

Araştırma Makalesi / Research Article

Mikro Tornalama İşleminde Kesici Takım Burun Yarıçapının Kesme Kuvvetlerine Etkisi

Ahmet HASÇELİK<sup>1\*</sup>, Kubilay ASLANTAŞ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Afyon Kocatepe Üniversitesi, İncehisar Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye,  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4615-0640>, ahascelik@aku.edu.tr

<sup>2</sup> Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye,  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4558-4516>, kaslantas@aku.edu.tr

Geliş/ Recieved: 13.12.2020;

Kabul / Accepted: 24.01.2021

**ÖZET:** Mikro tornalama işlemi, talaş kaldırma prensibi olarak geleneksel tornalama işleminin mikro seviyede boyutlandırılmış halidir. Talaş kaldırma mekanizmasındaki boyut etkisinden dolayı kesme kuvvetlerinin birbirleri arasındaki oran değişmekte, titreşim oluşmakta ve minimum talaş kalınlığına bağlı negatif talaş açısı gözlenmektedir. Bu boyut etkisinde takım geometrisindeki kesici takım kenar ve burun yarıçapının payı oldukça fazladır. Deneysel çalışmalarla burun yarıçapı etkisini incelemek oldukça zaman alıcı ve maliyetlidir. Bu sebeple, deneysel çalışmalarla malzeme modeli doğrulandıktan sonra, mikro tornalama işlemi nümerik olarak modellenerek, ilave bir deneysel çalışmaya gerek duyulmadan imalat işlemi hakkında bilgi sahibi olunmaktadır. Bu çalışmada DEFORM-3D yazılımı kullanılarak takım geometrisindeki burun yarıçapı farklılığı modellenmiş ve burun yarıçapının kesme işlemine etkisi tespit edilmiştir. Modellemede Johnson-Cook malzeme modeli kullanılmış, kullanılan malzeme modeli, iki farklı takımla yapılan deneysel çalışmalarla kesme kuvvetleri açısından %2 ila %9 hata payı ile doğrulanmıştır. İş parçası malzemesi olarak ise biyomedikal uygulamalarında ve havacılık sektöründe sıklıkla tercih edilen Ti6Al4V alaşımı kullanılmıştır. Ayrıca kesici takım geometrisinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi de incelenmiştir. Çalışma sonunda boyut etkisinden kaynaklanan etkilerden dolayı burun yarıçapının kesme derinliğine göre çok büyük değerler alması hem yüzey pürüzlülüğünün hem de kesme kuvvetlerinin azalmasına neden olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Mikro Tornalama, Ti6Al4V, Kesme Kuvvetleri, Burun Yarıçapı, Yüzey Pürüzlülüğü, Sonlu Elemanlar Metodu

\*Sorumlu yazar / Corresponding author: ahascelik@aku.edu.tr

Bu makaleye atıf yapmak için / To cite this article

Hasçelik, A., Aslantaş, K. (2021). Mikro Tornalama İşleminde Kesici Takım Burun Yarıçapının Kesme Kuvvetlerine Etkisi. Journal of Materials and Mechatronics: A (JournalMM), 2(1), 13-25.

## The Effect of Cutting Tool Nose Radius on Cutting Forces in Micro Turning Process

**ABSTRACT:** Micro turning process is micro-scaled version of traditional turning process as chip removal principle. Due to the size effect in the chip removal mechanism, the ratio of cutting forces to each other changes, vibration occurs and negative chip angle is observed depending on the minimum chip thickness. In this size effect, the share of cutting tool edge and nose radius in tool geometry is quite high. Examining the nose radius effect with experimental studies is quite time consuming and costly. For this reason, micro turning process is modelled numerically, and knowledge about the manufacturing process is obtained without the need for an experimental study. In this study, using the DEFORM-3D software, the nose radius difference in the tool geometry was modelled and the effect of the nose radius on the cutting process was determined. Johnson-Cook material model was used in modeling, and the material model used was verified by comparing it in terms of cutting forces with experimental studies conducted with two different sets. Ti6Al4V alloy, which is frequently preferred in biomedical applications and aviation industry, is used as workpiece material. In addition, the effect of the cutting tool geometry on the surface roughness was also examined. At the end of the study, it was determined that due to the effects caused by the size effect, the nose radius took very large values according to the depth of cut, causing a decrease in both surface roughness and cutting forces.

**Keywords:** Micro Turning, Ti6Al4V, Cutting Forces, Nose Radius, Surface Roughness, Finite Element Method

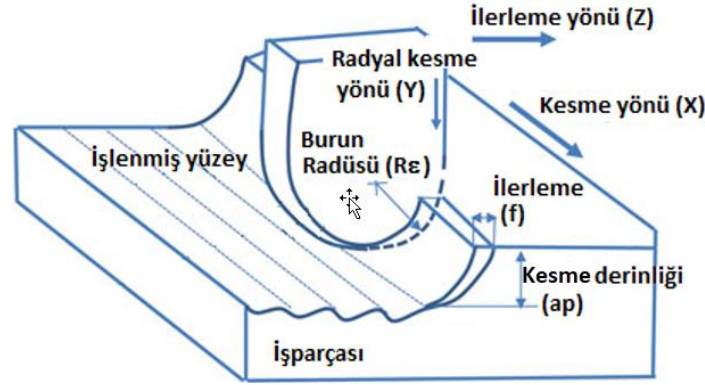
### 1. GİRİŞ

Titanyum, vücut dokusuna karşı ahengi ile alerjik reaksiyonlara yol açmaması sebebiyle biyo uyumlu bir materyal olmasının yanında yüksek ısı ve hızda çalışan titreşimli parçalar için vazgeçilmez bir metaldir. Titanyum, düşük yoğunluk, ısıl iletkenlik ve elastisite modülü, yüksek korozyon direnci, çatlak yayılımına karşı direnç gibi özellikleriyle sıklıkla tercih edilir. Genelde titanyum alaşımlarının çalışma sıcaklığı yaklaşık 550°C ile 700°C arasındadır (Chunxiang ve ark., 2011). Titanyum alaşımı (Ti6Al4V), havacılık sanayi ve biyomedikal uygulamalarda kullanılan eksenel simetrik minyatür parçaları üretmek için yaygın olarak tercih edilen bir alaşımdır (Jagadesh ve Samuel, 2015).

Kendi eksenini etrafında dönmekte olan iş parçası üzerinden, eksenini doğrultusunda hareket eden bir kesici takım yardımıyla mikro boyutlarda talaş kaldırma süreci olarak tanımlanan mikro tornalama işlemi ile, mikro silindirik parçaların üretiminde kaynak kullanımı ve zaman açısından yüksek verimlilik elde etmek mümkündür. Kısaca konvansiyonel tornalama işleminin mikro boyutlara ölçeklendirilmiş hali olarak tanımlanan mikro tornalama işleminde, bu ölçeklendirmeden kaynaklı fiziksel değişimler, talaş kaldırma mekanizmasında farklı etkilere sebep olmaktadır. Boyut etkisi olarak tanımlanan bu farklılıklardan dolayı mikro tornalama işlemini analiz etmek daha zor ve karmaşık bir hal almaktadır (Ucun, 2013). Genel olarak talaş kaldırma prensibi aynı olsa da boyut küçüldükçe kesme kuvvetlerinin birbirleri arasındaki oran değişmekte, özellikle mikro boyutlara inildiğinde ilerleme kuvvetinin esas kesme kuvvetine ( $F_f/F_c$ ) oranı artmaktadır. Geleneksel tornalama işleminde kullanılan kesici takımların burun yarıçapları 0.2 ile 1.6 mm arasında değişmekte iken, mikro tornalama işleminde burun yarıçapı 0.2 mm'den daha küçük kesici takımlar kullanılır. Bu nedenle, kesme kuvvetlerinin yüksek olması, boyut etkisinden dolayı oluşan titreşimler ve minimum talaş kalınlığına bağlı negatif talaş açısı gibi farklı etkiler ortaya çıkmaktadır. Özellikle burun yarıçapına bağlı olarak kesme derinliği ve kenar yarıçapına bağlı olarak ilerleme hızının seçimi hem

kesme kuvvetlerini hem de yüzey pürüzlülüğünü etkilemektedir (Aslantaş ve Şahan, 2017).

