

ORTOGONAL TALAŞ KALDIRMADA KESİCİ AĞIZ YUVARLATMA YARIÇAPININ KESME KUVVETLERİNE ETKİLERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

Alper Uysal^{a,*} ve Erhan Altan^b

^{a,*} Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü

Tel: 0-212-3832807 auysal@yildiz.edu.tr İstanbul/TÜRKİYE

^b Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü

Tel: 0-212-3832797 ealtan@yildiz.edu.tr İstanbul/TÜRKİYE

Özet

Bütün kesici takımların kesen ağızlarında, çok keskin bilenseler de, kesici ağız yuvarlaklığı bulunmaktadır. Kesici ağız yuvarlaklığının talaş kaldırmadaki önemi, her geçen gün daha fazla görülmektedir. Kesici ağız yarıçapının talaş kaldırmaya olan etkileri, çeşitli araştırmacılar tarafından incelenmektedir. Bu çalışmada, ortogonal talaş kaldırma işlemlerinde kesici ağız yuvarlatma yarıçapının kesme kuvveti, radyal kuvvet ve bileşke kuvvet üzerine etkileri deneysel incelenmiştir. Ani durdurma cihazı kullanılarak yapılan deneylerde, kesici ağız yuvarlatılmamış kabul edilen ve kesici ağız 50 µm, 100 µm ve 150 µm yuvarlatılmış kesici takımlar kullanılmıştır. Deneyler, üç farklı kesme derinliği (100 µm, 150 µm ve 200 µm) ve kesme hızı (0,25 m/dak, 0,5 m/dak ve 0,75 m/dak) ile iki farklı talaş açısı (2° ve 6°) için gerçekleştirilmiş ve kesici ağız yuvarlatma yarıçapının kesme parametreleri ile birlikte kesme kuvvetlerine olan etkileri belirlenmiştir. Ayrıca, ani durdurma cihazı kullanılarak elde edilen numunelerde mikro yapı incelemeleri yapılmış ve kesici ağız yuvarlatma yarıçapı ile takımın kesen ağzının önünde oluşan ölü bölgenin gelişimi ve kuvvetlerle ilişkisi belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Kesici ağız yuvarlatılmış takım, kesme kuvvetleri, ölü bölge

1. Giriş

Teknolojik gelişmeler ile birlikte mikro talaş kaldırma işlemleri de önem kazanmakta ve kesici takımların ağız yarıçapları mikro talaş kaldırma işlemi üzerine önemli rol oynamaktadır. Albrecht (1960) tarafından gerçekleştirilen kesici ağızların doğal yarıçaplarının ölçüldüğü bir çalışmada, bu yarıçapların 0,00254 mm ile 0,0254 mm arasında olduğu belirlenmiştir. Palmer ve Yeo (1963) ise yaklaşık 0,0076 mm olduğunu savundukları doğal kesici ağız yarıçapının kesici ağzın geri kalan kısmı ile karşılaştırıldığında fark edilebilir bir ölçü olduğunu saptamışlardır. Okushima ve Kakino (1969) yaptıkları çalışmada, kesici kenarın tam olarak keskin bir şekilde üretilmemesinden dolayı her kesici takımın kesici ağzının belirli bir yarıçapa sahip olduğunu savunmuşlardır. Araştırmacılar, keskin bir uç üretilebilse de, kesme işlemi başladığında hızlı bir şekilde köreleceğini ve kesici ağız yarıçapının kesme işlemi devam ederken artacağını kabul etmişlerdir. Kesici takımında oluşan bileşke kuvvetin, talaş yüzeyinde oluşan kesme kuvveti ile kesici ağız yarıçapı etkisiyle oluşan kuvvetin bileşkesi olduğunu belirtmişlerdir. Schimmel (1999) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, kesici ağız yarıçaplarının kesme kuvveti, radyal kuvvet ve yanal kuvvet üzerine etkisi incelenmiştir. Thiele ve Melkote (1999) farklı kesici ağız geometrilerine sahip kübik bor nitrür (CBN) kesici takımlar kullanarak kesme ve radyal kuvvetleri incelemişlerdir. Araştırmacılar, kesici ağız geometrisinin kuvvet bileşenleri üzerinde çok önemli bir etkisi olduğunu ve iş parçası sertliğinin kuvvet bileşenleri üzerine etkisinin daha çok 93,98 µm ve 121,98 µm'lik kesici ağız yuvarlatma yarıçapları için anlamlı olduğunu

