

Tornalamada Yaklaşma Açısı ve Talaş Açısına Bağlı Tırlama Titreşimlerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkileri

Süleyman NEŞELİ, Süleyman YALDIZ
Selçuk Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makine Programı
42031 KONYA

ÖZET

Bu çalışmada, tornada takım geometrisine bağlı olarak meydana gelen tırlama titreşimlerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelenmiştir. Bunun için universal torna tezgahında, değişik yaklaşma açıları (60° , 75° , 90°) ve talaş açıları (-3° , -6° , -9°) kullanılarak, kuru kesme şartlarında AISI 1040 çeliği üzerinden 0.5 mm derinliğinde talaş kaldırılmıştır. Kesme işlemi sırasında uç yarıçapı ve takım sarkma miktarı (takım ucunun bağlama noktasından uzaklığı), kesme parametreleri olarak kesme hızı, ilerleme ve devir sayısı sabit tutulmuştur. Kesme işlemi sırasında oluşan titreşim sinyalleri piezoelektrik KISTLER 8632C ivmeölçer yardımıyla ölçülmüştür. Numuneler işlendikten sonra yüzey pürüzlülük değerlerini ölçmek için MAHR M1 pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılmıştır. Bu şartlar altında yapılan deneysel çalışmada, yaklaşma açısının artması ve negatif talaş açısının azalması tırlama titreşiminin artışına sebep olmuş, yüzey pürüzlülük değerinin de tırlama titreşimine bağlı olarak arttığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler : Yaklaşma Açısı, Talaş Açısı, Tırlama Titreşimi, Yüzey Pürüzlülüğü.

The Effects of Approach Angle and Rake Angle Due to Chatter Vibrations on Surface Roughness in Turning

ABSTRACT

In this study, the effect of the chatter vibrations depend on tool geometry on surface roughness in turning has been investigated. Machining process in universal lathe is carried out on AISI 1040 steel in dry cutting condition using various approaching/entering angles (60° , 75° , 90°) and rake angles (-3° , -6° , -9°) at depth of cut of 0.5 mm. During cutting processes, tool nose radius and tool overhang (tool noise of kept point distance) and cutting speed, feed rate and spindle speed as cutting parameters were kept constant. The vibration signals generated in-process of cutting have been measured using piezoelectric accelerometer (KISTLER 8632C). Surface roughness of the materials, which have worked workpiece, was measured by using MAHR M1 perthometer. In this experimental study performed in these conditions, increasing approaching angle and decreasing rake angle negatively have caused increase of chatter vibration, also the increasing the values of surface roughness depend on chatter vibration has been seen, too.

Key Words: Approach Angle, Rake Angle, Chatter Vibration, Surface Roughness

1. GİRİŞ

Metallerin talaş kaldırılmak suretiyle şekillendirilmesi, imalat sektörünün temelini teşkil eder. Yatırım maliyetlerinin düşüklüğü, kullanılan makine ve tezgahların uzun ömürlü oluşu, işleme parametrelerinin optimizasyona uygunluğu ve en önemlisi de elde edilen ürünlerin ölçü ve yüzey kalitesinin iyi olması talaşlı üretimin diğer üretim yöntemlerine göre tercih sebeplerinden bazılarıdır.

İmal edilen parçaların gerektiği tarzda çalışması, mekanik ömrü ve dış etkilere karşı direnci, diğer faktörlerin yanında yüzey kalitesine de bağlıdır. Bu yüzden nümerik değerlerle pürüzlülüğün nasıl oluştuğunu belirlemeye veya tahmin etmeye ihtiyaç vardır. Parçanın fonksiyonunu ve maliyetini etkileyen pürüzlülüğün gerçek değerinin tahmininde de takım-iş parçası arasındaki

temas titreşimini (tırlama titreşimi) kullanmak mümkün olmaktadır.

İki ayrı torna üzerine yapılan araştırmada prensip olarak takım ve parçanın titreşimlerinin her doğrultu için ölçülen değerlerin toplamının yüzey pürüzlülüğü bakımından yeter bir kriter olacağı hususu ele alınmış ve yapılan deneyler bu kabulün doğru olduğunu göstermiştir (1).

Tornalama ile ilgili bir çok çalışmada değişik geometrili kesici takımların, işleme deformasyonlarını ve işlenmiş yüzeyin pürüzlülüğünü etkileyen ana faktörlerden biri olduğu ortaya konulmuştur (2). Yüzey pürüzlülüğü ile tırlama titreşimi arasındaki korelasyonla ilgili olan algoritmalarda, takımla iş parçası arasında bağlı kesme titreşimlerinin olduğunu ortaya koymuş (3), tornalama operasyonlarında yüzey pürüzlülüğünün olu-

şumunu izlemede takım titreşiminin iyi bir yol olduğunu göstermiştir (4).

