



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>



Östempereleme işleminin CBN kesici takım gerilmeleri üzerindeki etkisinin nümerik simülasyonu

Numeric simulation of effect on the CBN cutting tool stresses of austempering process

Yazar(lar) (Author(s)): Kadir GÖK¹, Arif GÖK²

ORCID¹: 0000-0001-5736-1884

ORCID²: 0000-0002-3309-6921

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Gök K. ve Gök A., “Östempereleme işleminin CBN kesici takım gerilmeleri üzerindeki etkisinin nümerik simülasyonu”, *Politeknik Dergisi*, 23(1): 37-44, (2020).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.452739

Östemperleme İşleminin CBN Kesici Takım Gerilmeleri Üzerindeki Etkisinin Nümerik Simülasyonu

Araştırma Makalesi / Research Article

Kadir GÖK^{1*}, Arif GÖK²

¹Hasan Ferdi Turgutlu Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Türkiye

²Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği, Amasya Üniversitesi, Turkey

(Geliş/Received : 10.08.2018 ; Kabul/Accepted : 15.02.2019)

ÖZ

Bu çalışmada, östemperleme işleminin kesici takım gerilmeleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışmalardan elde edilen kesme kuvvetleri (esas kesme kuvveti, ilerleme kesme kuvveti ve pasif kuvvet) ANSYS Workbench programında, kesici takımdaki, talaş yüzeyi, esas kesici kenar ve yardımcı kesici kenar üzerine 3 boyutlu olarak uygulanmıştır. Östemperleme sürecinin rolünü vurgulamak için, ilk olarak Küresel Grafitli Dökme Demir (KGDD) numuneler 900°C de 60 dakika tuz banyosunda östenitlenmiş, daha sonra 60 dakika boyunca 250°C ve 325°C deki bir tuz banyosunda ısıl işlem yapılmıştır. Analizler sonunda, kesici takım üzerindeki eş değer gerilme (vonMises), kayma gerilmesi (Tresca), X, Y ve Z yönlerindeki normal gerilmeler hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Metal kesme, sonlu elemanlar metodu, östemperlenmiş küresel grafitli dökme demir.

Numeric Simulation of Effect on The CBN Cutting Tool Stresses of Austempering Process

ABSTRACT

In this study, we were investigated the effect of austempering process on the cutting tool stresses. The cutting forces obtained from experimental studies (main cutting force, feed force and passive force) were applied to rake face, main cutting edge, auxiliary cutting edge on the cutting tool as three dimensional in the ANSYS Workbench program. To emphasize the role of the austempering process, Ductile Iron (DI) specimens were firstly austenitized in salt bath at 900°C for 60 min, after which they were quenched in a salt bath at 250°C and 325°C for 60 min. The equivalent stress (von-Mises), shear stress (Tresca), normal stresses in the X, Y and Z directions on the cutting tool were calculated at the end of the analysis.

Keyword: Metal cutting, finite element method, austempered ductile iron.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Metal kesme işlemleri deneysel, analitik ve sonlu elemanlar yöntemi ile yapılabilmektedir. Deneysel yöntemler hem maliyet hemde zaman açısından sınırlı bir yapıya sahiptir. Kesme analizleri talaşlı imalatta uygun kesme koşullarının araştırılmasında bir alternatif olarak kullanılmaktadır. Sonlu elemanlar yöntemi ile kesme parametrelerine göre kesici takım, işparçası ve talaş üzerinde oluşan sıcaklık, kesme kuvveti, takım aşınması, kesici takım üzerinde oluşan normal ve kayma gerilmeleri, temas basıncı ve talaş oluşumu gibi durumular sayısal ve grafiksel olarak hesaplanabilmektedir. Sonlu elemanlar yöntemi ile özellikle deneysel verilerin önceden tespit edilmesinde büyük kolaylık sağlamaktadır. Sonlu elemanlar yönteminin avantajlarının yanı sıra kullanımını kısıtlayan durumlarda söz konusudur. Metal kesme işlemi yüksek sıcaklık ve yüksek şekil değiştirme hızlarında gerçekleştiği için kesme sırasında kullanılan malzemenin mekanik özelliklerinin eksiksiz olarak bilinmesi gerekir.