belirtmişlerdir. Kountanya ve Endres (2001) yaptıkları çalışmada, kesici ağız yarıçapları 5 – 150 µm arasında olan takımlar kullanmışlar ve büyük kesici ağız yarıçaplı takımlar ile talaş kaldırma işlemlerinde negatif talaş açısı etkisinden dolayı talaş kıvrılmasının daha fazla olduğunu ve pirinç iş parçası malzemesi için ölü bölgenin oluştuğunu belirlemişlerdir. Özel (2003) tarafından yapılan çalışmada, kesici ağız geometrisinin işlem parametrelerine ve kesici takım performansına olan etkileri sonlu elemanlar simülasyonları ve ortogonal talaş kaldırma testleri ile incelenmiştir. Araştırmacı tarafından çalışılan koşullarda, kesici ağız yuvarlatılmış CBN kesici takımların pahlı CBN kesici takımlara göre daha düşük kesme kuvvetleri verdiği ancak yüksek talaş yüzeyi sıcaklıklarına sebep olduğu gözlemlenmiştir. Wang (2003) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, talaş kaldırma işlemleri sırasında oluşan kuvvetlere kesici ağız yuvarlatma yarıçapının etkileri incelenmiştir. Kesme ve radyal kuvvetlerin, kesici ağız yarıçapının ve kesme derinliğinin artmasıyla arttığı, kesme hızının artmasıyla azaldığı görülmüştür. Yen vd. (2004) yaptıkları çalışmada, ortogonal talaş kaldırma işleminde kesici ağız yuvarlatılmış ve pah kırılmış takımların, kesme kuvvetleri üzerine etkilerini sonlu elemanlar yöntemi kullanarak incelemişlerdir. Kesme kuvveti ve radyal kuvvet değerlerinin kesici ağız yarıçapı arttıkça arttığı görülmüştür ve bu durum malzeme kayması için daha büyük kuvvetlere ihtiyaç duyulmasına sebep olan kesici ağız kütlüğünün artması ile açıklanmıştır. Almeida vd. (2005) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, CVD elmas kaplamalı kesici ağız yuvarlatılmış, pah kırılmış ve sivri silisyum nitrür kesici takımlar kullanılarak tornalama işleminde oluşan kesme kuvvetleri incelenmiştir. Kesici ağız geometrisine göre seçilen çalışma şartlarında, en küçük kesme kuvvetleri sivri takımlarda en büyük kesme kuvvetleri ise kesici ağız yuvarlatılmış takımlarda görülmüştür. Fang ve Wu (2005) tarafından yapılan çalışmada, kesici ağız yuvarlatılmış ve pah kırılmış takımlarla ortogonal talaş kaldırma sonucu oluşan kesme kuvveti ve radyal kuvvet değerlerini deneysel olarak incelemişlerdir. Kesici ağız pah kırılmış takımların, çalışmada belirlenmiş kesme koşulları altında, kesici ağız yuvarlatılmış takımlara göre daha büyük kesme kuvvetlerine neden olduğu görülmüştür. Waldrof (2006) kesici ağız yuvarlatma yarıçapının talaş kaldırma kuvvetleri üzerine etkilerinin belirlemek amacıyla tornalama deneyleri gerçekleştirmiştir. Kesici ağız yarıçapı arttıkça kesme kuvveti ve radyal kuvvet değerlerinin arttığını belirlemiştir. Woon vd. (2008) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, mikro talaş kaldırma işlemi için sonlu elemanlar analizleri yapılmış ve talaş oluşum mekanizması incelenmiştir. Araştırmacılar analiz sonuçlarından, kesme derinliğinin kesici ağız yarıçapına oranının mikro talaş kaldırmada çok önemli bir parametre olduğunu ve talaş oluşumu, malzeme deformasyonu ve gerilim dağılımlarını oldukça etkilediğini elde etmişlerdir. Fang ve Wu (2009) tarafından yapılan çalışmada, Ti-6Al-4V titanyum ve Inconel 718 nikel alaşımlarının, kesici ağız geometrisinin önemli rol oynadığı yüksek hızda talaşlı işlenmesi sırasında oluşan kesme ve radyal kuvvetlerin araştırılması ve karşılaştırılması üzerine deneysel bir çalışma yapılmıştır. Kesici ağız yarıçapı 60 µm olan takımlar kullanılarak gerçekleştirilen deneyler sonucunda, kesme hızı ve ilerleme arttırıldığında her iki malzeme için de kesme kuvvetinin, radyal kuvvetin ve bileşke kuvvetin arttığı görülmüştür.

Bu çalışmada, ani durdurma cihazında gerçekleştirilen mikro talaş kaldırma işlemlerinde kesici ağız yuvarlatma yarıçapının kesme kuvveti, radyal kuvvet ve bileşke kuvvet üzerine etkileri incelenmiştir. Deneylerde, kesici ağız yuvarlatılmamış (sivri) ve kesici ağız 50 µm, 100 µm ve 150 µm yuvarlatılmış kesici takımlar, 100 µm, 150 µm ve 200 µm kesme derinlikleri, 0,25 m/dak, 0,5 m/dak ve 0,75 m/dak kesme hızları ve 2° ve 6° talaş açısı değerleri kullanılmıştır. Ayrıca ani durdurma cihazından elde edilen numuneler üzerinde mikro yapı incelemeleri yapılmış ve kesici kenar yuvarlatma yarıçapı ile takım önünde oluşan ölü bölgenin gelişimi incelenmiştir.

2. Deneysel Çalışmalar

2.1. İş Parçası Malzemesi

Talaş kaldırma işlemlerinde iş parçası malzemesi olarak, kolay sıcak ve soğuk şekillendirilebildiği ve talaş kaldırma işlemi sırasında oluşan kayma bölgelerinin mikroskop altında incelenebilmesine olanak sağlamasından dolayı α pirinci olarak adlandırılan CuZn30 (Ms70) pirinç malzeme tercih edilmiştir. Ayrıca bu malzeme ile yapılan ön deneylerde, yığılma ağız oluşumu ile karşılaşılmaması da tercih edilmesinde önemli bir faktör olmuştur.

Çizelge 1’de deneylerde kullanılan CuZn30 iş parçası malzemesinin kimyasal bileşimi verilmektedir. Kullanılan iş parçaları, lazer ile kesilerek 32x30x1,5 mm boyutlarında hazırlanmıştır.

Çizelge 1 Deneylerde kullanılan CuZn30 iş parçası malzemesinin kimyasal bileşimi

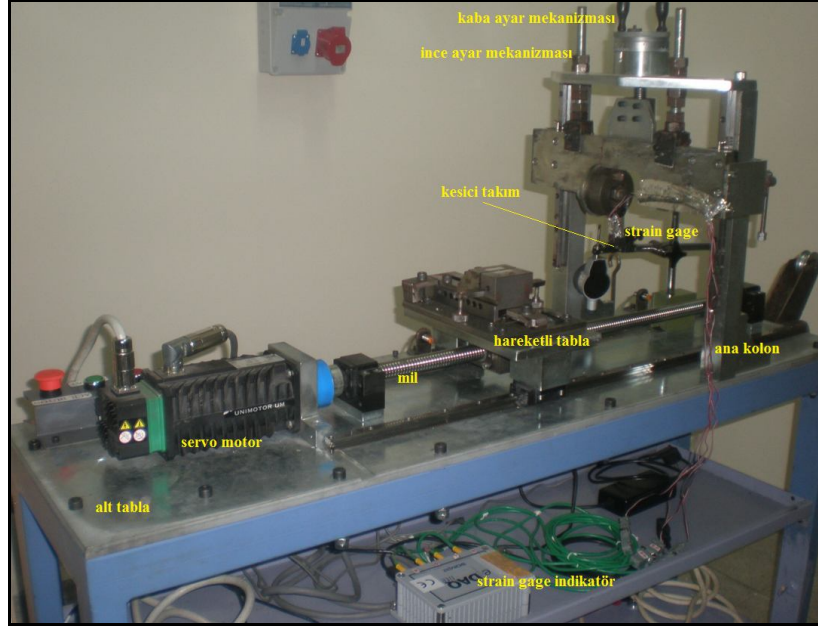
Alaşım	Cu [%]	Zn [%]	Pb [%]	Fe [%]	Ni [%]
CuZn30	69,73	30,216	0,006	0,008	0,04

