

Kesici Uç Pah Açısının Kesme Kuvvetleri ve Kesici Takım Gerilmelerine Etkisi

Abdullah KURT, Ulvi ŞEKER
Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makina Eğitimi Bölümü,
06500 Teknikokullar, ANKARA

ÖZET

Bu çalışmada, AISI 52100 rulman çeliğinin bitirme torna işleminde kullanılan PCBN ucun pah açısının kesme kuvvetleri ve kesici takım gerilmeleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu amaçla kesme deneyleri yapılmış ve elde edilen kesme kuvveti verilerine göre sonlu elemanlar metoduna dayalı ANSYS paket programı kullanılarak uçların 2 boyutlu sonlu eleman analizleri gerçekleştirilmiştir. Kesme deneyleriyle elde edilen kesme kuvveti ölçümlerinden ve yapılan sonlu eleman analizlerinden, pah açısının kesme kuvvetleri ve kesici takım gerilmeleri üzerinde önemli bir etkisinin olduğu görülmüştür. Pah açısının özellikle pasif kuvvet ve von Mises gerilme dağılımı üzerinde daha etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Sonlu eleman analiz sonuçlarından AISI 52100 rulman çeliğin bitirme torna işleminde kritik pah açısının 20° olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: PCBN, kesme kuvvetleri, kesici takım gerilmeleri, ANSYS

The Effect of Cutting Tool Chamfer Angle on the Cutting Forces and the Tool Stresses

ABSTRACT

In this paper, the effects of chamfer angle of PCBN cutting tools in finishing hard turning of AISI 52100 bearing steel on the cutting forces and the cutting tool stresses, principal and von Mises stress, have been investigated. For this aim, cutting experiments and finite element analysis (FEA) have been carried out using ANSYS software. The obtained cutting force measurement results and FEA results showed that the chamfer angle has a great influence on the cutting forces and tool stresses, especially in the passive force and von Mises stress distribution. From the present work, it can be drawn that critical chamfer angle is 20° in finishing hard turning of AISI 52100 bearing steel

Key words: PCBN, cutting forces, cutting tool stresses, ANSYS

1. GİRİŞ

Çok kristalli kübik bor nitrid (Polycrystalline Cubic Boron Nitride-PCBN) gibi yeni kesici takım malzemelerinin gelişmesi, 60-65 HRC sertlikteki sertleştirilmiş çelik iş parçalarının ve süper alaşımların tornalanmasını mümkün kılmıştır. Seramik uçlarla karşılaştırıldığında PCBN daha pahalı olmasına karşın, işleme maliyeti açısından daha ekonomiktir (1).

Sert parçaların tornalanması; iş parçası malzemesinin sert olması ve daha büyük kesme enerjilerine ihtiyaç duyulması sebebiyle; daha yumuşak iş parçalarının geleneksel olarak tornalanmasından farklıdır. Tornalama işleminin küçük kesme derinliklerinde yapılması gerektiğinden, kesici kenar geometrisini güçlendirmek ve kesici takımın erken kırılmasını önlemek amacıyla; PCBN uçlar, pahlı olarak veya uç yuvarlatması yapılarak kullanılır. Pahlı veya uç yuvarlatılması yapılmış kenarlar negatif veya pozitif talaş açısına sahiptir. Pozitif talaş açısı ile karşılaştırıldığında negatif talaş açısında kesme kuvvetleri artarken işlenmiş yüzey üzerindeki basma yükleri azalır (2).