Malzemelerin akma gerilmesi eğrileri (flow stress curves) özellikle kesme analizlerinde mutlaka kullanılmalıdır. Fakat günümüzde her malzemenin akma gerilmesi eğrisi mevcut değildir. Bunun için malzemenin farklı sıcaklıklarda ve şekil değiştirme hızlarında bir seri çekme testi yapılması gerekmektedir.

Birçok araştırmacı metal kesme sürecini sonlu elemanlar metodu kullanarak incelemiştir. Attanasio ve diğ. [1] takım aşınmasının 3 boyutlu olarak sonlu eleman analizini, Kose ve diğ. [2] ilerlemenin kesici takım gerilmeleri üzerindeki etkisini, Kim ve diğ. [3] kesici takım kenar yarıçapının sıcaklık ve kesme kuvvetleri üzerinde etkisini, Duran ve Nalbant [4] kesici takım üzerinde oluşan çökme değerlerinin sonlu elemanlar metodu ve kastiglano metodu ile karşılaştırılmasını, Jaharah ve diğ. [5] sonlu elemanlar metoduyla AISI 1045 çeliğin tornalanmasında çeşitli talaş ve boşluk açılarında sahip kesici takımların efektif gerilme ve sıcaklık artışına etkisini, Dechjarern [6] talaş açısının kesme performansı üzerinde etkisini, Uzun ve Aslantaş [7] kesme kuvvetleri, sıcaklık, kayma açısı ve takım gerilmesi üzerinde kaplama katman sayısı ve kaplama tipinin etkisini anlamak için bir seri deneysel ve sayısal çalışmayı, Zhou

*Sorumlu Yazar (Corresponding author)
e-posta : kadir.gok@cbu.edu.tr

ve diğerleri [8] süper finiş sert tornalamada, PCBN kesici takımın takım aşınması üzerinde pah açısının etkisini, Attanasio ve diğ. [9] visko-plastik parça tahmini kullanarak mikro fezelemenin sonlu eleman simülasyonlarını geliştirmiş ve DEFORM-3D yazılımında termo-mekanik bir analizini, Özel ve diğ. [10] deneysel doğrulama ile modelleme çalışmasını kullanarak, talaş akışı, talaş sıvanması ve çapak oluşumu için çok ihtiyaç duyulan süreç bilgisini, Özel [11] sabit ve değişken kayma ve sürtünme katsayılarına dayalı modeller geliştirerek, FE simülasyonları üzerinde takım-talaş arayüzeyi sürtünme modelinin etkilerini incelemişlerdir.