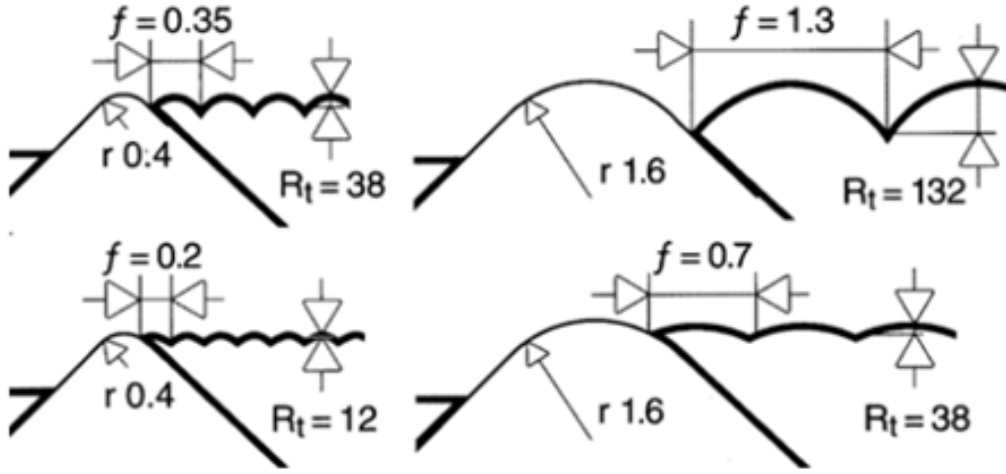
Mikro tornalama işlemindeki kesme derinliklerinin, burun yarıçapından dahi küçük olması, kesici ucun burun kısmı iş parçasına daha az temas etmesine sebep olmakta, bu da kesilmemiş talaş kalınlığını etkilemektedir. Kesici takım ve iş parçasının göreceli hareketine göre tanımlanan kartezyen koordinat sisteminde, kesme yönü x eksen, ilerleme yönü z eksen ve radyal yön y eksen kabul edilir. Şekil 1’de tipik bir mikro tornalama işlemi 3 boyutlu olarak gösterilmektedir.



Şekil 1. Mikro tornalama süreci gösterimi (Jagadesh ve Samuel, 2015)

Sonlu elemanlar metodu (SEM), mühendislik problemlerinin tasarım ve analizi için kullanılan oldukça yaygın bir yöntemdir. Sonlu elemanlar metodu ile çözüm yapan DEFORM yazılımı ile, iş parçası üzerinde yapılan deneyleri nümerik çözümleyerek analiz etmek mümkündür. Bu modelleme ile, deneysel yöntemlerle veri almanın çok zor olduğu durumlarda dahi, takım talaş ara yüzeyindeki sıcaklıklar, kesme kuvvetleri ve kesme bölgesindeki gerilmeler gibi birçok veri tespit edilebilir. Mikro kesme işleminin modellenmesinde ise malzeme modelinin seçimi oldukça önemlidir. Johnson-Cook (J-C) malzeme modeli, Ti6Al4V alaşımı için talaşlı imalat işleminde sıklıkla kullanılan bir malzeme modelidir (Ducobu ve ark., 2017). Calamaz ve arkadaşları (2008), Ti6Al4V alaşımının işlenmesini farklı bir malzeme modeli kullanarak 2 boyutta modellemiş, farklı ilerleme hızlarında talaş formunu ve kesme kuvvetlerini deneysel çalışmalarla kıyaslamışlardır (Calamaz ve ark., 2008). Özel ve Sima (2010) ise, Ti6Al4V alaşımının modellenmesinde sonlu elemanlar yöntemi kullanmışlardır. Testere formunda talaş oluşumu elde etmişler ve malzeme modelini buna göre modifiye etmişlerdir. Malzeme modelinin talaş formu ve kesme kuvvetlerine etkisini incelenmişlerdir (Özel ve Sima, 2010).

Yüzey pürüzlülüğü, mikro mekanik işlemede çok önemli bir çıktı parametresi olup, kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliğine göre değişmektedir. Genellikle, kesme derinliği ve ilerleme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğü artarken, kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğü azalmaktadır. Ayrıca kesici takım geometrisi ve kesici takım ile iş parçası arasındaki titreşim, yüzey pürüzlülüğünü doğrudan etkiler (Kirik, 2010). Bunun dışında kesici takım burun yarıçapı ve kesici takımın zamanla meydana gelen aşınmaların da yüzey pürüzlülüğünü etkilediği görülmüştür (Şekil 2) (Çakır, 1999). Literatürde, aşınmanın yüzey pürüzlülük değerini olumsuz etkilediği çalışmalar mevcutken, bazı çalışmalarda ise bunun aksine yüzey kalitesini artırdığı ifade edilmiştir (Fang ve ark., 2004; Schmidt ve Tritschler, 2004; Filiz ve ark., 2007; Li ve ark., 2008).



Şekil 2. Takım burun yarıçapı ve ilerlemenin yüzey pürüzlülüğüne etkisi (Çakır, 1999)

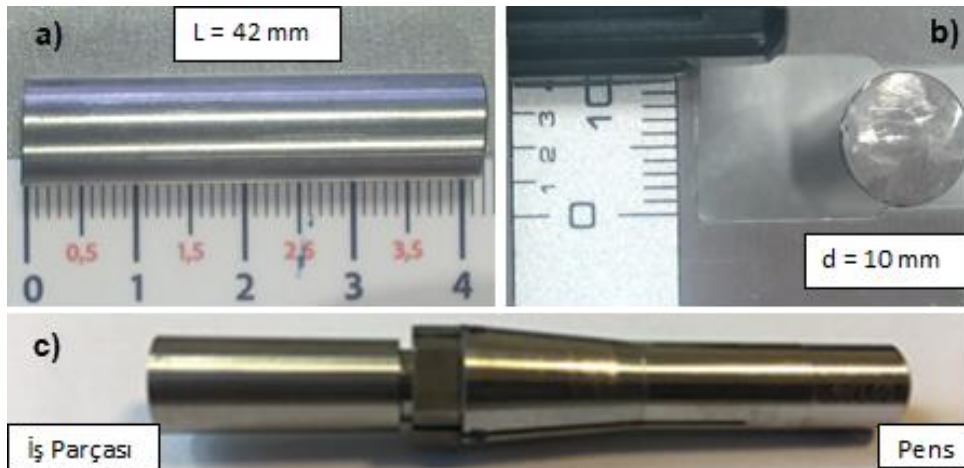
Bu çalışma sonucunda Ti6Al4V alaşımının mikro tornalanması nümerik olarak modellenerek herhangi bir deneysel çalışmaya gerek duymadan imalat işlemi hakkında bilgi sahibi olunması amaçlanmıştır. Burun yarıçapı etkisi modellenerek ise, burun yarıçapı farklılıklarının kesme kuvvetlerini ve yüzey pürüzlülüğünü nasıl etkilediğinin tespiti amaçlanmıştır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında mikro tornalama işleminde burun yarıçapının kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi araştırılmıştır. Farklı kesme parametreleri kullanılarak iki farklı burun ve kenar yarıçapı dikkate alınmıştır. Sonlu elemanlar çözümleri ve uygun malzeme modelinin doğrulanarak seçimi sonucunda, nümerik modelleme işlemleri gerçekleştirilmiştir. 3D modelleme yapılarak takım geometrisinin kesme işlemine ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelenmiştir.