Kesici Takımlar

Yapılan deneysel çalışmalarda, TPGN160308 kesici takım ucu kullanılmıştır. Kullanılan takımların kesici ağız yuvarlıkları 50 μ m, 100 μ m ve 150 μ m olup sırasıyla TPGN160308-005, TPGN160308-010 ve TPGN160308-015 kodları ile temsil edilmektedir. Kesici takım boşluk açısı 11°’dir. Kesici ağız yuvarlatılmış takımlar Böhler Sert Maden firması tarafından üretilmiş ve kesici ağız yuvarlaklık kontrolleri aynı firma tarafından yapılmıştır.

2.3. Deney Ekipmanları

Deneyler, Şekil 1’de görülen planyalama esaslı talaş kaldıran bilgisayar kontrollü Ani Durdurma Cihazı (ADC) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Genel anlamda ani durdurma cihazları, talaşın oluşmaya başladığı an ile iş parçasından koptuğu an arasındaki kısa zaman aralığında talaş kaldırma işlemi durdurarak talaş oluşum numunelerinin elde edilmesini sağlayan mekanizmalardır. Kullanılan ani durdurma cihazı ile kuvvet ölçümü yapılabilmekte, farklı kesme hızlarında ve kesme derinliklerinde çalışabilmektedir. Ani duruş işlemi için gerekli duruş mesafesi ve kesme hızı bilgisayar kontrolüyle gerçekleşmektedir.



Şekil 1. Planyalama esaslı talaş kaldıran ani durdurma cihazı

Şekil 1'deki ani durdurma cihazında, tek eksenli kesme hareketi ve hassas kesme derinliği hareketi olarak iki ana hareket mevcuttur. Maksimum kesme hızı (hareketli tablanın ilerleme hızı) 17,5 m/dak ve duruş süresi 0,01 sn olan ani durdurma cihazı ile pirinç malzeme için işlenebilecek maksimum talaş kalınlığı 2 mm ve maksimum talaş genişliği 1,5 mm'dir. Ani durdurma cihazında kesme derinliği verebilmek ve iş parçasının paralelliğini sağlamak için Mitutoyo 543-450 B dijital komparatör kullanılmıştır.

Talaş kaldırma işlemleri sırasında kuvvet ölçümlerinin yapılabilmesi için çeyrek Wheatsone köprüsüne uygun takım tutucunun dört tarafına yapıştırılmış tek eksenli 4 adet gerinme ölçer (strain gage) ve gerinme ölçer indikatörü olarak 4 kanal girişli eDAQ-lite kullanılmıştır. Ölçüm değerlerinin doğruluğu için kablo bağlantıları soketli olup, bu sayede gerinim değerlerindeki dalgalanmalar ve hatalı ölçüm olasılığı azaltılmıştır. İndikatörden verileri almak, kanal ayarlarını yapmak ve gerinme ölçerleri tanımlamak için CE eDAQ V3.86a programı kullanılmıştır. Bu program kullanılarak gerinim ölçerler tanımlanabilmekte, seçilen köprü tipine göre hesaplamalar yapılabilmekte ve kaydedilmiş test ayarlarına göre veri alımı sağlanabilmektedir. Elde edilen gerinim grafiklerindeki değerlerin okunması ve değerlendirilmesi için InField 1.6.2 programı kullanılmıştır.

Kayma bölgelerinin ve ölü bölgenin incelenmesi amacıyla ani durdurma cihazı kullanılarak talaşın iş parçasından kopmadığı numuneler elde edilmiştir. Bu numuneler zımparalama, parlatma ve dağlama işlemlerinden geçirilerek mikro yapı görüntüleri elde edilmiştir. Zımparalama ve parlatma işlemleri, Metaserv 2000 Grinder/Polisher cihazında önce sırasıyla 800, 1000 ve 1200'lük zımparalar kullanılarak zımparalama ve sonra da 1 µm elmas pasta kullanılarak parlatma işlemleri ile gerçekleştirilmiştir. Numunelerin parlatılma işlemleri tamamlandıktan sonra 100 ml saf su, 96 ml etanol, 59 g demir (III) klorür bileşiminden oluşan dağlama reaktifi [15] kullanılarak yaklaşık 25 sn dağlanmışlardır. Dağlama yapılan pirinç numunelerinin incelenmesinde SOIF XJP-2 optik mikroskop ve resimlerin çekilmesinde Ogatech OG 5110 dijital fotoğraf makinesi kullanılmıştır.