Takım tezgahı tırlama titreşimleri, işleme operasyonlarıyla yapılan talaş kaldırma esnasında kendi kendini uyarıcı bir mekanizmadan meydana gelir. Takım iş parçasının yapısal bir modu olan sistem başlangıçta bir kuvvet tarafından uyarılır. Tornalamada hem önceki devir sırasında hem de yapısal titreşimlerden dolayı iş parçası üzerinde dalgalı bir yüzey oluşur. Sistem, yapısal moduna çok yakın ama eşit olmayan bir tırlama frekansında salınırken, ardışık iki dalga arasındaki faz kaymasına bağlı olarak maksimum talaş kalınlığı, üssel olarak artabilir. Talaş kalınlığındaki değişken büyüme, titreşimleri artırarak kesme kuvvetlerini artırır, takımı aşındırır ve dalgalı bir yüzeye sebep olur.

Dalgalı çalışma yüzey konumları için, kesilmemiş talaş kalınlığı dalgalanmaları ve kesme kuvveti arasındaki ilişkinin analitik olarak ifadesinin mümkün olduğu görülmüştür. Ayrıca dalgalanma şiddetinin kesme açılarına bağlılığı tespit edilmiştir (5).

Bu çalışmanın amacı; değişik takım geometrisine sahip takımlarla sabit uç yarıçapı, talaş derinliği ve takım sarkma miktarı kullanılarak yapılan silindirik tornalama işlemlerinde takım geometrisinin tırlama ve buna bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri incelenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneyler, AISI 1040 imalat çelikleri üzerinden, farklı negatif talaş açılı takım tutucular kullanılarak Harrison M300 üniversal torna tezgâhında talaş kaldırılmak suretiyle gerçekleştirilmiştir. Malzeme boyutları Ø40x250 mm olarak belirlenmiştir. Numunelerinin kimyasal bileşimi Çizelge 2.1’de verilmiştir. Kullanılan takım tezgâhının; tezgah gücü 2.2 kW, maksimum devir sayısı 2500 rpm’dir.

Deneyde üç farklı uç yarıçapına sahip Böhler LC215B kalitesindeki TIC kaplı CNMG 120404-BF,

Çizelge 1. Deneyde kullanılan AISI 1040 malzemesinin kimyasal kompozisyonu

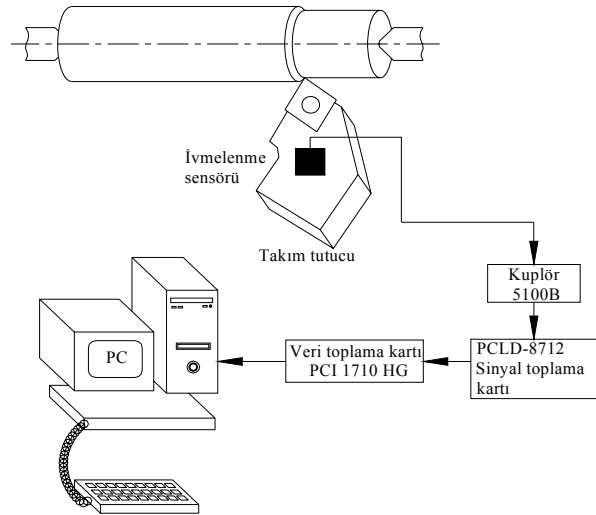
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Co
0,365	0,247	0,799	0,0166	0,0422	0,0528	0,0267	0,106	0,0190	0,0223
Cu	Nb	Ti	V	W	Pb	Sn	Sb	Fe	
0,300	0,00200	0,00100	0,00100	0,0868	0,00200	0,0188	0,0066	97,83	

CNMG 120408-BF, CNMG 120412-BF kesici takımlar kullanılmıştır.

Bu takım formuna uygun Takımsaş firmasının ürettiği PCLNR/L 2020 K12 AA3, PCLNR/L 2020 K12 AA6, PCLNR/L 2020 K12 AA9 numaralı takım tutucuları kullanılmıştır.

Deneyler sırasında soğutma sıvısı kullanılmamıştır. Kesici uçlar bir sefer kullanılarak iki punta arasına bağlanan her bir numunenin gezer puntaya yakın