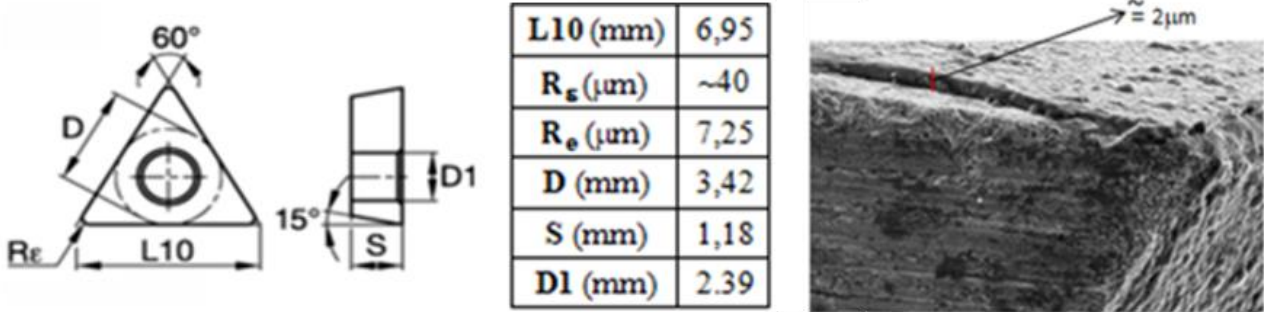
### 2.1 Kesici Takım ve İş Parçası

Çalışmada, havacılık ve dental uygulamalarda sıklıkla tercih edilen Ti6Al4V iş parçası kullanılmıştır. Kesme deneylerinde kullanılmak üzere iş parçasının boyu 42 mm ve çapı 10 mm olacak şekilde hazırlanmıştır. İş parçasını pense geçirebilmek için, yaklaşık 20 mm' lik kısmının çapı 6 mm olacak şekilde ayarlanmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Deneylerde kullanılan Ti6Al4V alaşımının a) boyu b) çapı c) pense bağlı hali

Kesme ve doğrulama deneylerinde kullanılan kesici takım (I. takım) malzemesi WC olup, üzerinde yaklaşık 2  $\mu\text{m}$  TiAlN kaplama mevcuttur. Takım tutucu, yanaşma açısı 90° olacak şekilde tasarlanmıştır. I. takımın talaş açısı sıfır ve boşluk açısı 15° olup, burun yarıçapı yaklaşık 40  $\mu\text{m}$ , kenar yarıçapı ise yaklaşık 7.25  $\mu\text{m}$  olarak ölçülmüştür (Şekil 4).

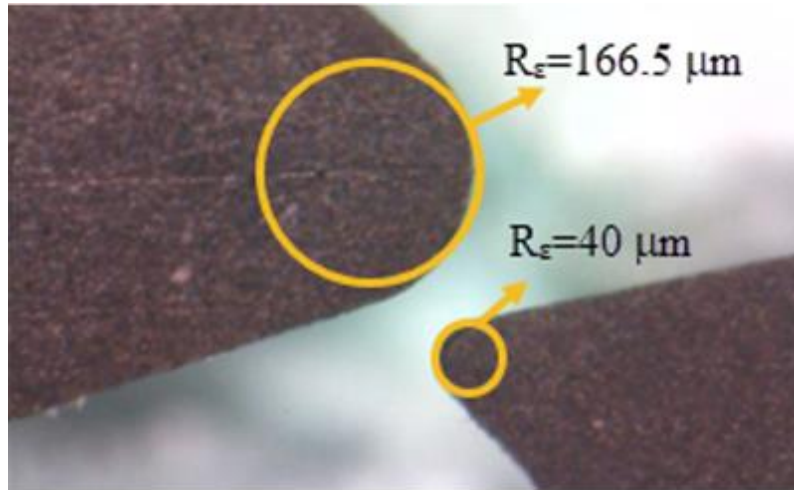


Şekil 4. Doğrulama deneylerinde kullanılan kesici takım (I. takım) üzerindeki ölçümler ve SEM görüntüsü

Kesme deneylerinde takım geometrisinin etkisini incelemek adına iki farklı kesici takım kullanılmıştır (Çizelge 1). Her iki kesici takımın kenar ve burun yarıçap değerleri haricinde diğer parametreleri, malzemesi ve kaplaması aynıdır. Bu takımlara ait mikroskop görüntülerinde burun yarıçapı farklılığı çok net anlaşılmaktadır (Şekil 5).

Çizelge 1. Kesme deneylerinde kullanılan iki farklı takımın geometrik özellikleri

	I.takım	II.Takım
<b>Kenar Yarıçapı</b>	R <sub>e</sub> =7.25 $\mu\text{m}$	R <sub>e</sub> =12 $\mu\text{m}$
<b>Burun Yarıçapı</b>	R <sub>ε</sub> =40 $\mu\text{m}$	R <sub>ε</sub> =166.5 $\mu\text{m}$



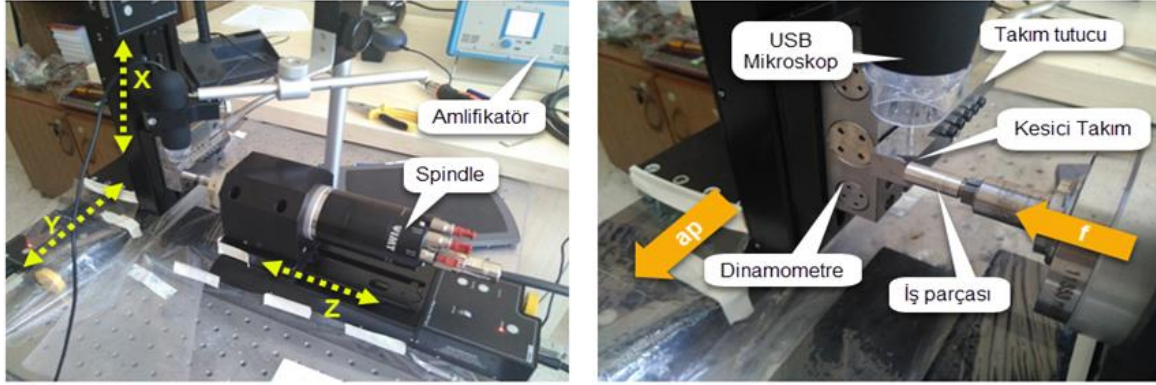
Şekil 5. İki farklı kesici takımın burun yarıçaplarının kıyaslanması

## 2.2 Deney Düzenegi

Çalışmada kesici takım geometrisinin kesme işlemine etkisini gözlemlemek adına üç farklı ilerleme hızında (10  $\mu\text{m}/\text{dev}$ , 20  $\mu\text{m}/\text{dev}$ , 40  $\mu\text{m}/\text{dev}$ ) kesme deneyleri gerçekleştirilmiştir.