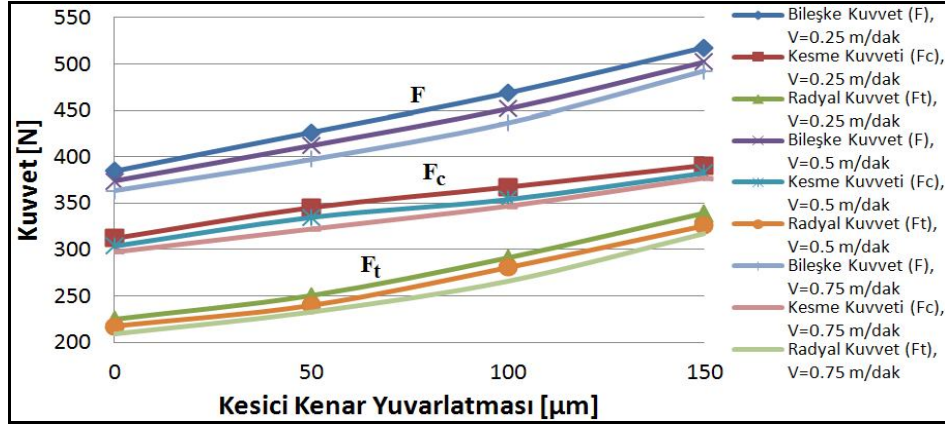
2.4. Talaş Kaldırma Parametreleri ve Deneylelerin Uygulanışı

Yapılan deneysel çalışmalarda, kesici ağız yuvarlatılmamış ve kesici ağız yarıçapı $r=50 \mu\text{m}$, $r=100 \mu\text{m}$ ve $r=150 \mu\text{m}$ olan takımlar kullanılmıştır. Talaş kaldırma işlemleri, 0,25 m/dak, 0,5 m/dak ve 0,75 m/dak kesme hızlarında (V), 100 µm, 150 µm ve 200 µm kesme derinliklerinde (t_1) ve talaş açısı (γ) 2°

ve 6° olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Kesme, radyal ve bileşke kuvvetlerinin elde edilmesi için toplam 72 deney yapılmış, aşınmanın deney sonuçlarını ve ölçümleri etkilememesi için her deney yeni bir takımla yapılmıştır.

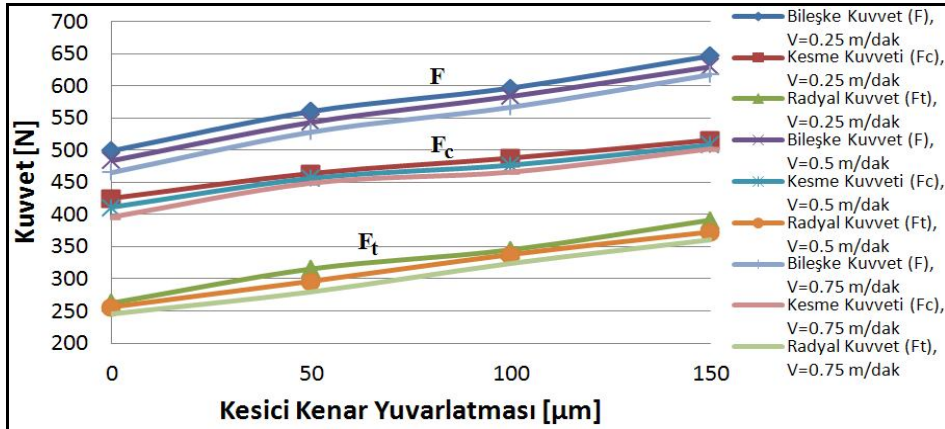
Deneysel Sonuçlar

Deneylerden elde edilen kuvvet değerlerinin kesici kenar yuvarlatması ile değişimine ait grafikler Şekil 2 – Şekil 7 arasında verilmektedir. Kesici kenar yuvarlatması arttıkça kesme kuvveti (F_c), radyal kuvvet (F_t) ve bileşke kuvvet (F) değerlerinin arttığı görülmektedir. Ayrıca grafiklerden kesme derinliği arttıkça kesme kuvveti, radyal kuvvet ve bileşke kuvvet değerlerinin de arttığı görülmektedir.



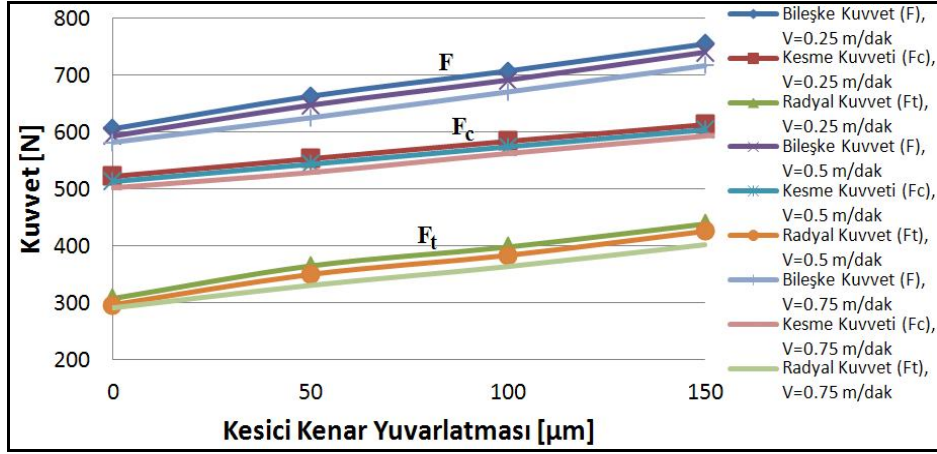
Şekil 2. Kesme, radyal ve bileşke kuvvetlerinin kesici kenar yuvarlatması ile değişimi