tarafından 20 mm’lik boy torna edilmiştir. İşleme sırasında yardımcı talaş açısı -6° , talaş derinliği 0.5 mm, devir sayısı 1200 rpm, kesme hızı 150 m/min, ilerleme miktarı 0.15 mm/rev değerlerinde sabit alınmıştır. Titreşim sinyalleri Kistler 8632C ivme ölçer kullanılarak alınmıştır. İvme ölçer, takım tutucu üzerindeki uygun işlenmiş (veri alıcı sensörün kataloğunda belirtilen pürüzlülük, şekil ve konum toleranslarında) tespit yüzeyine ivmenin ölçüleceği yönde özel yapıştırıcısı kullanılarak monte edilir. İvmelenme sensöründen çıkan sinyaller Kistler 1761Bsp Coaxial kablo aracılığıyla 5100 Piezotron Coupler’e transfer edilmiştir. Coupler çıkış kısmından Kistler 1511sp çıkış kablosu kullanılarak PCLD-8712 veri toplama board’una aktarılan sinyaller buradan PC içerisindeki Advantech PCI-1712 A/D dönüştürücü veri toplama kartı sayesinde sayısallaştırılarak karta ait yazılım programı ile PC üzerine kaydedilmiştir. İşlenen numunelerin yüzey pürüzlülük değerlerini ölçmek için Mahr Perthometer M1 pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılmıştır. Deney setinin şeması Şekil 1’de gösterilmiştir



Şekil 1. Deney setinin şematik görünüşü

3. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada üç farklı değerde uygulanan yaklaşma ve talaş açılarına bağlı olarak meydana gelen tırlama titreşiminin, yüzey pürüzlülüğünü nasıl etkilediği araştırılmıştır. Deneylerde kullanılan sabit ve değişken parametreler Çizelge 2’de gösterilmiştir.

Çizelge 2. Kesme koşulları

Takım uç radyüsü (r)	0.4 mm		
Yaklaşma açısı (κ)	60°	75°	90°
Talaş açısı (γ)	-3°	-6°	-9°
Takım sarkma miktarı (L)	30 mm		
Yardımcı talaş açısı (γ_x)	-6°		
Talaş derinliği (d)	0.5 mm		
Devir sayısı (n)	1200 rpm.		
Kesme hızı (V_c)	150 m/min.		
İlerleme miktarı (f)	0.15 mm/rev.		

3.1. Yaklaşma Açısının Titreşim ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

Yaklaşma açısının talaşın uzunluğu, genişliği ve akış yönü üzerindeki etkisi büyüktür. Bu açının uygun tasarımı sayesinde kesici kenarın talaş kontrolü sağlanması, yapılacak işlemlerde büyük önem göstermektedir.

Yaklaşma açısı talaşın oluşumunu etkilediği gibi kesme kuvvetlerinin yönünü, kesme işlemine katılan kesici kenar uzunluğunu, kesici kenar ile iş parçası arasındaki temas uzunluğunu etkiler. Uygun yaklaşma açısının seçimiyle talaş kalınlığı azaltılarak basıncın daha büyük bir kesici kenar uzunluğu üzerine dağılımı sağlanır. Yaklaşma açısı yatay düzlemdeki kesme kuvvetlerinin yönünü de etkiler. Büyük bir yaklaşma açısı büyük bir ilerleme kuvveti ve daha küçük bir radyal kuvvetin ortaya çıkmasına neden olurken daha küçük yaklaşma açısı kuvvetler arasında daha dengeli bir ilişkinin kurulmasını sağlar. Dış tornalama işlemlerinde büyük bir yaklaşma açısı nedeniyle ortaya çıkan büyük ilerleme kuvveti iş parçasını eğilmeye zorlayacaktır. Yaklaşma açısının daha küçük seçimiyle kuvvetlerin dengelenmesi sağlanacak ve işlemin rijitliği artacaktır (6). Rijit bir işlem, tirlama titreşimlerinin minimum olduğu bir işlemdir. Bu koşullar R_a pürüzlülük değerlerinin en küçük miktarda gerçekleşmesini sağlar.

Yaklaşma açısının küçülmesi kesme basıncının yayılması ve kesme kenarının büyük bir kısmını kullanmak açısından bir avantajdır. Bu açının 60° olduğu durum göz önüne alındığında, işleme esnasında takım üzerinde meydana gelen kesme kuvvetleri, 90° yaklaşma açılı takımla meydana gelen kesme kuvvetlerinden az olması beklenir. Bu durum sistemi kararlı bir hale getirir ve yüzey pürüzlülüğünü olumlu yönde etkiler (7).

3.2. Talaş Açısının Titreşim ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

Negatif talaş açısı ve oluşturulan yüzeylerin uzunluğu tasarımı ilk ele alınacak unsurlardır. Bu unsurlar işleme esnasında oluşan talaşın deformasyon miktarı ve eğriliği üzerinde etkide bulunurlar. Talaş kaldırma sırasında kesme kuvvetlerini etkileyen en önemli faktörlerden birisi de takım-talaş temas uzunluğudur. Temas uzunluğunun azalması ile birlikte kesme kuv-