Thile ve arkadaşları (3,4), AISI 52100 rulman çeliğinin son talaş kaldırma işleminde artık gerilmeler üzerindeki kesici uç geometrisi ve iş parçası malzemesinin etkilerini deneysel olarak incelemiş; özellikle büyük yuvarlatma yarıçapına sahip kesici takımların daha çok basma gerilmeleri oluşturduğunu göstermişlerdir. Özel (5), sonlu eleman simülasyonları yardımıyla; sert parçaların tornalanmasında gerilme ve sıcaklığa göre CBN takımların kenar geometrisinin etkilerini incelemiştir. Zhou ve arkadaşları (6) çalışmasında, 100Cr6 rulman çeliğinin çok ince talaş kaldırmasında kesici uç pah açısının PCBN kesici takımın aşınması üzerindeki etkilerini incelemiş; kesme kuvvetleri, takım aşınması ve takım ömrü arasındaki ilişkileri araştırmışlardır. Yen ve arkadaşları ise (7), sonlu eleman simülasyonları ile belirlenen ortogonal kesme işlemindeki talaş oluşumu, kesme kuvvetleri ve sıcaklık, gerilme ve gerilme gibi değişkenler üzerindeki kesici takımın kesme kenarının hazırlanması (yuvarlatılmış veya pah kırılmış olarak) etkilerini incelemişlerdir.

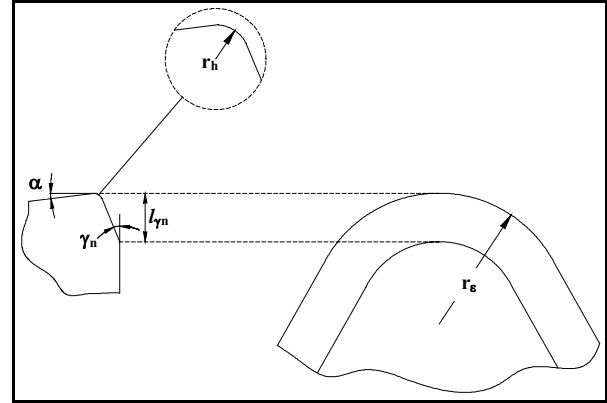
Bu çalışmada rulman sanayinde yaygın olarak kullanılan AISI 52100 çeliğin PCBN kesici uç ile bitirme (son paso) işlemi sırasında kesici uç pah açısının kesme kuvvetleri ve kesici uçtaki gerilmeler üzerindeki

etkileri incelenmiştir. Kesme kuvvetleri deneysel ölçümlerle incelenirken, kesici uçtaki gerilmeler; sonlu elemanlar metoduna dayalı ANSYS programı kullanılarak 2 boyutlu sonlu eleman analizleri ile incelenmiştir. Kesme kuvvetlerinin kesici takımın talaş yüzeyinde ve yardımcı yüzeyde normal ve teğetsel kuvvet bileşeni şeklinde etki ettiği kabul edilmiş ve ANSYS çözümlerinde yükleme durumu olarak normal ve teğetsel yük bileşenleri biçiminde uygulanmıştır. Devam eden diğer çalışmalar açısından da ANSYS çözümlerinde uygulanan yükleme durumunun doğruluğunu kontrol etmek için Zhou ve arkadaşları (6) tarafından yapılan deneyler esas alınmış (ilerleme değeri, kesme hızı ve iş parçası malzemesinin boyutları hariç) ve elde edilen gerilme sonuçları, yaptıkları çalışmadaki gerilme sonucuyla karşılaştırılmıştır. Böylece uygulanan yükleme durumunun doğruluğu araştırılmıştır.

2. DENEY YÖNTEMİ

Talaş kaldırma deneylerinde PCBN kesici uçlar kullanılmış olup kesici uç geometrisi Şekil 1’de gösterilmiştir. Kesme deneylerinde 55° uç açılı ISO 1832’ye göre DCMW 11T308 formundaki PCBN uçlar kullanılmış olup; uçların burun yarıçapı (r_e) 0.8 mm, boşluk açısı (α) 7° ve pah genişliği (l_{γ_n}) 0.1 mm’dir. Deneylerde yuvarlatma yarıçapı (r_h) 0.01 mm olan 0° , 10° , 15° , 20° ve 30° ’lik 5 farklı pah açısı (γ_n) değişken olarak seçilmiştir. PCBN uçların dinamometreye bağlanması için SDJCL 2020K11 takım tutucu kullanılmıştır.