$$t_1 = 100 \mu\text{m}, \gamma = 2^\circ$$

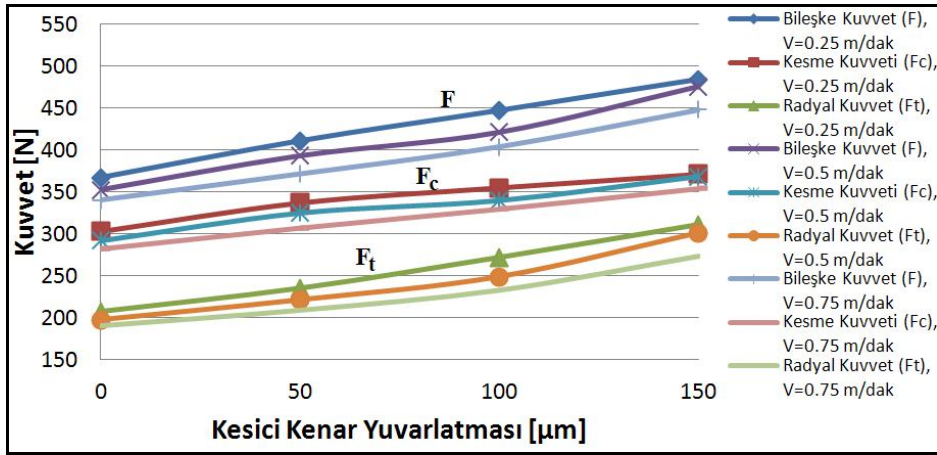


Şekil 3. Kesme, radyal ve bileşke kuvvetlerinin kesici kenar yuvarlatması ile değişimi

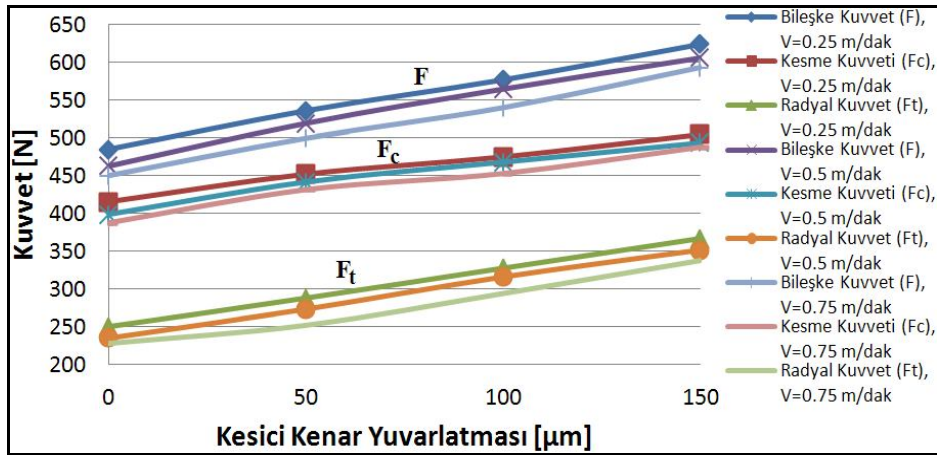
$$(t_1 = 150 \mu\text{m}, \gamma = 2^\circ)$$



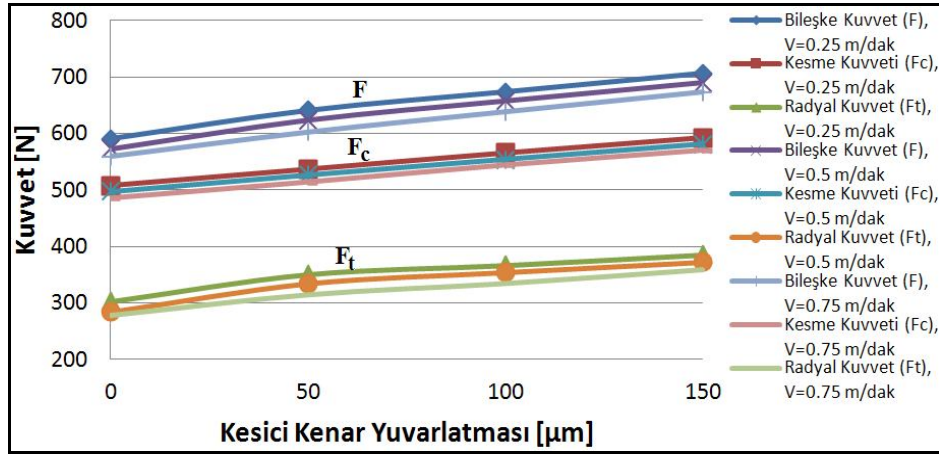
Şekil 4. Kesme, radyal ve bileşke kuvvetlerinin kesici kenar yuvarlatması ile değişimi ($t_1= 200 \mu\text{m}$, $\gamma= 2^\circ$)



Şekil 5. Kesme, radyal ve bileşke kuvvetlerinin kesici kenar yuvarlatması ile değişimi ($t_1= 100 \mu\text{m}$, $\gamma= 6^\circ$)

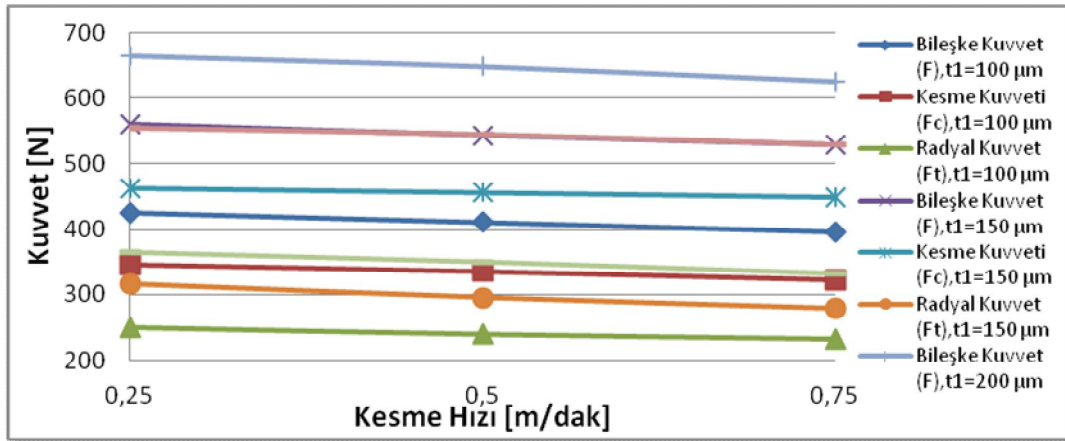


Şekil 6. Kesme, radyal ve bileşke kuvvetlerinin kesici kenar yuvarlatması ile değişimi ($t_1= 150 \mu\text{m}$, $\gamma= 6^\circ$)