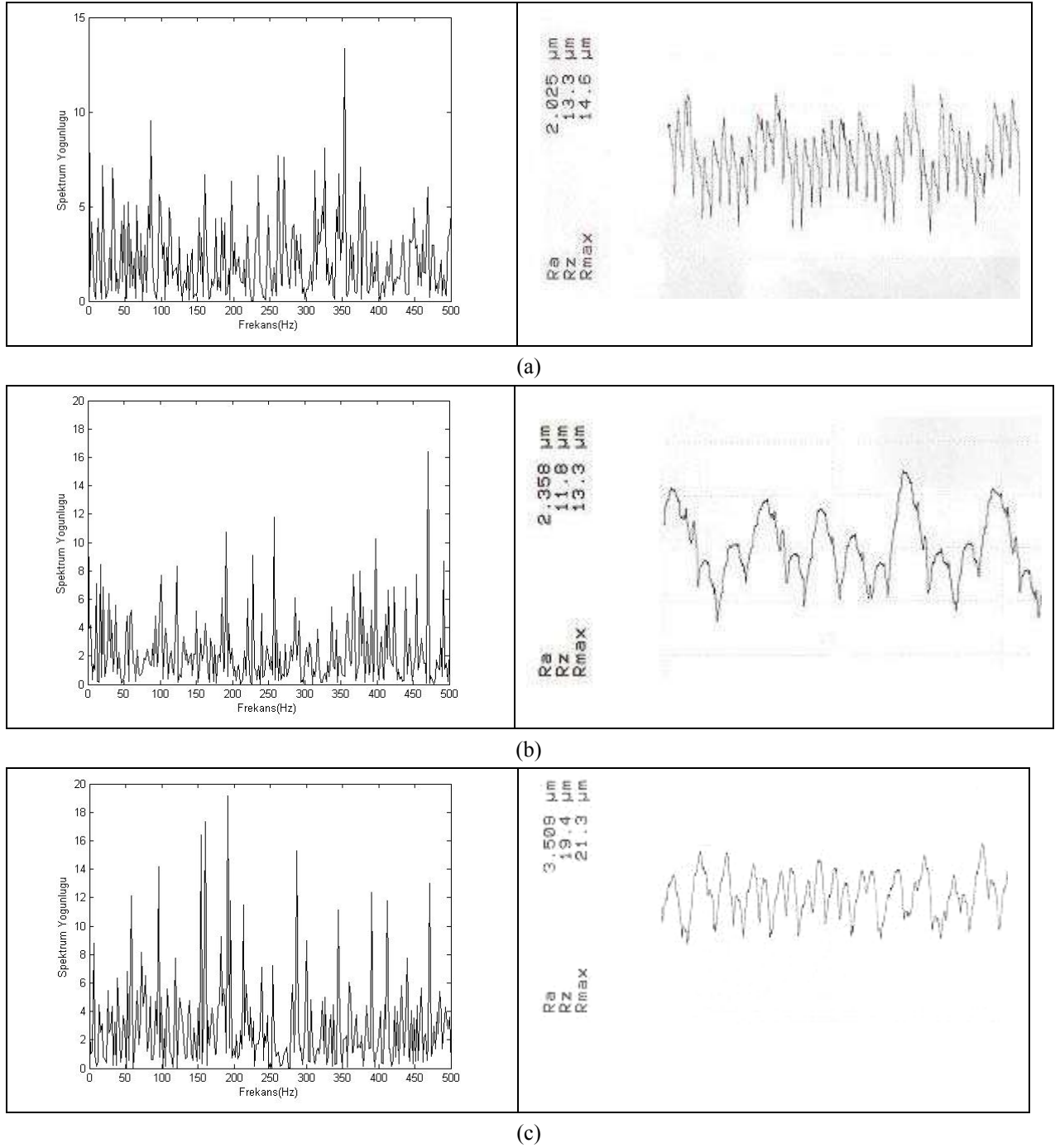
vetleri düşerken, temas uzunluğunun artması ile sürtünmenin de artması, kesme kuvvetlerinin artmasına sebep olmaktadır. Takım geometrisini oluşturan elemanlardan, özellikle talaş açısı, bu temas bölgesinin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır (8).

Talaş açısı için genellikle optimum bir değer mevcut olup bu değer gereğinden büyük seçilmesi kesici ucun dayanımı üzerinde olumsuz etki yapacağından aşınma sürecini hızlandırır. Aşınma ile birlikte boşluk yüzeyindeki temas artarak kesme kuvvetlerinin de artmasına sebep olabilir. Ancak talaş açısının pozitif olarak belirli değerlere kadar artırılması, takımın talaş yüzeyinde takım-talaş temas uzunluğunun kısılmasına neden olacağından kesme kuvvetlerinde bir azalma olması beklenmektedir. Özellikle, negatif talaş açılarında artan temas alanı ve sürüklenen talaş hacminin artması kesme kuvvetleri ve ısı oluşumunu çok fazla artırabilmektedir (9).