Zhou ve arkadaşları (6) tarafından yapılan çalışmaya paralel olarak kesme deneylerinde kullanılan deney parametreleri Tablo 1’de gösterilmiş olup; iş parçası malzemesi olarak iç çapı 100 mm ve dış çapı 120 mm olan 60 HRC sertliğindeki AISI 52100 rulman çeliği kullanılmıştır. Deneyler Johnford T35 CNC torna tezgahında yapılmış; kesme parametreleri olarak 150 m/min kesme hızı ve bitirme işlemi olması sebebiyle 0.03 mm/rev ilerleme ve 0.05 mm kesme derinliği seçilmiş ve kesme kuvvetleri (esas kesme kuvveti, ilerleme kuvveti ve pasif kuvvet; sırasıyla F_C , F_f ve F_p) Kistler 9257B dinamometre kullanılarak ölçülmüştür. 0.2 mm yanak aşınması elde edilinceye kadar kesme deneylerine devam edilmiştir. Analizlerde, deney süresince elde edilen kesme kuvvetlerinin ortalaması kullanılmıştır.



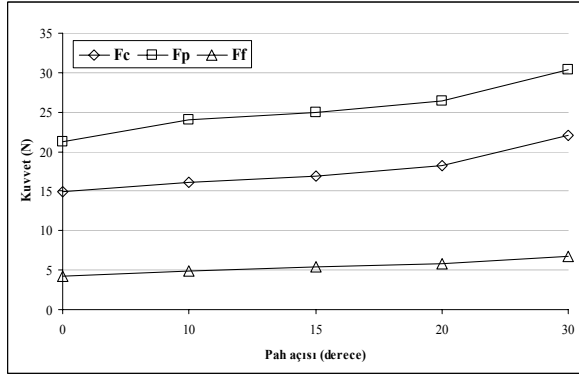
Şekil 1. Deneylerde kullanılan PCBN uç geometrisi (6)

Tablo 1. Deney parametreleri

İş parçası	AISI 52100 (60 HRC)
Boyutlar [mm]	Dış çap 120 ve iç çap 100
Kesici takım	PCBN (DCMW 11T308)
Burun yarıçapı, r_e [mm]	0.8
Boşluk açısı, α [derece]	7
Pah genişliği, l_{γ_n} [mm]	0.1
Pah açısı, γ_n [derece]	0, 10, 15, 20, 30
Yuvarlatma yarıçapı, r_h [mm]	0.01
Takım tutucu (kater)	SDJCL 2020K11
Kesme parametreleri	
Kesme hızı [m/min.]	150
İlerleme [mm/rev.]	0.03
Kesme derinliği [mm]	0.05

3. KESME KUVVETLERİ

AISI 52100 rulman çeliğinin bitirme işleminde çok küçük ilerleme ve kesme derinliği kullanıldığından, kesici takımdaki kesme alanı kesici ucun pahlı kenarındaki çok küçük bir bölgede gerçekleşmiştir. Kesme deneyleriyle elde edilen kesme kuvvetleri değerlendirildiğinde, Zhou ve arkadaşları (6) tarafından elde edilen deney sonuçlarına paralel olarak pah açısındaki artışla birlikte kesme kuvvetlerinin de arttığı gözlenmiştir. Şekil 2’ye bakıldığında, pasif kesme kuvvetinin esas kesme kuvvetine ve ilerleme kuvvetine göre daha yüksek olduğu ve pah açısının artmasıyla birlikte daha hızlı bir şekilde yükselmeler gösterdiği görülmektedir..