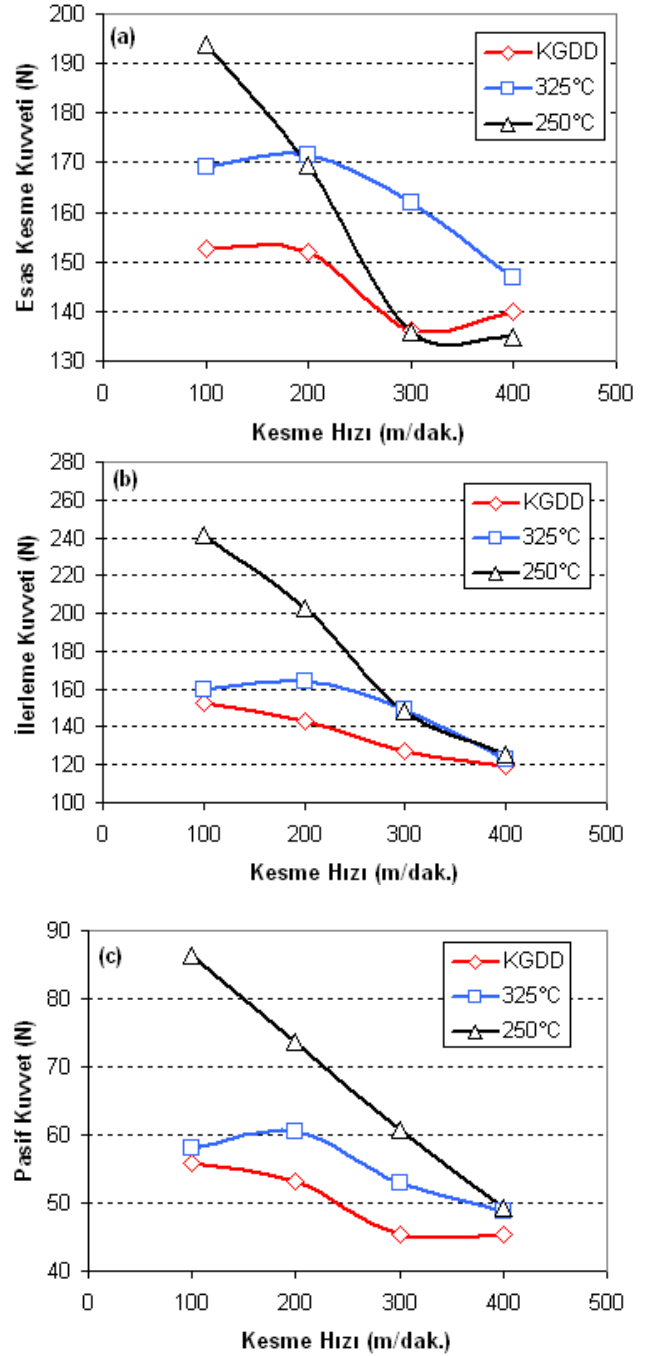
Küresel grafitli dökme demirler (KGDD) dişli, kam ve krank mili gibi pek çok makine ve otomotiv parçalarının üretilmesinde geniş kullanım alanına sahip malzemelerdir. KGDD malzemelerin son şeklinin verilmesinde, genellikle talaşlı imalat yöntemleri kullanılmaktadır. Bu nedenle, KGDD malzemelerin işlenmesinde maksimum takım ömrü ve minimum üretim maliyeti için optimum kesme parametrelerinin ve uygun kesici takımın önceden belirlenmesi gerekmektedir [12, 13]

Bu çalışmada, KGDD ve farklı sıcaklıklarda östemperlenmiş KGDD malzemelerin işlenebilirlik testlerinden elde edilen kesme kuvveti değerlerinin, 3 boyutlu olarak modellenmiş kesici takımın, talaş yüzeyi, esas kesici kenar ve yardımcı kesici kenarı üzerine ANSYS Workbench paket programında uygulanması ile östemplenme işleminin kesici takım gerilmeleri üzerindeki etkisi incelenmiştir.

2. DENEYSEL VE SAYISAL İŞLEMLER (EXPERIMENTAL AND NUMERIC PROCESSES)

2.1. Metal Kesme İşlemi (Metal Cutting Process)

İşlenebilirlik testleri için Iscar tarafından üretilen CNMA 120404T IB55 kodlu CBN kesici takımlar kullanılmıştır. Takım tutucu olarak ise PCLNR 2525M 12 kodlu tutucu seçilmiştir. Kesici takıma ait uç yarıçapı 0.4 mm'dir. Takıma ait talaş ve boşluk açıları 0°'dir. Tornalama testi, sabit ilerleme, kesme derinliği ve 100, 200, 300 ve 400 m/dk arasında değişen kesme hızlarında yapılmıştır. Tüm işlenebilirlik testlerinde ilerleme $f=0.05$ mm/dev, kesme derinliği $a_p=1$ mm olarak alınmıştır. Soğutma sıvısı kullanılmamış ve tüm testler kuru kesme şartlarında gerçekleştirilmiştir. Tornalama sırasında kesici takım üzerinde kuvvetler meydana gelmektedir. Bu kuvvetler tornalama sırasında üç boyutlu ölçme yapabilen Kistler dinamometresi ile ölçülmüştür. Analizlerde kullanılan kesme kuvveti değerleri bu çalışmadan [14] alınmıştır (Şekil 1).