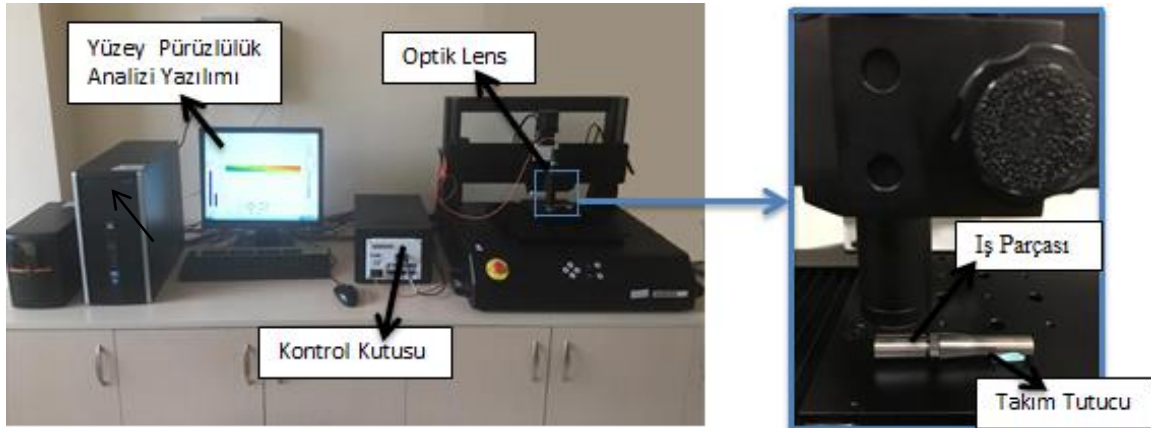
Çalışmada mikro tornalama deneyleri için özel olarak hazırlanmış bir deney düzenegi kullanılmıştır (Şekil 6). Deney düzeneginde, iş parçasını pens yardımıyla fener miline sabitlemek için kompresörden elde edilen basınçlı hava kullanılmıştır. Mikro step motorla desteklenen eksen

hareketleri ve Fener milinin devir ayarı, bilgisayar yardımıyla kontrol edilebilmektedir. Fener mili maksimum 60000 dev/dk 'ya kadar çıkabilmekteyken, eksen hareketlerinin hassasiyeti ise  $0.1 \mu\text{m}$ 'dir. Fener mili Z eksenini boyunca hareket ederken, kesme derinliği Y eksenini vasıtasıyla verilmektedir. Kesme kuvvetleri verilerini elde etmek amacıyla kullanılan mini dinamometre ise, X eksenini ifade eden kızak üzerine sabitlenmiştir. Kesici takım ise mini dinamometre üzerine yanaşma açısı  $90^\circ$  olacak şekilde mesnetlenmiştir. Kesme bölgesini gözlemek için ise bir USB mikroskop kullanılmıştır.



Şekil 6. Mikro tornalama deney düzeneğinin genel görünümü

Mikro tornalama işleminde, takım geometrisinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi gözlemlenmiştir. Kesme deneyleri sonrasında, Nanovea optik profilometre cihazı kullanılarak üç farklı ilerleme hızında ( $10 \mu\text{m}/\text{dev}$ ,  $25 \mu\text{m}/\text{dev}$ ,  $40 \mu\text{m}/\text{dev}$ ) numunelerin yüzey pürüzlülük ölçümleri yapılmıştır (Şekil 7).

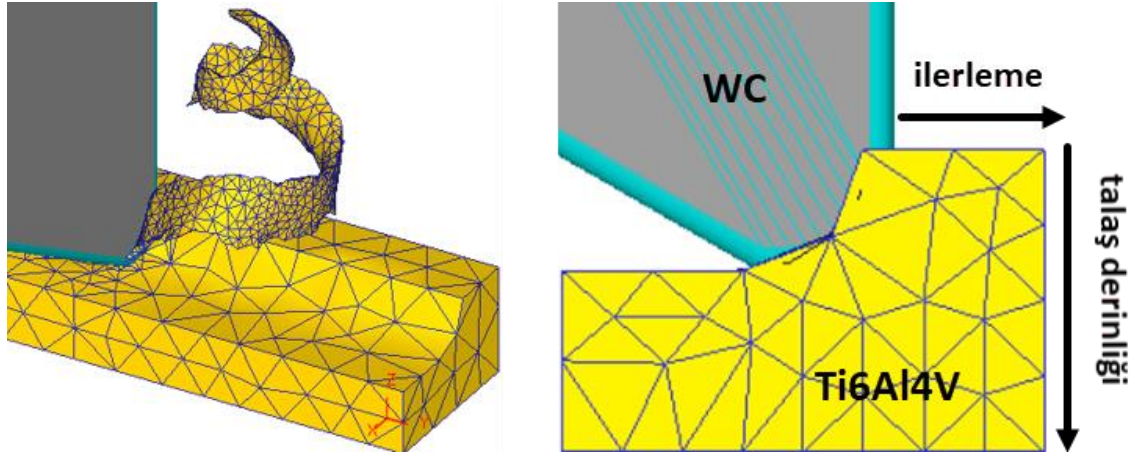


Şekil 7. İş parçası yüzey pürüzlülük ölçümlerinde kullanılan optik profilometre cihazı

X ekseninde 1 mm mesafe ve y ekseninde 0.1 mm mesafe için adım değeri  $1 \mu\text{m}$  alınarak yüzey boyunca tarama işlemi yapılmıştır. Tarama tipi çift yön olup, cihazın tarama hızı ise  $0.5 \text{ mm}/\text{s}$ 'dir. İş parçası  $90^\circ$  döndürülerek, iş parçası yüzeyinde 4 farklı yerden yüzey pürüzlülük ölçümü yapılmış ve bu ölçümlerin ortalaması alınmıştır. Böylece iş parçasının yüzey pürüzlülüğüne, takım geometrisinin etkisi araştırılmıştır.

### 2.3 Nümerik Modelleme

Talaşlı imalat işleminin modellenmesinde malzeme modelinin doğruluğu, nümerik çözüm sonuçlarını büyük ölçüde etkilediği için oldukça önemlidir. Çalışmada DEFORM yazılımı kullanılarak sonlu elemanlar çözümleri gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen çözümler deneysel sonuçlarla karşılaştırılarak, malzeme modelinin belirlenmesi amaçlanmıştır. DEFORM 2D yazılımında kesme kuvvetleri ve talaş formu dikkate alınarak malzeme modeli doğrulanmıştır. Modelleme işleminde iş parçası için 4111 adet, kesici takım için ise 1154 adet kuadratik eleman kullanılmış, iş parçası ve kesici takıma ait tane boyutu, mesh yapısı, Şekil 8’de gösterilmiştir.



Şekil 8. Tornalama işleminin üç boyutlu ifadesi, iş parçası mesh yapısı ve talaş formu.

Bu çalışmada, Ti6Al4V alaşımı için talaş kaldırma çözümlerinde sıklıkla tercih edilen Johnson-Cook (J-C) malzeme modeli kullanılmıştır (Denklem 1).