Pozitif talaş açılı kesici takımlar takım talaş ara yüzeyinde meydana gelecek sürtünmeyi azaltır. Böylece kesme kuvvetleri azalır. Negatif talaş açılı kesici takımlarda ise aynı kesme koşulları için pozitif takımlardan daha yüksek kuvvet meydana gelmektedir. Çünkü negatif talaş açılı takımlarda kesme açısı azalmakta ve böylece takım talaş ara yüzeyindeki sürtünme artmaktadır (10). Kuvvetlerin artması ise tirlama titreşimlerinin artmasına sebep olarak pürüzlülük değerlerini yükseltir. Bu çalışmada kullanılan talaş açılarının -9°'den -3°'ye artmasıyla tekrarlanan deneylerde daha iyi bitirme yüzeyi elde edilmesi beklenmektedir.

Talaş açısı $\gamma=-3^\circ$ ve yaklaşma açısı $\kappa=60^\circ, 75^\circ, 90^\circ$ değerleri kabul edilerek yapılan deneylere ait grafikler Şekil 2'de gösterilmiştir. Şekil 2.(a)'da $\kappa=60^\circ$ iken yapılan talaş kaldırma işleminde oluşan titreşimlerin Spektrum Yoğunluğu-Frekans grafiğinden anlaşıldığı gibi ortalama 1-2 arasında gerçekleşmiştir. Yapılan pürüzlülük ölçümüyle R_a değeri 2,025 μm olarak ölçülmüştür. Şekil 2.(b)'de $\kappa=75^\circ$ iken yapılan talaş kaldırma işleminde oluşan titreşim verilerinin Spektrum Yoğunluğu-Frekans grafiğindeki yoğunlaşma aralığı yaklaşık olarak 2-3 civarında gerçekleşmiştir. Yapılan pürüzlülük ölçümüyle R_a değeri 2,358 μm olarak ölçülmüştür. Şekil 2.(c)'de ise $\kappa=90^\circ$ iken meydana gelen titreşim verilerinin yine Spektrum Yoğunluğu-Frekans grafiğinde yaklaşık olarak 4 civarında gerçekleştiği görülmüştür. Yapılan pürüzlülük ölçümüyle R_a değeri 3,509 μm olarak ölçülmüştür. Spektrum Yoğunluğu-Frekans grafiğinde giderek artan yoğunlaşma değeri tirlama titreşiminin, yaklaşma açısı arttıkça arttığını göstermektedir. Buna paralel olarak pürüzlülük değeri de artmıştır.

Talaş açısı $\gamma=-6^\circ$ ve yaklaşma açısı $\kappa=60^\circ, 75^\circ, 90^\circ$ değerleri kabul edilerek yapılan deneylere ait grafikler Şekil 3'de gösterilmiştir. Şekil 3.(a)'da $\kappa=60^\circ$ iken yapılan talaş kaldırma işleminde oluşan titreşimlerin Spektrum Yoğunluğu-Frekans grafiğinden anlaşıldığı gibi ortalama 2 civarında gerçekleşmiştir. Yapılan pürüzlülük ölçümüyle R_a değeri 2,283 μm olarak ölçül-