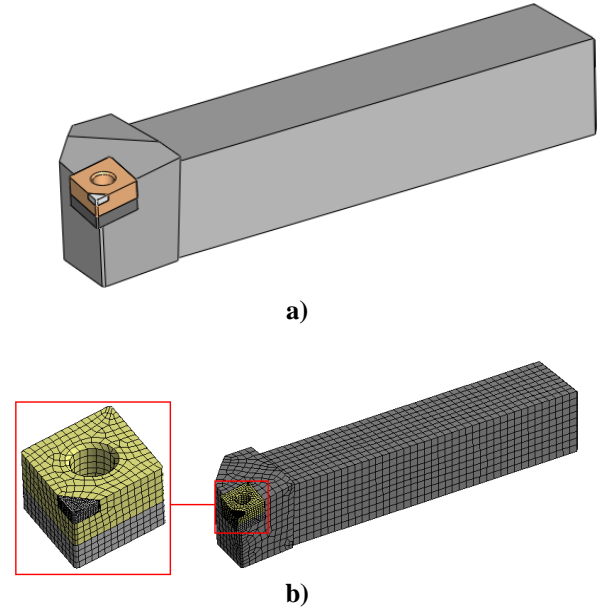
Şekil 1. Kesme kuvveti değerleri, (a) esas kesme kuvveti, (b) ilerleme kuvveti, (c) pasif kuvvet [14]. (Cutting force values, (a) main cutting force, (b) feed force, (c) passive force)

2.2. Sonlu Elemanlar Metodu Kullanarak Modelleme (Modelling Using Finite Element Method)

Kesici takım üzerinde meydana gelen gerilmeler, işlenebilirlik testlerinden elde edilen esas kesme kuvveti, ilerleme kesme kuvveti ve pasif kuvvet [14] değerleri kullanılarak ANSYS Workbench paket programında analiz edilerek elde edilmiştir. Takım tutucu, altlık, HSS uç ve CBN uca ait modeller SolidWorks 2010 versiyonunda oluşturularak (Şekil 2) "iges" formatında AnsysWorkbench sonlu eleman esaslı analiz

programında açılmıştır. Kesici takım üzerindeki tüm parçalar için Hex Dominant ağ (mesh) tipi seçilirken, farklı eleman boyutları kullanılmıştır. Eleman boyutları sırasıyla, takım tutucu için 3mm, altlık için 1mm, HSS uç için 1mm ve CBN uç için ise 0.25mm olarak seçilmiştir. Kesici takım ve diğer elemanların ağ yapısı Şekil 2 b' de verilmiştir. Ağ işlemi sonrası toplam 42410 düğüm, 11281 eleman meydana gelmiştir. Ansys, Inc tarafından geliştirilen Mesh Metric'e göre [15], sonuçların güvenilirliği açısından ağ kalitesi çok önemlidir. Düşük Ortogonal Kalite (Orthogonal Quality) veya yüksek çarpıklık (skewness) değerleri önerilmez. Genellikle minimum ortogonal kalite > 0.1 veya maksimum çarpıklık < 0.95 olmalıdır. Çarpıklık ağ metrikleri spektrumu ve Ortogonal Kalite ağ metrik spektrumu Şekil 3 ve Şekil 4' de verilmiştir. Analiz sonuçlarımızda, ortalama çarpıklık değeri Şekil 5' de 0.42 olarak hesaplanmıştır. Şekil 3'e göre, bu değer çok iyidir (0.25-0.50). Ortalama ortogonal kalite değeri de Şekil 6'da 0.68 olarak hesaplanmıştır. Şekil 4' e göre, bu değer iyidir (0.20-0.69). Kesici takım üzerine uygulanan sınır şartları ve kesme kuvvetleri kullanıcı tarafından girilirken, elemanlar arasında bonded türünde temas bölgeleri program tarafından otomatik olarak oluşturulmuştur (Şekil 7). Kesici takım üzerine uygulanan esas kesme kuvveti ve ilerleme kuvveti eğilme etkisi ile çekme gerilmesi oluştururken, pasif kuvvet ise basma gerilmesi oluşturacaktır. Günay ve diğerleri [16] ve Kurt [17]'un yaptıkları çalışmalarda temas türleri incelenmiştir.