Şekil 2. Pah açlarına göre kesme kuvvetlerinin değişimi

4. SONLU ELEMANLAR ANALİZİ

Kesici takımdaki gerilme dağılımı, talaş kaldırma işlemi süresince ölçülen kesme kuvvetleri (F_C ve F_p) kullanılarak, sonlu elemanlar metoduna dayalı ANSYS 6.1 programı yardımıyla analiz edilmiştir. Analizlerde hesaplama süresini azaltmak amacıyla; kesici uç, kesme derinliğinin 10 katı büyüklükte ($10 \times a$ mm) modellenmiştir (Şekil 3a). Kesici ucun modellenmesi süreci, kesici uca ait geometrik özellikler dikkate alınarak Mechanical Desktop 6 Power Pack'de oluşturulan modelin ".iges" formatında ANSYS'e gönderilmesi suretiyle gerçekleştirilmiştir. A1 ve A2 alanlarının ağ yapısı için eleman tipi olarak 8 düğümlü quadrilateral PLANE82 elemanı seçilirken; esas kesme kuvveti ile pasif kuvvetin, asıl kesme kenarı ve yardımcı kesme kenarı üzerinde, normal ve teğetsel yük dağılımları biçiminde uygulanabilmesi amacıyla da SURF153 elemanı seçilmiştir. Kesici uç modellerinde kesme işlemini gerçekleştiren A1 alanındaki yuvarlatılmış kenar 25 elemana ayrılırken, kesici ucun diğer kısmındaki A2 alanının eleman boyutu 0.025 mm olarak seçilmiştir (Şekil 3b).

4.1. PCBN Uçtaki Yük Dağılımı

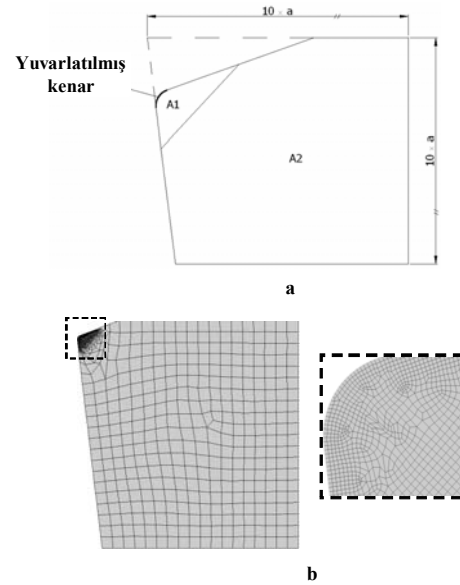
Zhou ve arkadaşları (6) tarafından yapılan çalışmaya paralel olarak esas kesme kuvveti ile pasif kuvvetin, kesici takımın talaş yüzeyinde ve yardımcı yüzeyde normal ve teğetsel kuvvet bileşeni şeklinde etki ettiği kabul edilmiştir (Şekil 4a). Talaş yüzeyi ve yardımcı yüzeydeki normal ve teğetsel yük bileşenleri; esas kesme kuvveti, pasif kuvvet, pah açısı ve boşluk açısına bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$N_r = F_C \cos \gamma_n - F_p \sin \gamma_n \quad (1)$$

$$N_f = F_p \cos \alpha - F_C \sin \alpha \quad (2)$$

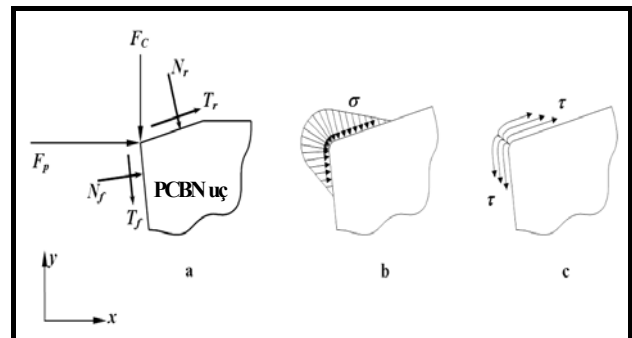
$$T_r = F_p \cos \gamma_n - F_C \sin \gamma_n \quad (3)$$

$$T_f = F_C \cos \alpha - F_p \sin \alpha \quad (4)$$



Şekil 3. PCBN uçlar için oluşturulan FEA modeli

Eş. 1-4'e göre hesaplanan normal ve teğetsel yük bileşenleri, Şekil 4b ve Şekil 4c'de gösterildiği gibi PCBN ucun talaş yüzeyi ve yardımcı yüzeyinde normal ve kayma gerilmesi dağılımları biçiminde uygulanmıştır. Hesaplamalarda PCBN uç için elastiklik modülü 588 GPa ve Poisson oranı 0.17 olarak seçilmiştir (8).