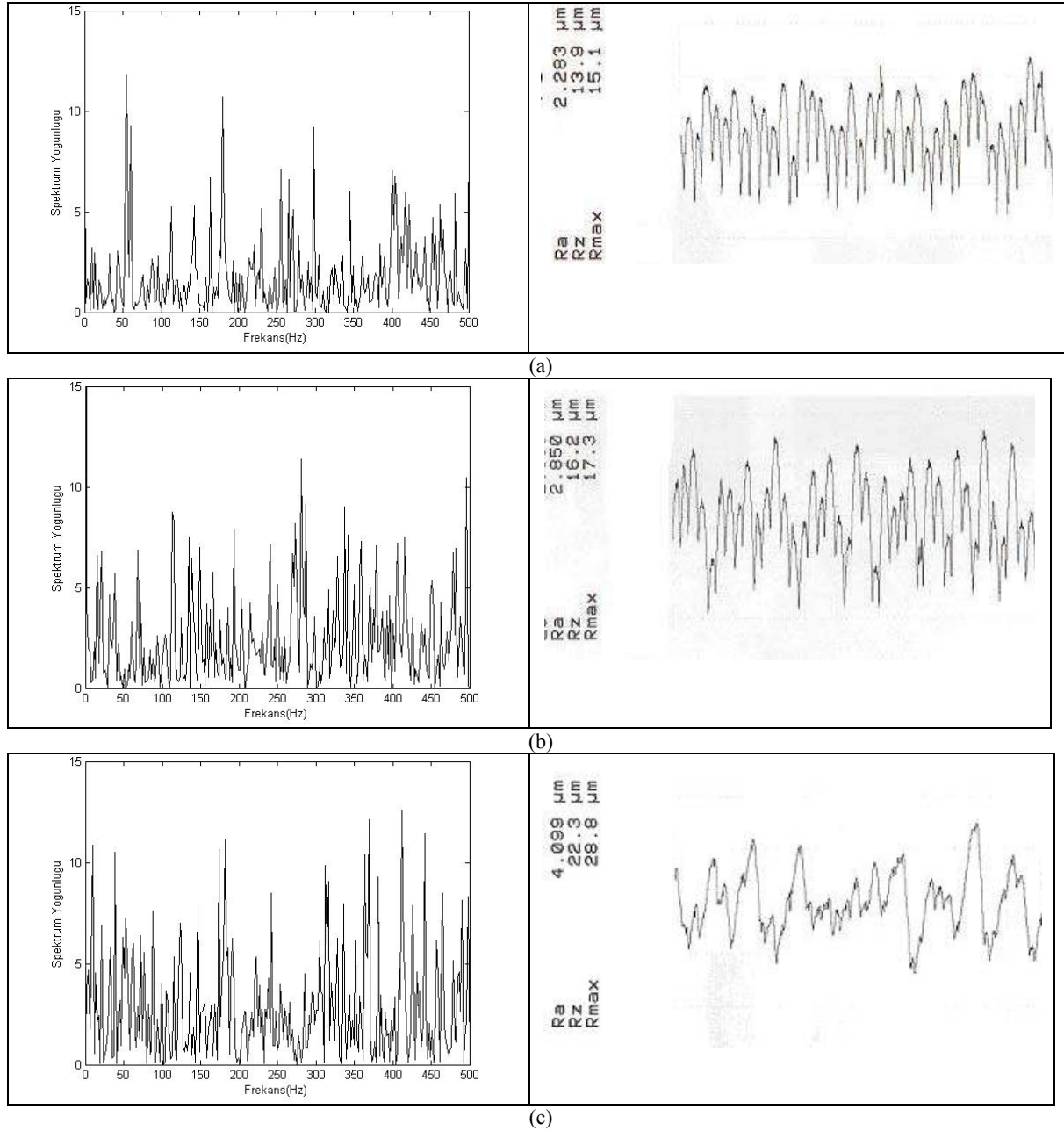


Şekil 2. Yaklaşma açısı ve talaş açısı değişimlerin pürüzlülüğe etkileri

- a) $\kappa=60^\circ$, $r=0,4$, $\gamma=-3^\circ$, $L=30$ mm, $R_a=2,025$ μm
 b) $\kappa=75^\circ$, $r=0,4$, $\gamma=-3^\circ$, $L=30$ mm, $R_a=2,358$ μm
 c) $\kappa=90^\circ$, $r=0,4$, $\gamma=-3^\circ$, $L=30$ mm, $R_a=3,509$ μm

müştür. Şekil 3.(b)'de $\kappa=75^\circ$ iken yapılan talaş kaldırma işleminde oluşan titreşim verilerinin Spektrum Yoğunluğu-Frekans grafiğindeki yoğunlaşma yaklaşık olarak 3 civarında gerçekleşmiştir. Yapılan pürüzlülük ölçümüyle R_a değeri 2,850 μm olarak ölçülmüştür. Şekil 3.(c)'de ise $\kappa=90^\circ$ iken meydana gelen titreşim verilerinin yine Spektrum Yoğunluğu-Frekans grafiğinde yaklaşık olarak 5 civarında gerçekleştiği görülmüştür. Ya-

pılan pürüzlülük ölçümüyle R_a değeri 4,099 μm olarak ölçülmüştür. Giderek artan yoğunlaşma değeri tirlama titreşiminin, yaklaşma açısı arttıkça arttığını göstermektedir. Buna paralel olarak pürüzlülük değeri de artmıştır.