Kesme analizinde kullanılan kesici uç için CBN, kesici ucun bağlı olduğu parça için HSS, takım tutucu ve diğer parçalar için çelik malzemesi kullanılmıştır. Bu parçalara ait mekanik özellikler Çizelge 1.de verilmiştir.



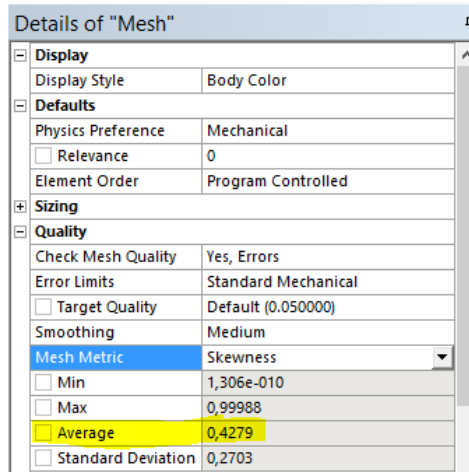
Şekil 2. SolidWorks ortamında modellenmiş takım tutucu, takım ucu ve altlık a), ağ (mesh) yapısı b) (tool holder, tool insert and base modeled in SolidWorks environment a), mesh structure b)

Excellent	Very good	Good	Acceptable	Bad	Unacceptable
0-0.25	0.25-0.50	0.50-0.80	0.80-0.94	0.95-0.97	0.98-1.00

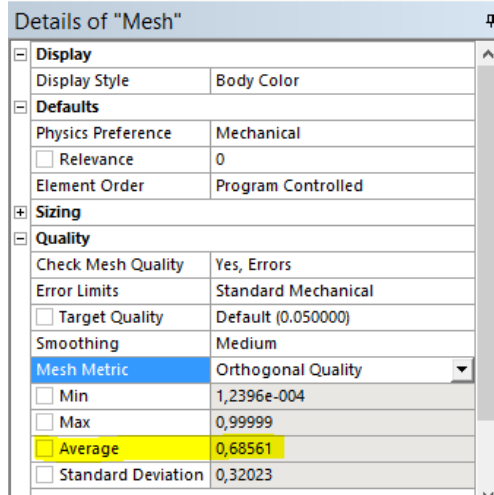
Şekil 3. Çarpıklık ağ metrikleri spektrumu (Skewness mesh metrics spectrum)

Unacceptable	Bad	Acceptable	Good	Very good	Excellent
0-0.001	0.001-0.14	0.15-0.20	0.20-0.69	0.70-0.95	0.95-1.00

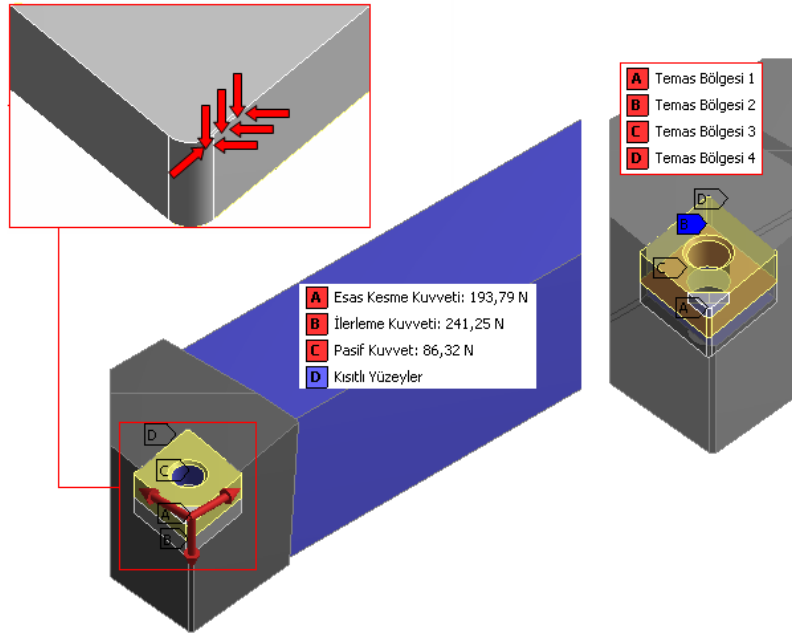
Şekil 4. Ortogonal kalite ağ metrikleri spektrumu (Orthogonal quality mesh metrics spectrum)



