle değişen talaş yapısının büyük rolü olduğu düşünülmektedir. Deneylerde 42 m/min kesme hızı ve düşük ilerleme oranları (0,05 ve 0,073 mm/rev) eşliğinde yapılan deneylerde talaşın helis kanalları üzerinden başarılı bir şekilde tahliye edildiği görülmüştür. Aynı ilerleme oranları kullanılarak 61 m/min kesme hızı ile yapılan deneylerde ise talaş; helis kanalları içerisine yığılarak talaş tahliye kanallarını doldurmuştur. Bu durum düşük ilerleme oranlarında 61 m/min kesme hızında

daha yüksek kuvvetlerin oluşmasına neden olmuştur. Artan ilerleme oranları ile her iki kesme hızıyla da yapılan deneylerde talaşın helis kanallarına yığıldığı gözlemlenmiştir. Bu koşullar altında yüksek kesme hızı ile yapılan deneyler de daha yüksek kesme bölgesi sıcaklıklarına çıkmıştır. Bu yüksek sıcaklık değerlerinin etkisiyle iş parçasının akma dayanımı düşer ve bu durum da talaş kaldırmayı kolaylaştırır. Bu nedenle yüksek ilerleme oranları (0,1 ve 0,15 mm/rev) ile yapılan deneylerde 61 m/min kesme hızının daha düşük itme kuvvetleri oluşturduğu düşünülmektedir. Kesici takım ve talaş üzerinde gözlenen renk değişimleri operasyon sırasında ulaşılan yüksek sıcaklıkların sonucu olarak karşımıza çıkmıştır. Kuvvet oluşumunu önemli ölçüde etkilediği düşünülen talaş yapısı Şekil 2 üzerinde sergilenerek yapılan yorumların daha iyi anlaşılması amaçlanmıştır.

3.2. Kesme Momentlerinin Değerlendirilmesi (Evaluation of Cutting Moment)

İtme kuvvetinde olduğu gibi kesme momentleri de operasyon sırasında tüketilen güç hakkında fikir vermektedir. Deneyler sonucunda oluşan kesme momentleri Şekil 3’ de sunulan grafik ile ifade edilmiştir.



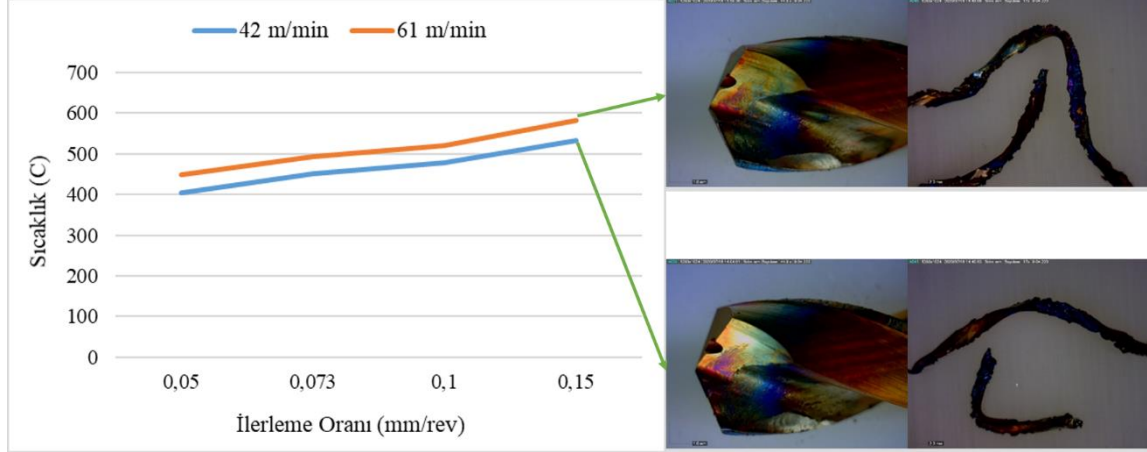
Şekil 3. Kesme momentinin kesme parametrelerine göre değişimi (Variation of cutting moment according to cutting parameters)