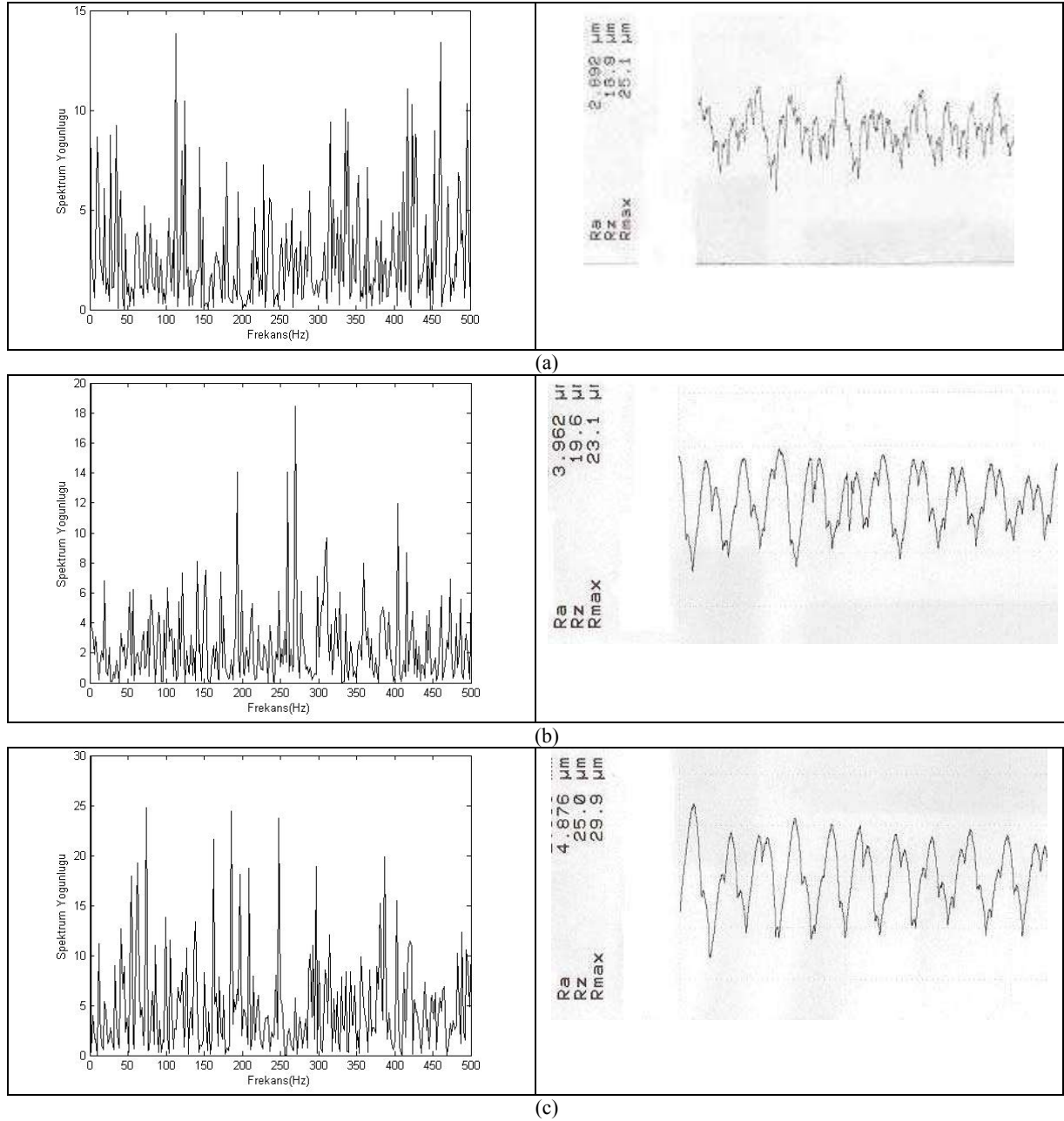


Şekil 3. Yaklaşma açısı ve talaş açısı değişimlerin pürüzlülüğe etkileri

- a) $\kappa=60^\circ$, $r=0,4$, $\gamma=-6^\circ$, $L=30$ mm, $R_a=2,283$ μm
b) $\kappa=75^\circ$, $r=0,4$, $\gamma=-6^\circ$, $L=30$ mm, $R_a=2,850$ μm
c) $\kappa=90^\circ$, $r=0,4$, $\gamma=-6^\circ$, $L=30$ mm, $R_a=4,099$ μm

Talaş açısı $\gamma=-9^\circ$ ve yaklaşma açısı $\kappa=60^\circ$, 75° , 90° değerleri kabul edilerek yapılan deneylere ait grafikler Şekil 4'te gösterilmiştir. Şekil 4.(a)'da $\kappa=60^\circ$ iken yapılan talaş kaldırma işleminde oluşan titreşimlerin Spektrum Yoğunluğu-Frekans grafiğinden anlaşıldığı gibi ortalama 3 civarında gerçekleşmiştir. Yapılan pürüzlülük ölçümüyle R_a değeri 2,892 μm olarak ölçülmüştür. Şekil 4.(b)'de $\kappa=75^\circ$ iken yapılan talaş kaldırma işleminde oluşan titreşim verilerinin Spektrum Yoğunluğu-Frekans grafiğindeki yoğunlaşma yaklaşık olarak 4 civarında gerçekleşmiştir. Yapılan pürüzlülük ölçümüyle R_a değeri 3,962 μm olarak ölçülmüştür. Şekil 4.(c)'de ise $\kappa=90^\circ$ iken meydana

gelen titreşim verilerinin yine Spektrum Yoğunluğu-Frekans grafiğinde yaklaşık olarak 6 civarında gerçekleştiği görülmüştür. Yapılan pürüzlülük ölçümüyle R_a değeri 4,876 μm olarak ölçülmüştür. Giderek artan yoğunlaşma değeri tirlama titreşiminin, yaklaşma açısı arttıkça arttığını göstermektedir. Bunun sonucunda yüzey pürüzlülüğünün (R_a) artıyor olması beklenir. Beklentiye paralel olarak, her deney sonunda yapılan pürüzlülük ölçüm işleminden elde edilen değerler artış göstermiştir.