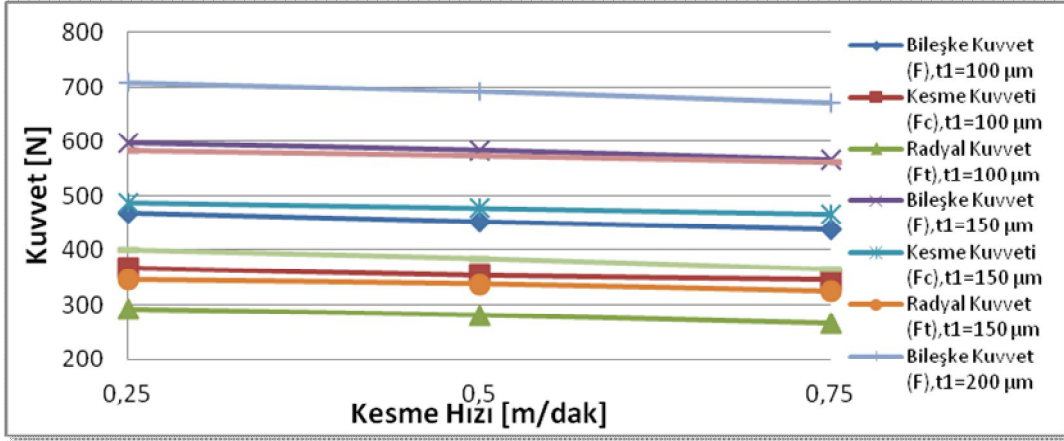
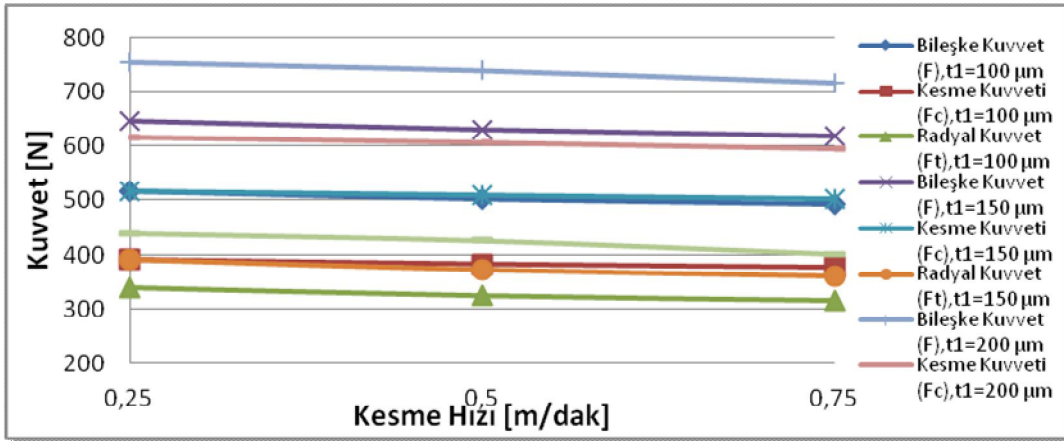
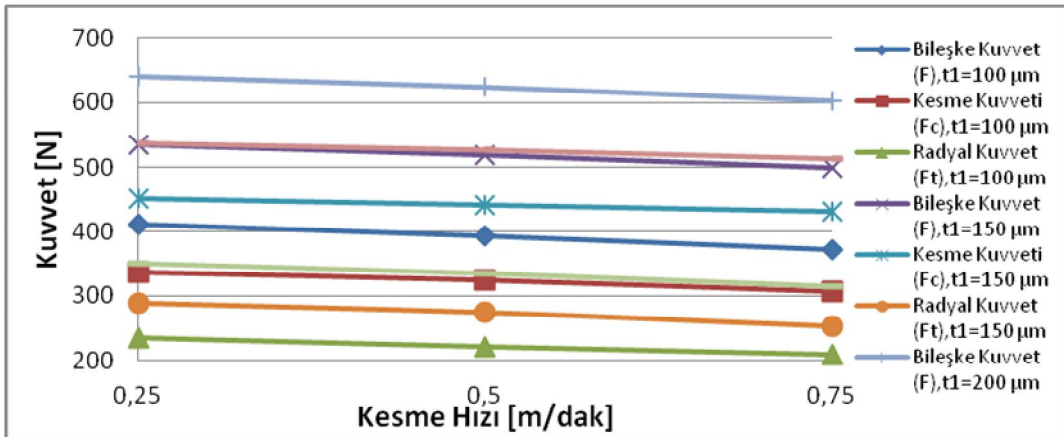