Şekil 4. PCBN uçtaki normal ve teğetsel yük dağılımı (6)

4.2. PCBN Uçtaki Gerilme Dağılımları

Yukarıda belirtilen yükleme durumuna göre 0° , 10° , 15° , 20° ve 30° lik pah açısına sahip her bir PCBN uç için sonlu eleman analizleri yapılmıştır. Analizlerde kesici uç için kırılma kriteri olarak von Mises gerilmeleri (veya eşdeğer gerilme) kullanılmıştır. Analizler so-

nucunda 0° , 10° , 15° , 20° ve 30° 'lik pah açısındaki kesici uçların x ve y eksenli yönündeki normal (S_X ve S_Y), xy düzlemindeki kayma (S_{XY}), en büyük asal gerilme (S_1) ve von Mises (S_{EQV}) gerilme dağılımları elde edilmiştir. Şekil 5'te 15° 'lik pah açısında gerçekleşen gerilme dağılımları ve Şekil 6'da her bir pah açısı için elde edilen von Mises gerilme dağılımları gösterilmiştir. Zhou ve arkadaşları (6) tarafından 20° 'lik pah açısı için von Mises gerilmesi 4474 MPa olarak belirlenirken yapılan çalışmada 4470 MPa olarak gerçekleşmiş olup gerilme dağılımı olarak da büyük benzerlikler ihtiva ettiği görülmüştür. Şekil 7'de ise Zhou ve arkadaşları (6) tarafından elde edilen S_1 gerilme değerleriyle birlikte, pah açısının FEA neticesinde elde edilen gerilmelere etkisi gösterilmiştir.