Artan ilerleme oranlarının kesme momentlerinin artmasına yol açtığı Şekil 3’de görülmektedir. İlerleme oranı ve itme kuvvetleri ilişkisinde olduğu gibi kesme momentlerindeki artış da talaş kesitinin artması ile ilişkilendirilmektedir [19]. Yapılan deneylerde 42 m/min lik kesme hızında 0,05 mm/rev ilerleme oranında 118 Ncm kesme momenti ölçülmüştür, ilerlemenin 0,15 mm/rev’e çıkması ile kesme momenti de 536 Ncm değerine kadar yükselmiştir. Böylece 42 m/min kesme hızında artan ilerleme oranı ile kesme momentlerinde %357’ lere varan bir yükseliş olduğu görülmüştür. 61 m/min kesme hızında ise en düşük ilerleme oranında 173,3 Ncm değerinde kesme momenti ölçülmüştür. En yüksek ilerleme oranını ile yapılan deneylerde ise kesme momenti 560 Ncm olarak belirlenmiştir. 61 m/min kesme hızı ile yapılan deneylerde ilerleme oranındaki artışa bağlı olarak kesme momenti değerleri %224 oranında artmıştır.

Farklı ilerleme oranları ile yapılan tüm deneylerde 61 m/min lik kesme hızında daha yüksek kesme momentleri ölçülmüştür. Artan kesme hızı değerleri kesme momentlerinde artışa neden olmuştur [5, 20]. Yüksek kesme hızlarında oluşan takım aşınması ve talaşın helis kanallarına yığılmasının kesme momentlerinin artmasına zemin hazırladığı düşünülmektedir. Düşük ilerleme oranlarıyla yapılan deneylerde iki kesme hızı (42 m/min ve 61 m/min) arasındaki kesme momenti farkı yüksektir. Bu fark 0,05 mm/rev ilerleme oranında 55,3 Ncm, 0,073 mm/rev ilerleme oranında ise 94,2 Ncm değerine kadar çıkmıştır. 61 m/min kesme hızı ile yapılan tüm deneylerde görülen ancak 42 m/min kesme hızı ve düşük ilerleme koşulları ile yapılan deneylerde görülmeyen talaş yığılmasının bu yüksek farklara neden olduğu düşünülmektedir. Artan ilerleme oranları ile her iki kesme hızında da talaşın helis kanallarına yığılması ile moment değerleri arasındaki fark azalmış ve bu değer 0,15 mm/rev ilerleme oranında 24 Ncm değerine kadar gerilemiştir.

3.3. Sıcaklıkların Değerlendirilmesi (Evaluation of Temperature)

Kesme işlemi sırasında açığa çıkan ısı takım performansını ve iş parçası performansını önemli ölçüde etkiler. Yüksek sıcaklıklar takım ömrünün azalmasında büyük rol oynar. İşleme esnasında oluşan ısının büyük bölümü talaş aracılığı ile kesme bölgesinden uzaklaştırılır [17]. Talaşın helis kanalları üzerinden taşındığı delme operasyonlarında oluşan ısı daha büyük önem taşımaktadır. Ayrıca iş parçası Ti6Al4V malzemenin termal özellikleri sıcaklığın operasyona etkisini önemli ölçüde artırmıştır. Çalışma kapsamında ölçülen sıcaklık değerleri Şekil 4’de sunulmuştur. Artan sıcaklık değerlerinin etkisi ile takım ve talaş üzerinde oluşan renk değişimlerinin görülmesi için 0,15 mm/rev ilerleme oranı ile yapılan deneylere ait takım ve talaş görselleri şekilde verilmiştir.