Şekil değiştirme yumuşaması ve sıcaklığa bağlı, J-C malzeme modeli (Calamaz ve ark., 2008) ve D parametresinin hesaplanması aşağıdaki denklemlerde gösterilmiştir.

$$\sigma = \left[ A + B \varepsilon^n \left( \frac{1}{\exp(\varepsilon^a)} \right) \right] \left[ 1 + C \ln \frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right] \left[ 1 - \left( \frac{T - T_r}{T_m - T_r} \right)^m \right] \left[ D - (1 - D) \left[ \tanh \frac{1}{(\varepsilon + p)^r} \right]^s \right] \quad (1)$$

$$D = 1 - \left( \frac{T}{T_m} \right)^d \quad p = \left( \frac{T}{T_m} \right)^b \quad (2)$$

3D nümerik çözümler ile kesici takım burun yarıçapı farklılıklarının kesme kuvvetlerine etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan I. takımın burun yarıçapı 40 µm, II. takımın ise 166.5 µm idi. Modellemede, I. Takıma  $R_\varepsilon=30, 50$  ve  $100 \mu\text{m}$ , II. takıma ise  $R_\varepsilon=50$  ve  $100 \mu\text{m}$  burun yarıçapları ilave edilerek burun yarıçapı farklılıklarının özellikle,  $ap < R_\varepsilon$ ,  $ap = R_\varepsilon$  ve  $ap > R_\varepsilon$  olması durumlarında kesme işlemine etkisi gözlemlenmiştir.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

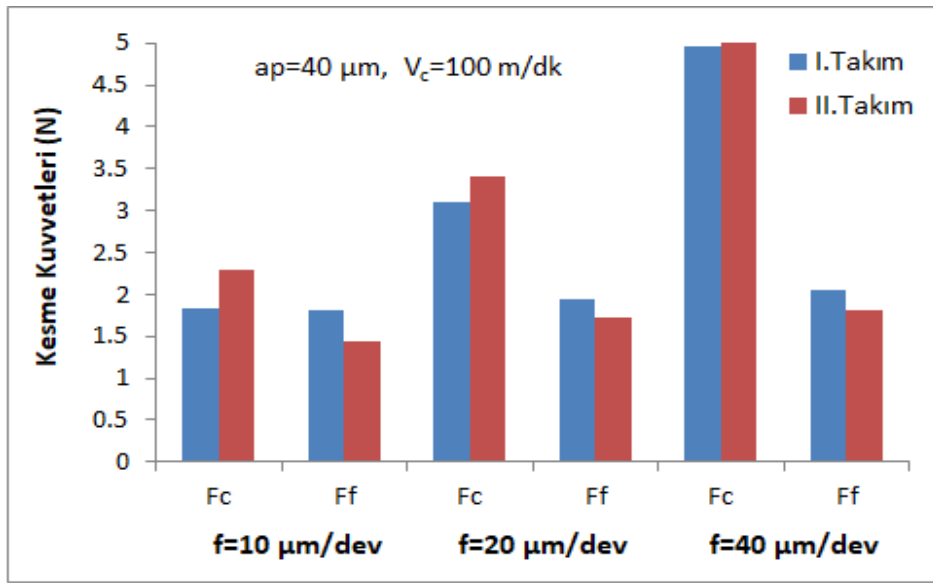
Geometrisi birbirinden farklı iki takım ile (I. takım  $R_\varepsilon=7.25 \mu\text{m}$  ve  $R_\varepsilon=40 \mu\text{m}$ , II. takım  $R_\varepsilon=12 \mu\text{m}$  ve  $R_\varepsilon=166.5 \mu\text{m}$ ) mikro tormalama deneyleri gerçekleştirilmiştir. Takım geometrisinin kesme işlemine etkisini incelemek adına mikro tormalama deneylerinde aynı kesme parametreleri kullanılmıştır. Bunun yanında DEFORM-3D yazılımı ile takım geometrisindeki burun yarıçapı farklılığı modellenmiş ve burun yarıçapının kesme işlemine incelenmiştir.

Takım geometrisinin yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemek adına iki farklı kesici takım kullanılarak üç farklı ilerleme hızında ( $f=10 \mu\text{m/dev}$ ,  $f=25 \mu\text{m/dev}$ ,  $f=40 \mu\text{m/dev}$ ) mikro tormalama deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ti6Al4V iş parçası yüzeyinde dört farklı noktadan alınan ölçümlerin ortalaması alınarak  $S_a$  ve  $S_z$  yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Böylece mikro tormalama işleminde takım geometrisi ve ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisi araştırılmıştır.

### 3.1 İlerlemenin ve Burun Yarıçapının Kesme Kuvvetlerine Etkisi

Geometrisi farklı olan iki kesici takım ile mikro tormalama deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kesme derinliği ve kesme hızı sabit alınmış, üç farklı ilerleme hızı kullanılmıştır. Böylece ilerleme hızının ve takım geometrisinin kesme kuvvetlerine etkisi incelenmiştir (Şekil 9).

Her iki takımla yapılan kesme deneylerinde de  $F_c$  esas kesme kuvvetinin  $F_f$  ilerleme kuvvetinden büyük olduğu görülmüştür. İlerleme hızının artmasıyla  $F_c/F_f$  oranı artmaktadır.



Şekil 9. Farklı ilerleme değerinde, her iki takıma ait deneylerdeki kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması

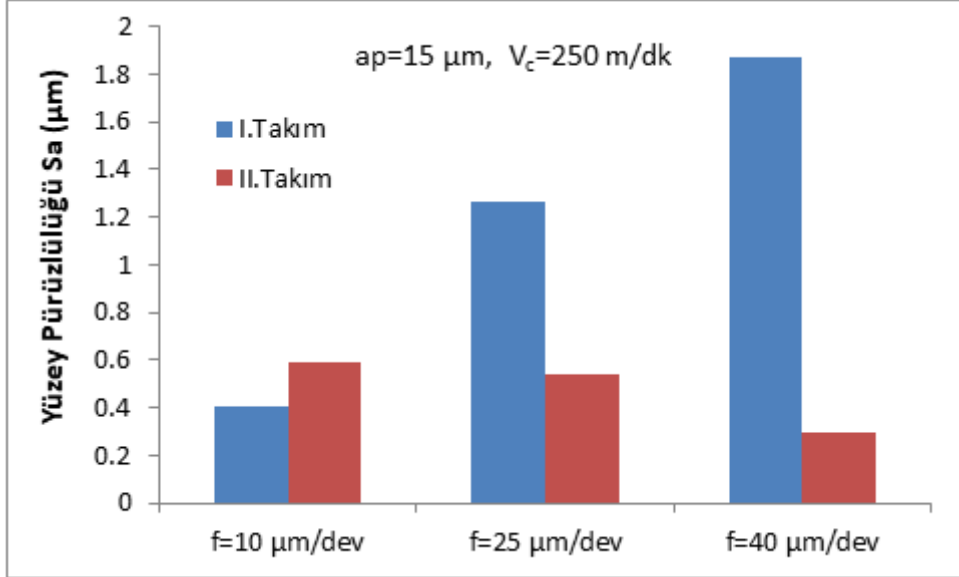
Konvansiyonel tormalama işleminde burun ve kenar yarıçapının artması ile kesme kuvvetleri artmaktadır (Ma ve ark., 2012). Fakat mikro tormalama işleminde burun ve kenar yarıçapının artması ile  $F_c$  kuvveti artarken,  $F_f$  kuvveti azalmaktadır (Madariaga ve ark., 2014). Konvansiyonel tormalama işlemine göre meydana gelen bu farklılığın sebebi, kesme parametrelerinin takım geometrisine göre çok küçük değerler almasıdır. Mikro tormalama işleminde meydana gelen bu farklılık literatürde boyut etkisi olarak isimlendirilmektedir (Aslantaş ve Şahan, 2017).