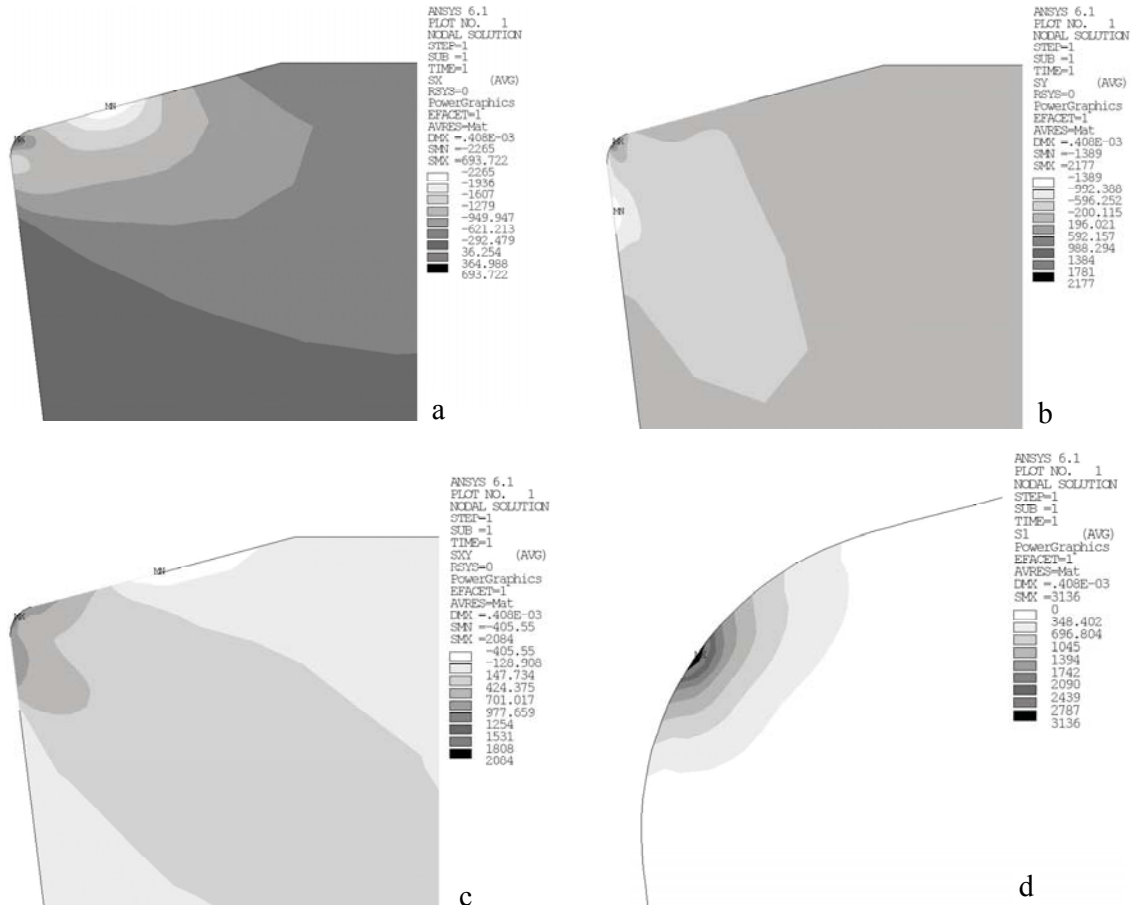
Zhou ve arkadaşları (6) tarafından yapılan analizde asal gerilmenin en küçük değeri (3528 MPa) 15° 'lik pah açısında gerçekleşirken, yapılan çalışmada 3135.6 MPa olarak belirlenmiştir. Bu farklılığın sebebinin kullanılan eleman tipi, eleman sayısı, eleman boyutu, uç geometrisi için oluşturulan model veya uygulanan yükleme durumuyla ilgili olduğu düşünülmektedir.

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, AISI 52100 rulman çeliğinin bitirme torna işleminde kullanılan PCBN ucun pah açısının kesici takım gerilmeleri üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla kesme deneyleri yapılmış ve elde edilen kesme kuvveti verilerine göre sonlu eleman analizleri gerçekleştirilmiştir. Kesme deneyleriyle elde edilen kesme kuvveti değerlerinden ve yapılan sonlu eleman analizlerinden, pah açısının kesme kuvvetleri ve kesici takım gerilmeleri üzerinde önemli bir etkisi olduğu görülmüştür.

Literatüre paralel olarak (2,6,9), tüm deneylerde pah açısındaki artışa paralel olarak kesme kuvveti değerleri de artmış, pah açısının özellikle pasif kuvvet üzerinde daha etkili olduğu gözlenmiştir (Şekil 2).

Zhou ve arkadaşları (6) tarafından elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında ANSYS çözümlerinde uygulanan yükleme durumunun doğru olduğu anlaşılmıştır. FEA sonuçlarından; x eksenli yönündeki normal gerilmenin yuvarlatılmış kenarda çekme, pahlı yüzeydeki kesme derinliği mesafesinde basma biçiminde gerçekleştiği ve pah açısındaki artışa zıt olarak azaldığı gözlenmiştir. y eksenli yönündeki normal gerilme ise yuvarlatılmış kenarda çekme, yardımcı yüzeyde basma bi-



Şekil 5. 15° 'lik pah açısındaki kesici uçta oluşan S_X (a), S_Y (b), S_{XY} (c) ve S_1 (d) gerilme dağılımları