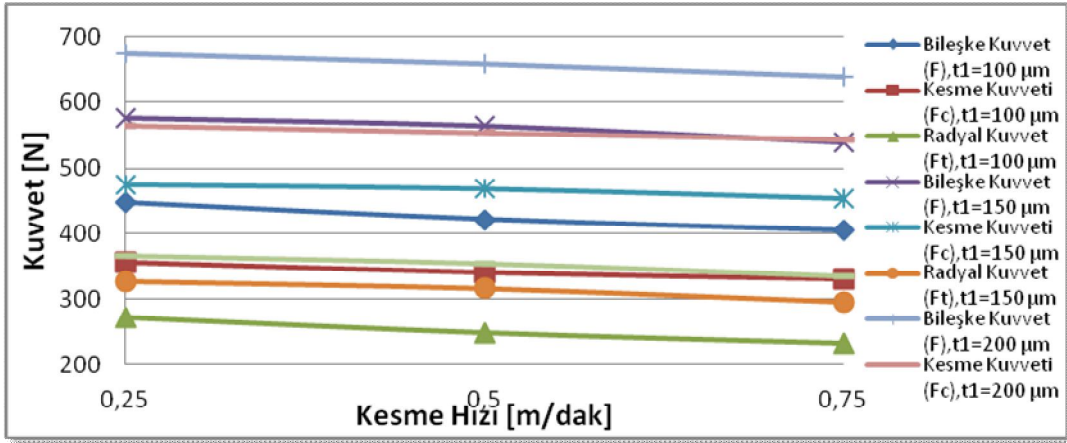
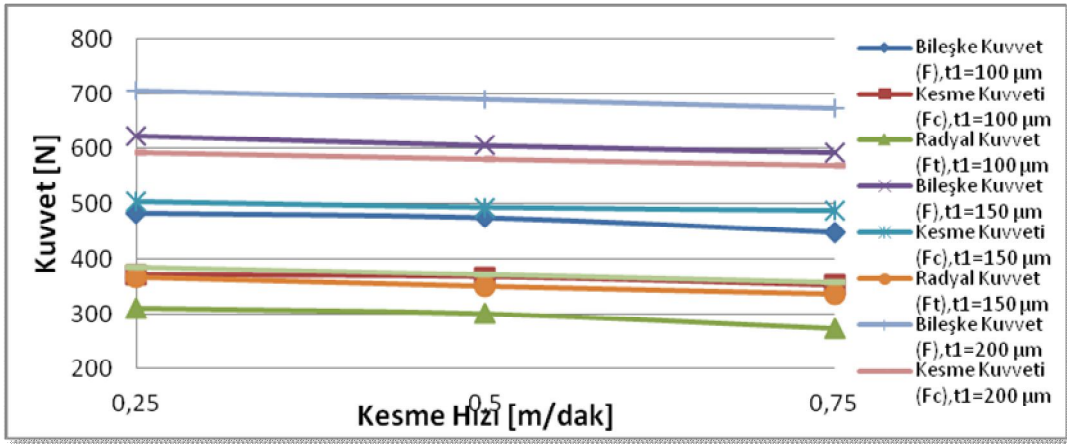
Şekil 7. Kesme, radyal ve bileşke kuvvetlerinin kesici kenar yuvarlatması ile değişimi ($t_1 = 200 \mu\text{m}$, $\gamma = 6^\circ$)

Kesme kuvveti, radyal kuvvet ve bileşke kuvvet değerlerinin kesme hızı ile değişimine ait grafikler Şekil 8 – Şekil 13 arasında verilmektedir. Kesme hızı arttıkça kuvvet değerlerinde bir miktar azalma görülmektedir. Ayrıca grafiklerden talaş açısı arttıkça kesme kuvveti, radyal kuvvet ve bileşke kuvvet değerlerinin azaldığı görülmektedir.

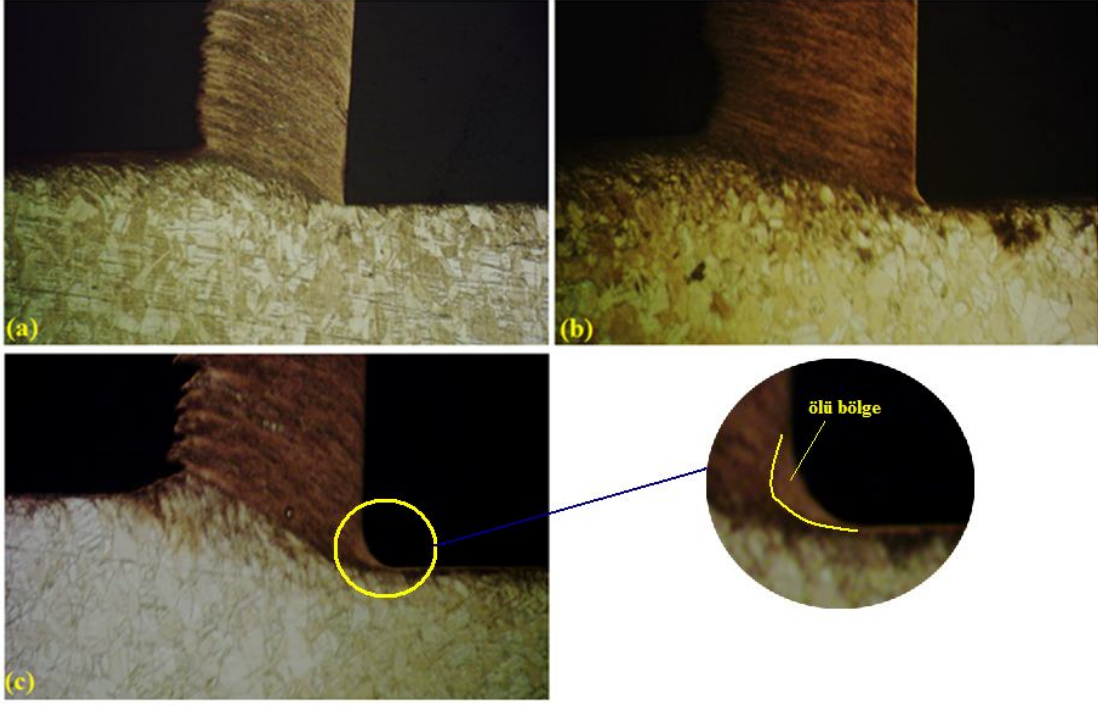


Şekil 8. Kesme, radyal ve bileşke kuvvetlerinin kesme hızı ile değişimi ($r = 50 \mu\text{m}$, $\gamma = 2^\circ$)

Şekil 9. Kesme, radyal ve bileşke kuvvetlerinin kesme hızı ile değişimi ($r= 100 \mu\text{m}$, $\gamma= 2^\circ$)Şekil 10. Kesme, radyal ve bileşke kuvvetlerinin kesme hızı ile değişimi ($r= 150 \mu\text{m}$, $\gamma= 2^\circ$)Şekil 11. Kesme, radyal ve bileşke kuvvetlerinin kesme hızı ile değişimi ($r= 50 \mu\text{m}$, $\gamma= 6^\circ$)