Mikro tormalama işleminde burun yarıçapının kesme derinliğinden büyük olması durumunda burun yarıçapının artması ile kesme kuvvetleri bir miktar azalmaktadır. Şekil 9'da görüldüğü üzere II. takım ile yapılan deneylerdeki  $F_f$  değerleri I. takıma kıyasla daha küçüktür. Aksine  $F_c$  değerlerinin daha büyük olmasının sebebi ise kenar yarıçapı değişiminin daha ağır basmasıdır. Kısacası  $F_c$  kuvvetinin değişiminde  $R_c$ 'nin,  $F_f$  kuvvetinin değişiminde ise  $R_c$ 'un daha etkili olduğunu söylemek mümkündür (Şekil 9). Düşük ilerleme hızlarında yapılan kesme işlemlerinde  $F_c$  ve  $F_f$  kuvvetlerinin birbirine çok yakın olmasının sebebi ise mikro tormalama işlemindeki boyut farklılığıdır. Burun ve kenar yarıçapının ilerleme hızıyla kıyaslanabilecek seviyede küçük sayısal değerler alması, bu boyut farklılığına sebebiyet vermektedir.

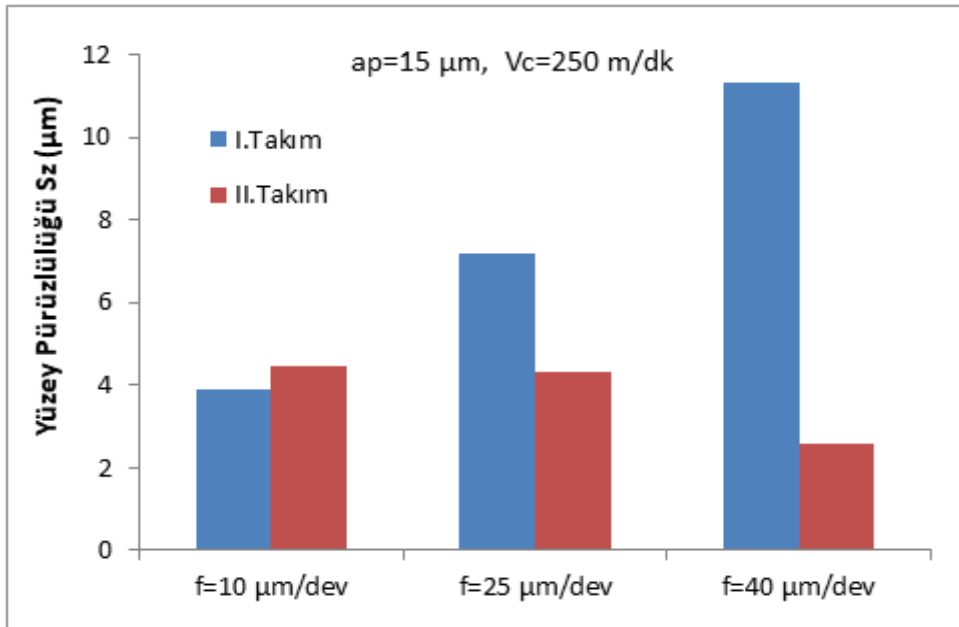


### 3.2 İlerlemenin ve Burun Yarıçapının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

Mikro tornalama işleminde, yüzey pürüzlüğü ölçümleri için, geometrisi farklı 2 takımla sabit 15  $\mu\text{m}$  kesme derinliği, 250 m/dk kesme hızı ve üç farklı ilerleme hızında ( $f=10 \mu\text{m}/\text{dev}$ ,  $f=25 \mu\text{m}/\text{dev}$ ,  $f=40 \mu\text{m}/\text{dev}$ ) yeniden kesme deneyleri yapılmıştır. Sonrasında iş parçası üzerinde x ekseninde 1 mm ve y ekseninde 0.1 mm mesafe için yüzey boyunca tarama işlemi gerçekleştirilmiştir. Tarama sonucu elde edilen  $S_a$  (Şekil 10) ve  $S_z$  (Şekil 11) yüzey pürüzlülük değerleri grafiksel olarak sunulmuştur.



Şekil 10. Üç farklı ilerleme değerinde, takım geometrisinin  $S_a$  ( $\mu\text{m}$ ) değerine etkisi



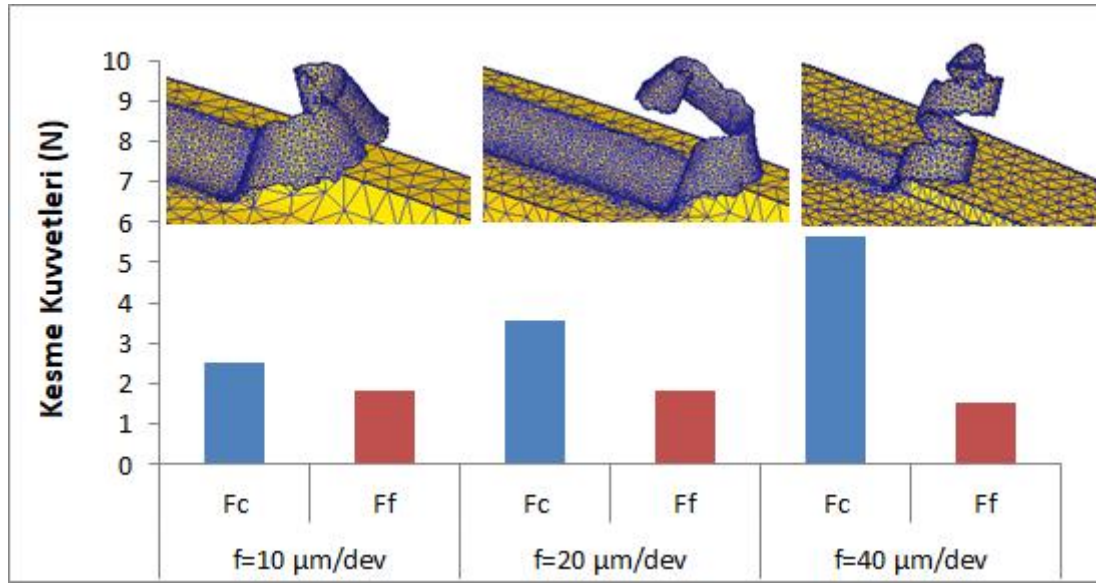
Şekil 11. Üç farklı ilerleme değerinde, takım geometrisinin  $S_z$  ( $\mu\text{m}$ ) değerine etkisi

Şekil 10 ve 11'den anlaşıldığı üzere; I. takımın kullanıldığı kesme deneylerinden elde edilen iş parçasında  $S_a$  ve  $S_z$  yüzey pürüzlülük parametreleri, ilerleme hızı ile doğru orantılı şekilde artarken, II. takımın kullanıldığı kesme deneylerinden elde edilen iş parçasında  $S_a$  ve  $S_z$  yüzey pürüzlülük parametreleri, ilerleme hızı ile ters orantılı olarak azalmıştır. Burada takım geometrisine

değişiminden kaynaklı iki farklı etkiden söz etmek mümkündür. I. takımın burun yarıçapı, kesme derinliğinden büyük ( $40 \mu\text{m} > 15 \mu\text{m}$ ), kenar yarıçapı ise üç farklı ilerleme hızından da küçüktür ( $7.25 \mu\text{m} < 10 \mu\text{m}$ ,  $20 \mu\text{m}$ ,  $40 \mu\text{m}$ ). II. takımın ise burun yarıçapı konvansiyonel tornalama işlemine zıt bir şekilde kesme derinliğinden oldukça fazladır ( $166.5 \mu\text{m} > 40 \mu\text{m}$ ). Kenar yarıçapı ise ilerleme hızlarına yakın değerdedir ( $10 \mu\text{m} < 12 \mu\text{m} < 25 \mu\text{m}$ ,  $40 \mu\text{m}$ ).  $S_a$  ve  $S_z$  yüzey pürüzlülük parametreleri, I. Takım için konvansiyonel tornalama işlemine benzer bir etki gösterdiğinden ilerleme hızı ile artmıştır. Bunun sebebi burun ve kenar yarıçapı değerlerinin çok küçük olmasıdır. II. takım için ise, ilerleme hızının artmasıyla  $S_a$  ve  $S_z$  yüzey pürüzlülük parametrelerinin azalması, mikro tornalamada boyut etkisinin bir sonucudur. İlerleme hızının kritik bir değerinden sonra ilerleme hızının azalmasıyla yüzey pürüzlülük parametresi artmaktadır. Yani burun yarıçapının ilerleme hızına göre çok büyük değerler alması ile  $S_a$  ve  $S_z$  parametreleri ilerlemenin artmasıyla beklenen aksine azalabilmektedir.