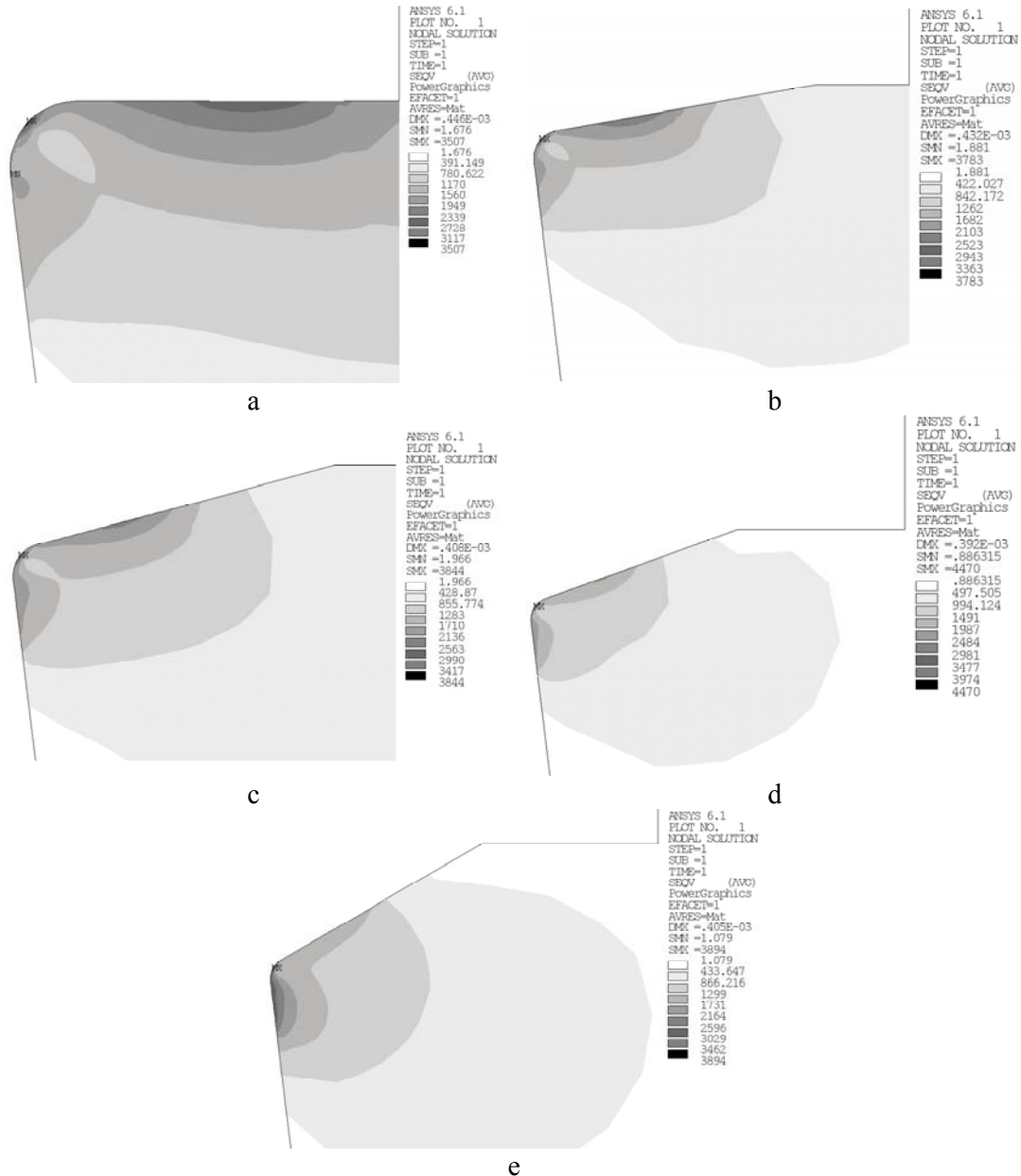
çiminde gerçekleşmiştir. xy düzlemindeki kayma gerilmeleri yuvarlatılmış kenarda maksimum değerde olup pah açısındaki artışa paralel olarak yükselmektedir.