Şekil 12. Kesme, radyal ve bileşke kuvvetlerinin kesme hızı ile değişimi ($r= 100 \mu\text{m}$, $\gamma= 6^\circ$)Şekil 13. Kesme, radyal ve bileşke kuvvetlerinin kesme hızı ile değişimi ($r= 150 \mu\text{m}$, $\gamma= 6^\circ$)

Ani durdurma cihazında gerçekleştirilen deneylerden elde edilen numunelerinin mikroskopla incelenmesi sonucunda kesici ağız yuvarlatılmış takımlarda ölü bölgeye rastlanmaktadır (Şekil 14b-c). Ayrıca kesici kenar yuvarlatmasının olmadığı takımlarda ise ölü bölgenin oluşmadığı görülmektedir (Şekil 14a). Kesici takım önünde oluşan ölü bölgenin kesici kenar yuvarlatmasının negatif talaş etkisinden oluştuğu, Şekil 14a'da verilen ölü bölgenin oluşmadığı kesici kenarı yuvarlatılmamış takım ile işlenmiş parçaya ait mikro yapı görüntüsünden anlaşılmaktadır. Kesici ağız yuvarlatma yarıçapı arttıkça kesici takım önünde oluşan ölü bölge artmakta ve kesme kuvvetlerinin de artmasına neden olmaktadır.



Şekil 14. Kesici kenar yuvarlatması ile ölü bölge değişimi ($V= 0,5$ m/dak, $t_1= 150$ μm , $\gamma= 2^\circ$)
 a) Sivri takım, b) $r= 50$ μm , c) $r= 100$ μm

3. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada, kesici ağız yuvarlatılmış takımlarla mikro talaş kaldırmada oluşan kesme kuvveti, radyal kuvvet ve bileşke kuvvet değerlerinin, kesici kenar yuvarlatma yarıçapına, kesme derinliğine, kesme hızına ve talaş açısına göre değişimleri deneysel olarak incelenmiştir. Ayrıca ani durdurma cihazında gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen numunelerin mikro yapı görüntüleri incelenmiş ve kesici kenar yuvarlatmasının ölü bölge oluşumu üzerine etkisine bakılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmektedir.

Kesici kenar yuvarlatma yarıçapı arttıkça kesme kuvveti (F_c), radyal kuvvet (F_r) ve bileşke kuvvet (F) değerleri artmaktadır.

Kesme derinliği arttıkça kesme kuvveti (F_c), radyal kuvvet (F_r) ve bileşke kuvvet (F) değerleri artmaktadır.

Kesme hızı arttıkça kesme kuvveti (F_c), radyal kuvvet (F_r) ve bileşke kuvvet (F) değerleri azalmaktadır.

Talaş açısı arttıkça kesme kuvveti (F_c), radyal kuvvet (F_r) ve bileşke kuvvet (F) değerleri azalmaktadır.

Kesici kenar yuvarlatma yarıçapı arttıkça negatif talaş açısı etkisinden dolayı ölü bölge büyümekte ve bu durum kesme kuvvetlerinin artmasına neden olmaktadır.

Çalışma pahlı takımlar kullanılarak yapılan deneyler ile genişletilerek, kuvvet değerlerindeki değişimin ve ölü bölge oluşumunun kesici ağız yuvarlatılmış takımlar ile karşılaştırılması yapılabilir.

4. Teşekkür

Bu çalışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiştir (Proje No: 29-06-01-DOP01).

Kaynaklar

Albrecht P., New developments in the theory of metal cutting process, Journal of Engineering for Industry, 82, 1960, 348-358.

Palmer WB., Yeo RC., Metal flow near the tool point during orthogonal cutting with a blunt tool, 4th International MTDR Conference, Oxford, 1963, 61-71.

Okushima K., Kakino Y., Study on the generating of machined surface, Bulletin of Japan Society of Mechanical Engineers, 12 (49), 1969, 141-148.

Schimmel RJ., Analyzing and modeling the effects of tool edge geometry in machining, Doktora Tezi, Michigan Üniversitesi, 1999.

Thiele JD., Melkote SN., Effect of cutting edge geometry and workpiece hardness on surface generation in the finish hard turning of AISI 52100 steel, Journal of Materials Processing Technology, 94, 1999, 216-226.

Kountanya RK., Endres WJ., A high-magnification experimental study of orthogonal cutting with edge-honed tools, Proceedings of 2001 ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, 11-16 Kasım 2001, New York, 1-8.

Özel T., Modeling of hard part machining: effect of insert edge preparation in CBN cutting tools, Journal of Materials Processing Technology, 141, 2003, 284-293.

Wang W., The experimental investigation on the effect of tool edge radius in orthogonal metal cutting, Yüksek Lisans Tezi, Utah State Üniversitesi, 2003.

Yen YC., Jain A., Altan T., A finite element analysis of orthogonal machining using different tool edge geometries, Journal of Materials Processing Technology, 146, 2004, 72-81.

Almeida FA., Oliveira FJ., Sousa M., Fernandes AJS., Sacramento J., Silva RF., Machining hardmetal with CVD diamond direct coated ceramic tools: effect of tool edge geometry. Diamond & Related Materials, 14, 2005, 651-656.

Fang N. ve Wu Q., The effects of chamfered and honed tool edge geometry in machining of three aluminum alloys, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 45, 2005, 1178-1187.

Waldorf DJ., A simplified model for ploughing forces in turning, Journal of Manufacturing Processes, 8 (2), 2006, 76-82.

Woon KS., Rahman M., Fang FZ., Neo KS., Liu K., Investigations of tool edge radius effect in micromachining: a FEM simulation approach, Journal of Materials Processing Technology, 195, 2008, 204-211.

Fang N. ve Wu Q., A comparative study of the cutting forces in high speed machining of Ti-6Al-4V and inconel 718 with a round cutting edge tool, Journal of Materials Processing Technology, 209, 2009, 4385-4389.

ASM Handbook Vol. 9, Metallography and Microstructures, 2004.