### 3.3 Burun Yarıçapı Etkisinin Modellenmesi

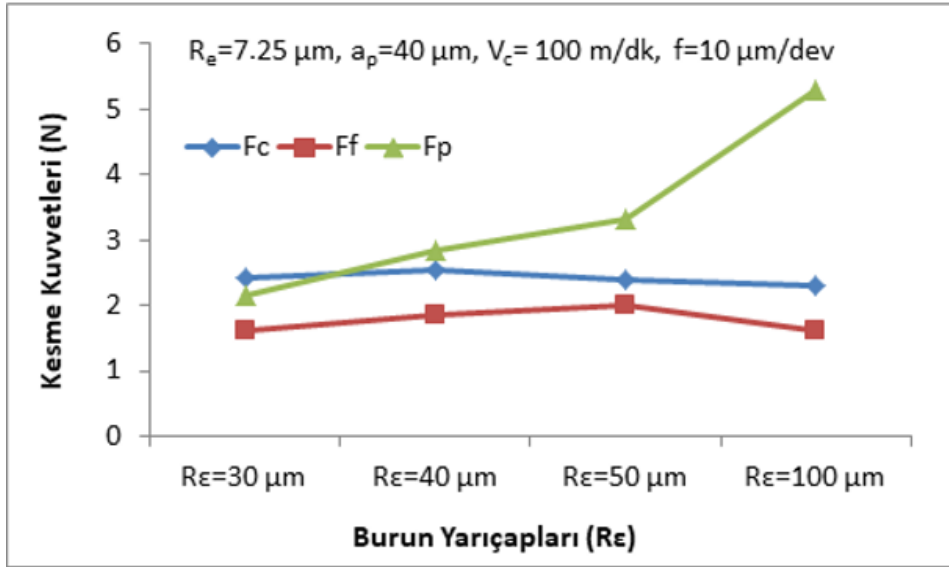
Çalışmanın bu kısmında öncelikle I. takım kullanılarak kesme kuvvetlerinin farklı ilerleme hızlarına göre değişimi incelenmiş, talaş oluşumu 3 boyutlu olarak modellenmiştir (Şekil 12). İlerleme hızının artmasıyla  $F_c$  kuvvetinde lineer bir artış gözlenirken,  $F_f$  kuvveti azalma eğilimindedir.



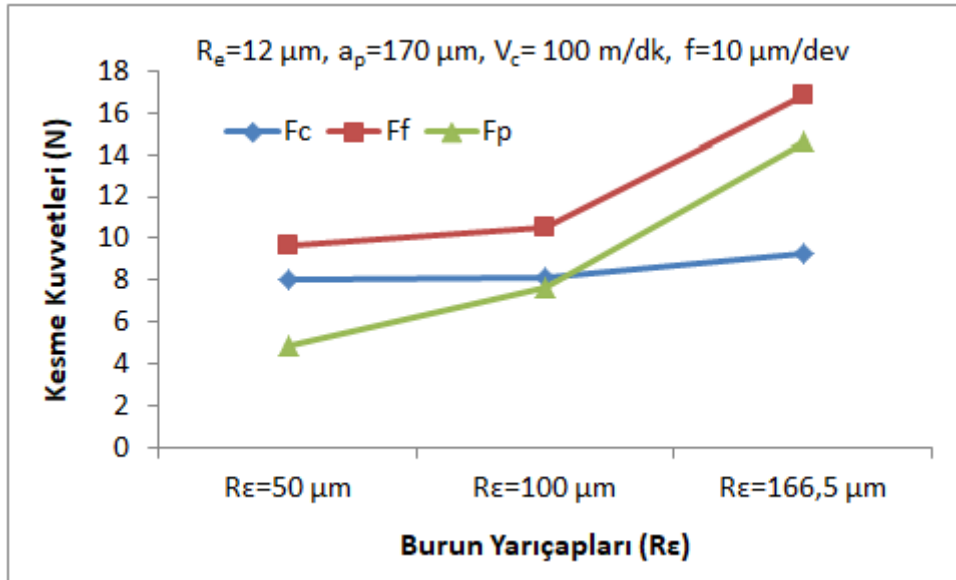
Şekil 12. Kesme kuvvetlerinin ilerleme hızına göre değişimi ve 3 boyutlu talaş oluşumu

Kesme deneylerinde kullanılan I. takımın kenar ve burun yarıçapı  $R_e=7.25 \mu\text{m}$ ,  $R_e=40 \mu\text{m}$  idi. Burun yarıçapı farklılığının kesme kuvvetlerine etkisi inceleneceğinden, sabit kesme derinliği, kesme ve hızında  $R_e = 30, 40, 50, 100 \mu\text{m}$  olmak üzere 4 farklı burun yarıçapı modellenmiştir. Bu değerlerinden seçiminde kesme derinliği referans alınmıştır. Burun yarıçapı ile kesme derinliği ilişkili olduğundan kesme derinliğine eşit, küçük ve büyük değerler alınmasına özen gösterilmiştir. Sabit kesme ve ilerleme hızında DEFORM-3D yazılımında gerçekleştirilen modellemeler sonucu kesme kuvvetleri sonucu grafiksel olarak sunulmuştur (Şekil 13).

II. takımın ise kenar yarıçapı  $R_e=12 \mu\text{m}$  sabit kalmak üzere, sabit kesme derinliği, kesme ve hızında, burun yarıçapı  $R_e=50, 100, 166.5 \mu\text{m}$  olarak modellenmiş ve burun yarıçapı farklılığı kesme kuvvetleri açısından kıyaslanmıştır (Şekil 14).



Şekil 13. Kesme kuvvetlerinin kesici takım burun yarıçapı ile değişimi ( $a_p=40 \mu\text{m}$ )



Şekil 14. Kesme kuvvetlerinin kesici takım burun yarıçapı ile değişimi ( $a_p=170 \mu\text{m}$ )

Şekil 13'te burun yarıçapının kesme derinliğine kıyasla eşit ve küçük ( $R_e \leq a_p$ ) olduğu nümerik modellemelerde, konvansiyonel tormalama işlemine benzer bir etki görüldüğünden, burun yarıçapının artmasıyla kesme kuvvetlerinde de artış gözlenmiştir. Burun yarıçapının  $R_e=50 \mu\text{m}$  olduğu modellemelerde ise,  $R_e$ ,  $a_p$ 'den büyük olduğu için, kesici ucun burun kısmı ile iş parçası daha az temas durumundadır. Bu sebeple  $F_c$  kuvveti azalırken,  $F_f$  kuvveti artış eğilimine bir süre daha devam etmektedir. Burun yarıçapının  $R_e=100 \mu\text{m}$  olduğu modellemelerde ise  $R_e$ 'nin  $a_p$ 'den fazlasıyla büyük olması ile kesici ucun burun kısmı iş parçasına çok daha az temas etmektedir. Bu sebeple  $F_c$  ve  $F_f$  azalmıştır. Mikro tormalama ile konvansiyonel tormalama işleminin farklarından en önemlisi boyut etkisinden kaynaklanan fiziksel değişimlerdir.  $F_p$  kuvvetinin değişimi incelendiğinde ise radyal yönde işlenmiş yüzeye dik etki eden bu kuvvet, ilerlemenin artmasıyla artmaktadır.  $R_e$ 'nin  $a_p$ 'den büyük değerler almasıyla  $F_c$  azalırken  $F_p$ 'nin arttığı gözlenmiştir.