Sonlu eleman analizlerinden maksimum asal gerilmenin en küçük değerinin (2528 MPa) 30° 'lik pah açısında gerçekleştiği, buna karşın en büyük von Mises gerilmesinin (4470 MPa) 20° 'lik pah açısında olduğu görülmüştür (Şekil 7). Genel olarak bakıldığında; pah açısının von Mises gerilmeleri üzerindeki etkisinin diğer gerilmelere oranla daha güçlü olduğu gözlenmiştir. Aşınma bakımından pah açısındaki değişime bakılmaksızın PCBN kesici uçta kritik bölgenin 0.01 mm yuvarlatma yapılmış kenarda bulunduğu ve kritik pah açısının 20° olduğu sonucuna varılmıştır.

Şekil 7. Pah açısının kesici takım gerilmeleri üzerindeki etkisi

6. SEMBOLLER VE KISALTMALAR

r_c : Kesici uç burun yarıçapı [mm]



Şekil 6. von Mises gerilme dağılımları. a) 0° b) 10° c) 15° d) 20° e) 30°

- α : Boşluk açısı [derece]
 $l_{\gamma n}$: Pah genişliği [mm]
 γ_n : Pah açısı [derece]
 r_h : Kesici ç yuvarlatma yarıçapı [mm]
 F_C : Esas kesme kuvveti [N]
 F_p : Pasif kuvvet [N]
 σ : Normal gerilme [MPa]
 τ : Kayma gerilmesi [MPa]
 N_r : Talaş yüzeyi üzerindeki normal kuvvet [N]
 N_f : Yardımcı yüzey üzerindeki normal kuvvet [N]
 T_r : Talaş yüzeyi üzerindeki teğetsel kuvvet [N]
 T_f : Yardımcı yüzey üzerindeki teğetsel kuvvet [N]
 S_X : x-ekseni yönündeki normal gerilme [MPa]
 S_Y : y-ekseni yönündeki normal gerilme [MPa]
 S_{XY} : xy-düzlemindeki kayma gerilmesi [MPa]
 S_1 : Maksimum asal gerilme [MPa]
 S_{EQV} : von Mises gerilmesi [MPa]

TEŞEKKÜR

Yazarlar, bu çalışmanın gerçekleşmesinde finansman desteği sağlayan Gazi Üniversitesi (Proje Kodu: 07/2002-13) ve Devlet Planlama Teşkilatı'na (Proje Kodu: 2002K120250-05) teşekkürü bir borç bilir.

7. KAYNAKLAR

- DeGarmo, E.P., Black, J.T., Kohser, A.R., Materials and Processes in Manufacturing, 8th Edition, Prentice-Hall, NJ, USA, 1997.
- Dawson, G., Machining Hardened Steel with Polycrystalline Cubic Boron Nitride Cutting Tools, PhD Thesis, Georgia Institute of Technology, 2002.
- Thiele, J. D., Melkote, S. N., Peascoe, R. A., and Watkins, T. R., Effect of Cutting Edge Geometry and Work piece Hardness on Surface Residual Stresses in Finish Hard Turning of AISI 52100 Steel, Transactions of the ASME, Vol. 122, 642-649, 2000.
- Thiele, J. D., Melkote, S. N., 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.
- Özel, T., Modelling of Hard Part Machining: Effect of Insert Edge Preparation in CBN Cutting Tools, Journal of Materials Processing Technology, 141 (2003), 284-293.
- Zhou, J.M., Walter, H., Andersson, M., Stahl, J.E., Effect of Chamfer Angle on Wear of PCBN Cutting Tool, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 43 (2003), 301-305.
- Yen, Y.C., Jain, A., Altan, T., A Finite Element Analysis of Orthogonal Machining Using Different Tool Edge Geometries, Journal of Materials Processing Technology, (in press)
- Ng, E.G., Aspinwall, D.K., Brazil, D., Monaghan, J., Modelling of Temperature and Forces When Orthogonally Machining Hardened Steel, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 39 (1999), 885-903.
- Zhou, J.M., Andersson, M., Stahl, J.E., The monitoring of flank wear on the CBN tool in the hard turning process, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, (2003) 22, 697-702