Şekil 4. Sıcaklığın kesme parametrelerine göre değişimi (Variation of temperature according to cutting parameters)

Sıcaklık değerlerinin artan ilerleme oranı ile birlikte yükseldiği görülmektedir. Kesme işlemi sırasında artan ilerleme oranı birim zamanda kaldırılan talaş miktarını artırdığı için açığa çıkan ısı miktarı da artmaktadır [21]. Bu durum artan ilerleme ile sıcaklık değerlerinin artmasına neden olmaktadır. Çalışma kapsamında en düşük sıcaklık değeri 42 m/min kesme hızı ve 0,05 mm/rev ilerleme oranı eşliğinde yapılan deneylerde 404,8 °C olarak ölçülmüştür. Aynı ilerleme oranında kesme hızı 61 m/min'e çıkarıldığında ise sıcaklık değeri 448,7 °C olarak belirlenmiştir. En yüksek sıcaklık değeri ise en yüksek kesme hızı ve ilerleme oranı eşliğinde yapılan deneylerde 583,4 °C olarak ölçülmüştür. Her iki kesme hızında da artan ilerleme oranı sıcaklık değerlerini yaklaşık %30 artırmıştır.

Kesme işlemi sırasında oluşan ısı üzerinde kesme hızları önemli bir etkiye sahiptir [17]. Yapılan çalışmada 61 m/min kesme hızı ile yapılan tüm deneylerde daha yüksek sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Artan kesme hızları kesme sıcaklıklarının artmasına neden olmuştur [20]. Kesme hızının 42 m/min dan 61 m/min'e çıkması ile sıcaklık değerlerinde %8 ile %11 oranları arasında bir artış yaşanmıştır.

Şekil 4' de görüldüğü gibi yüksek ilerleme oranları ve kesme hızlarının kullanıldığı deneylerde açığa çıkan yüksek sıcaklıklar hem kesici takım hem de talaş üzerinde renk değişimlerine neden olmuştur. Kesme işlemi sırasında oluşan yüksek sıcaklıklara bağlı olarak kesici takım ucunda ve talaş üzerinde meneviş mavisi renklerin oluştuğu görülmüştür. Bu renk değişimleri de kesme sırasında çok yüksek sıcaklık değerlerine ulaşıldığını ortaya koymuştur.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada Ti6Al4V malzemenin karbür matkaplar ile delinmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Araştırma kapsamında itme kuvvetleri, kesme momentleri ve sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Ölçme sonuçları grafikler yardımıyla yorumlanmıştır. Yapılan deneysel çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar bu bölümde özetlenmiştir.

- Delme operasyonlarında talaş oluşumu ve talaş tahliyesi çıktı değerleri üzerinde önemli etkiye sahiptir. Yüksek kesme hızları ve ilerleme oranları ile yapılan deneylerde talaşın helis kanallarına yığılması bu kanalları doldurduğu ve tahliyeyi zorlaştırdığı görülmüştür.

- İlerleme oranlarının artmasıyla itme kuvvetleri, 42 m/min ve 61 m/min kesme hızlarında sırasıyla %118 ve %83 artmıştır.
- Artan kesme hızının itme kuvvetleri üzerindeki etkisi talaş tahliyesine göre değişkenlik göstermiştir.
- Artan ilerleme oranları ve kesme hızları moment değerlerinin %357' lere varan oranlarda artmasına neden olmuştur.
- Talaş yapısının momentler üzerinde de itme kuvvetlerine benzer etkileri belirlenmiştir.
- Sıcaklık değerleri de artan kesme hızı ile %8 ile %11 arasında yükselmiştir.
- Artan ilerleme oranları sıcaklık oluşumunu her iki kesme hızında da %30 oranında artırmıştır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Bu çalışma Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir (Proje no: 07/2019-32).