Şekil 14'de gösterildiği gibi II. takım kullanılarak gerçekleştirilen modellemelerde, burun yarıçapı değerleri kesme derinliğinden ( $a_p=170 \mu\text{m}$ ) küçüktür. Bu sebeple burada konvansiyonel

tornalama işlemine benzer bir etki söz konusudur. Yapılan çalışmalar incelendiğinde, (Asad ve ark., 2014) beklenildiği üzere burun yarıçapının artmasıyla kesme kuvvetleri artmıştır (Şekil 12). Burun yarıçapının artmasıyla  $F_f$  kuvvetindeki artış oranı  $F_c$  kuvvetindeki artışa göre daha belirgin olmuştur. Bu durum da kesme işleminin, kayma mekanizmasından ziyade, kazınma mekanizmasıyla gerçekleştiği şeklinde yorumlanabilir (Madariaga ve ark., 2014; Aslantaş ve Şahan, 2017) Burun yarıçapı arttıkça pasif kuvvet de artmaktadır.  $R_e/a_p$  oranının 1'e yaklaşması  $F_p$ 'nin  $F_c$ 'ye nazaran büyük değerler almasına sebep olmaktadır (Jagadesh ve Samuel, 2015; Ducobu ve ark., 2017).

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada, Ti6Al4V alaşımının mikro tornalanmasında farklı ilerleme hızlarında burun yarıçapının kesme kuvvetlerine ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelenmiştir. Kesme kuvvetlerine göre malzeme modeli doğrulandıktan sonra 3D modelleme ile farklı burun yarıçapları için çözümler yapılmıştır. Ayrıca burun yarıçapının yüzey pürüzlülüğüne etkisi de deneysel olarak incelenmiştir. Çalışma sonunda elde edilen sonuçlar aşağıda listelenmiştir.

- İlerlemenin artması  $F_c$  kuvvetinin artmasına,  $F_f$  kuvvetinin ise azalmasına neden olmaktadır.
- Mikro tornalama işleminde burun yarıçapı, kesme derinliğine yakın ve büyük değerler aldığı için, konvansiyonel tornalama işleminden farklı olarak, burun yarıçapı arttıkça, kesme kuvvetleri azalmaktadır. Bu, boyut etkisinin bir sonucudur.
- Burun ve kenar yarıçapı farklı iki takımla ve aynı parametrelerle yapılan kesme işlemleri karşılaştırıldığında, II. takımın  $F_c$  kuvveti, I takımın ise  $F_f$  kuvveti daha büyüktür. Bu sonuç,  $F_c$  kuvvetinde  $R_e$ 'nin,  $F_f$  kuvvetinde ise  $R_e$ 'un değişiminin daha etkili olduğu şeklinde yorumlanmıştır.
- Mikro işlemede burun yarıçapı, kesme derinliğine göre çok büyük değerler almaktadır. Bu da yüzey pürüzlülüğünün daha düşük olmasına, bir diğer deyişle daha düzgün bir yüzey oluşumuna sebep olmaktadır.
- Mikro tornalama işleminde çok küçük ilerleme değerleri kullanılmaktadır. Kritik bir ilerleme değerinden sonra ilerleme azaldıkça yüzey pürüzlülüğünün arttığı gözlenmiştir. Özellikle II. takımda, ilerleme hızı 40  $\mu\text{m}/\text{dev}$ 'den, 10  $\mu\text{m}/\text{dev}$ 'e düşüldükçe yüzey pürüzlülüğünün arttığı görülmüştür.

#### 5. KAYNAKLAR

- Asad M., Mabrouki T., Ijaz, H., Khan, M., A., Saleem, W., On the Turning Modeling and Simulation, 2D and 3D FEM Approaches. *Mechanics & Industry*, 15, 427-434, 2014.
- Aslantaş K., Şahan Ö., Ti6Al4V Alaşımının Mikro İşleme Şartlarında Yüksek Hızda Tornalanması, 8. Uluslararası Talaşlı İmalat Sempozyumu, 2-4 Kasım, 2017, Antalya.
- Calamaz M., Coupard D., Girot F., A New Material Model For 2D Numerical Simulation of Serrated Chip Formation When Machining Titanium Alloy Ti-6Al-4V. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 48, 275-288, 2008.
- Chunxiang C., Baomin H., Lichen Z., Shuangjin L., Titanium Alloy Production Technology, Market Prospects and Industry Development. *Materials and Design*, 32, 1684-1691, 2011.
- Çakır M.C., Modern Talaşlı İmalatın Esasları, Uludağ Üniversitesi Yayınları, Yayın No:140, Bursa, 1999.

- Ducobu F., Riviere-Lorphevre E., Filippi E., On the Importance of the Choice of the Parameters of the Johnson-Cook Constitutive Model and Their Influence on The Results of a Ti6Al4V Orthogonal Cutting Model. *International Journal of Mechanical Sciences*, 122, 143-155, 2017.
- Fang F.Z., Liu Y.C., On Minimum Exit-Burr in Micro Cutting. *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 14, 984-988, 2004.
- Filiz S., Conley C.M., Wasserman, M.B., Özdoğanlar, O.B., An Experimental Investigation of Micro Machinability of Copper 101 Using Tungsten Carbide Micro Endmill. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 47, 1088-1100, 2007.
- Jagadesh T., Samuel G., L., Mechanistic and Finite Element Model for Prediction of Cutting Forces During Micro-Turning of Titanium Alloy. *Machining Science and Technology*, 19, 593-629, 2005.
- Li H., Lai X., Li C., Feng J., Ni J., Modelling and Experimental Analysis of the Effects of Tool Wear, Minimum Chip Thickness and Micro Tool Geometry on the Surface Roughness in Micro-End-Milling. *Journal of Micromechanical and Microengineering*, 18, 1-12, 2008.
- Ma J., Yong Y. Lei S., 3D FEM Investigation of the Effects of Nose Radius and Edge Radius on Turning of AISI 4140, *Proceedings of the ASME International Mechanical Engineering Congress*, November, 2012, Houston, pp: 9-15.
- Madariaga A., Esnaola J. A., Fernandez E., Arrazola P. J., Garay A., More F., Analysis of Residual Stress and Work-Hardened Profiles on Inconel 718 When Face Turning with Large-Nose Radius Tools. *International Journal Advanced of Manufacturing Technology*, 71, 1587-1598, 2014.
- Özel T., Sima M., Finite Element Simulations of High-Speed Machining Ti-6Al-4V Alloy Using Modified Material Models. *Transactions of the North American Manufacturing Research Institution of SME*, 38, 49-56, 2010.
- Schmidt J., Tritschler H., Micro Cutting of Steel. *Microsystem Technologies*, 10, 167-174, 2004.
- Ucun İ., Inconel 718 Malzemesinin Mikro İşlenebilirliği ve Kaplama Malzemesinin Etkisinin Araştırılması, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi (Basılmış), 2013.