Şekil 4. Yaklaşma açısı ve talaş açısı değişimlerin pürüzlülüğe etkileri

- a) $\kappa=60^\circ$, $r=0,4$, $\gamma=-9^\circ$, $L=30$ mm, $R_a=2,892$ μm
- b) $\kappa=75^\circ$, $r=0,4$, $\gamma=-9^\circ$, $L=30$ mm, $R_a=3,962$ μm
- c) $\kappa=90^\circ$, $r=0,4$, $\gamma=-9^\circ$, $L=30$ mm, $R_a=4,876$ μm

4. SONUÇLAR

- İş parçası üzerinde oluşan yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerinin ölçülmesi sonucunda, pürüzlülüğün işleme sırasında meydana gelen tırlama titreşimi şiddetiyle orantılı olduğu tespit edilmiştir.
- Deneylerde uygulanan yaklaşma ve talaş açılarına göre en iyi yüzey pürüzlülüğü yaklaşma açısının $\kappa=60^\circ$, talaş açısının $\gamma=-3^\circ$, olacak şekilde ayarlanmasıyla yapılan deneyde gerçekleştiği görülmüştür.

- Yaklaşma açısı $\kappa=60^\circ$ 'ye ayarlıyken ve talaş açısı $\gamma=-3^\circ$, $\gamma=-6^\circ$, $\gamma=-9^\circ$ 'ye düşürüldükçe yapılan deneylerde meydana gelen pürüzlülük değeri, %12 oranında artış göstermiştir. Yaklaşma açısı $\kappa=75^\circ$ iken aynı koşullar sağlanarak yapılan deneylerdeki pürüzlülük değeri, %16 ve Yaklaşma açısı $\kappa=90^\circ$ iken yapılan deneylerdeki pürüzlülük değeri %20 oranında artış göstermiştir.

Yapılan bu çalışma, "Tornalamada Takım Geometrisi ve Tırlama Titreşimlerinin Yüzey

Pürüzlülüğüne Etkileri” isimli yüksek lisans tezinden faydalanılarak hazırlanmıştır (11).

5. KAYNAKLAR

1. Akün, F., “Tezgah Titreşimlerinin İşlenen Parçanın Durumu Üzerine Etkisi”, İ.T.Ü Kütüphanesi, İstanbul, 1956.
2. Yuan, Z.J., Zhou, M. and Dong, S., “Effect of Diamond Tool Sharpness On Minimum Cutting Thickness and Cutting Surface Integrity in Ultra precision Machining”, Journal of Material Processing Technology, 62, pp. 327-330, 1996.
3. Jang, D.Y., Choi, Y.G., Kim, H.G., Hsiao, A., “Study of The Correlation Between Surface Roughness and Cutting Vibrations To Develop An Online Roughness Measuring Technique In Hard Turning”, International Journal of Machine Tools manufacture, Vol. 36(4), pp. 453-464, 1996.
4. Mer, B., Diniz, A.E., “Correlating Tool Wear, Tool Life, Surface Roughness and Tool Vibration in Finish Turning With Coated Carbide Tools”, Wear pp. 173, 137-144, 1994.
5. Albrecht, P., “Dynamics of Metal Cutting Process”, Journal of Engineering for Industry, Trans. of the ASME, pp. 429-441, 1965.
6. Güden, K., “Meyil Açısı ve Yaklaşma Açısının Kesme Kuvvetleri Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, 2005.
7. Knight, W.A., “Chatter in Turning: Some Effects of Tool Geometry and Cutting Conditions”, Int. J. Mach. Tool Des. Res., vol. 12, Pergamon Press, pp. 201-220, 1972.
8. Günay, M., Şeker, U., “Kesici Takım Talaş Açısının İlerleme Kuvveti Üzerindeki Etkisinin Araştırılması”, Politeknik dergisi, cilt 8, sayı 4, s.323-328, 2005.
9. Shaw, M. C., “Mechanics of orthogonal cutting”, Metal Cutting Principles, Oxford University Press, London, (1984).
10. Duran, A., Acır, A., “HSS Torna Kalemindeki Talaş Açısının Kesme Kuvvetlerine Etkisi”, Politeknik dergisi, cilt 7, sayı 3, 2004
11. Neşeli, S., “Tornalamada Takım Geometrisi ve Tirlama Titreşimlerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, S. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2006