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. MP. Groover, Principles of modern manufacturing,. 4th ed, J. Wiley & Sons, United States of America, 2011.
2. B.Yılmaz, A. Güllü, AISI 1050 çeliğin tornalanmasında kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve talaş oluşumu üzerine etkilerinin araştırılması, Pamukkale Univ J Eng Sci, 26(4): 628–633, 2020.
3. H.Yaka, H. Akkuş, L. Uğur, AISI 1040 Çeliğinin Tornalamasında Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Taguchi Metodu İle Optimizasyonu, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilim Derg, 12: 283–288, 2016.
4. G. Meral, M.Sarıkaya, H.Dilipak, Delik Delme Uygulamalarında Delik Kalitesinin Taguchi Yöntemi İle Optimizasyonu, Mühendis ve Makine, 52(619): 42–49, 2011.
5. Ş. Bayraktar, Y. Sıyambaş, Y. Turgut, Delik delme prosesi: bir araştırma, SAÜ Fen Bilim Enstitüsü Derg, 21: 124–124, 2017.
6. A. Çakır, AA 7075 ve AA 2024 Alüminyum Malzemelerine Delik Delinmesinde Soğutma Yöntemlerinin İşleme Performansına Etkilerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2015.
7. G. Uzun, S.A. Yaşar, İ. Korkut, Ti-6Al-4V Alaşımının Delinmesinde Kesme Parametrelerinin Kesme Kuvvetlerine ve Delik Kalitesine Etkisinin İncelenmesi, Karaelmas Fen ve Mühendislik Derg, 7(2): 469–475, 2017.
8. T. Kıvak, U. Şeker, Ti-6Al-4V Alaşımının Delinmesinde M42 HSS Takımlara Uygulanan Kriyojenik İşlemin Delik Kalitesi Üzerindeki Etkileri, 7th International Symposium On Machining, 3-5 November 2016, İstanbul.
9. Y. H. Çelik, E. Kılıçkap, Titanyum Alaşımlarından Ti-6Al-4V'nın İşlenmesinde Karşılaşılan Zorluklar: Derleme, Gazi Üniversitesi Fen Bilim Derg Part C: Tasarım ve Teknol, 6(1): 163–175, 2018.
- 10.İ. Çiftçi, H. Gökçe, Ti6Al4V Titanyum Alaşımının Delinmesinde Delme Yönteminin Aşınmaya Etkisinin İncelenmesi, J Polytech, 22(3): 627–631, 2019.
- 11.F.R. Wong, S. Sharif, K. Kamdani, E. A. Rahim, The effect of drill point geometry and drilling technique on tool life when drilling titanium alloy, Ti-6Al-4V, Proc Int Conf Mech Manuf Eng (ICME2008), 21– 23 May 2008, Johor Bahru
- 12.S. Sharif, E. A. Rahim, Performance of coated- and uncoated-carbide tools when drilling titanium alloy-Ti-6Al4V, J Mater Process Technol, 185: 72–76, 2007.
- 13.R. Li, A. J. Shih, Tool temperature in titanium drilling, J Manuf Sci Eng Trans ASME, 129(4): 740–749, 2007.
- 14.L. Li, K. Yu, K. Zhang, Y. Liu, Study of Ti-6Al-4V alloy spectral emissivity characteristics during thermal oxidation process, International Journal of Heat and Mass Transfer, 101: 699-706, 2016.
- 15.A. Díaz-Álvarez, J.A. de-la-Cruz-Hernández, J. Díaz-Álvarez, J.L. Cantero- Guisández, Estimation of Thermal Effects in Dry Drilling of Ti6Al4V, Procedia Eng, 132: 433-439, 2015.
- 16.G. Uzun, İ. Korkut, Delme ve Frezelemedeki Kesme Kuvvetlerinin Ölçülmesi İçin Deney Seti Tasarımı ve İmalatı, 6th International Advanced Technologies Symposium, 16-18 May 2011, Elazığ.
- 17.M. C. Çakır, Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri. 2. baskı, Dora Yayıncılık, Bursa, 2010.

- 18.A. Ítalo Sette Antonialli, A. Eduardo Diniz, R. Pederiva, Vibration analysis of cutting force in titanium alloy milling, *Int J Mach Tools Manuf* 50: 65–74, 2010.
- 19.L-P. Wang, L-J. Wang, Y-H. He, Z-J. Yang, Prediction and computer simulation of dynamic thrust and torque in vibration drilling, *Proc Inst Mech Eng Part B J Eng Manuf*, 212(6): 489–497, 1998.
- 20.G. Le Coz, M. Marinescu, A. Devillez, D. Dudzinski, L. Velnom, Measuring temperature of rotating cutting tools: Application to MQL drilling and dry milling of aerospace alloys, *Appl Therm Eng*, 36: 434 – 441, 2012.
- 21.B. Yılmaz, Ş. Karabulut, A. Güllü, Performance analysis of new external chip breaker for efficient machining of Inconel 718 and optimization of the cutting parameters. *J Manuf Process*, 32: 553–563, 2018.