Şekil 5. Hesaplanan ortalama çarpıklık değeri (Calculated mean skewness value)



Şekil 6. Hesaplanan ortalama ortogonal kalite değeri (Calculated mean orthogonal quality)



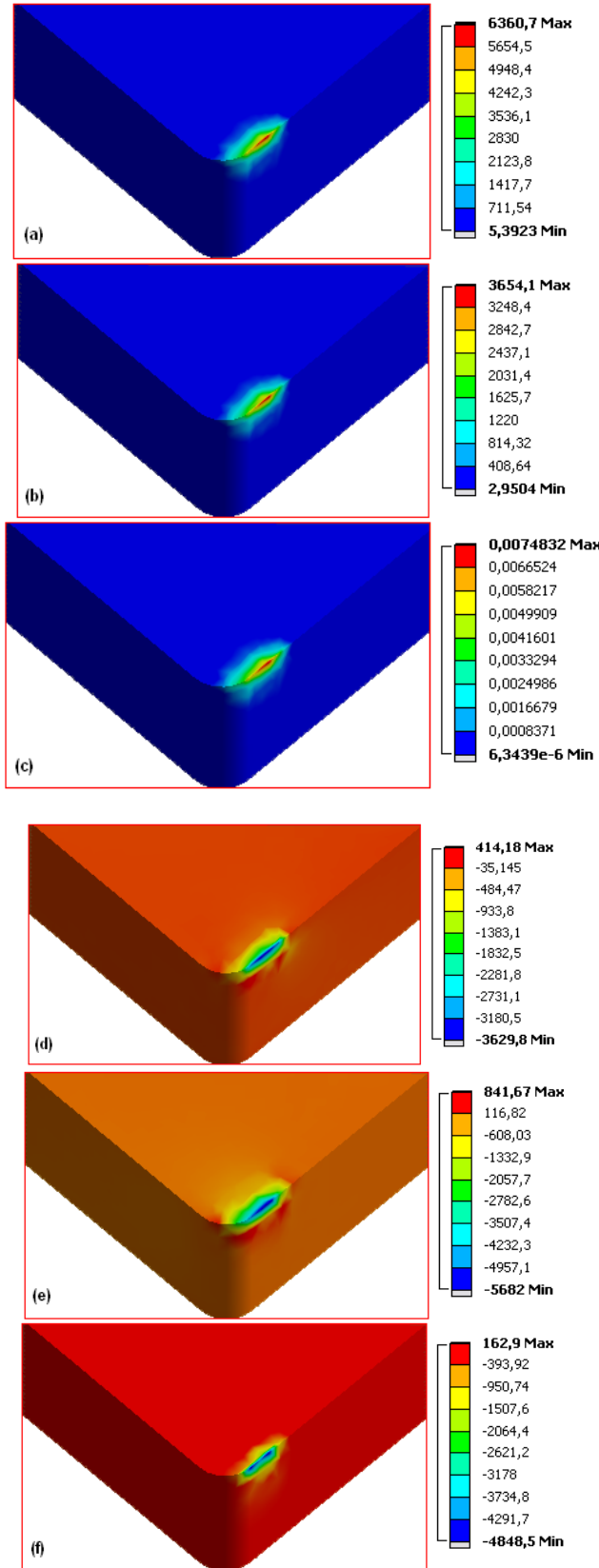
Şekil 7. Kesici takım üzerine uygulanan sınır şartları, kesme kuvvetleri ve temas bölgeleri (Boundary conditions, cutting forces and contact zones applied on cutting tool)

Çizelge 1. Kesici uca ait mekanik özellikler (Mechanical properties of the cutting tool)

Özellik	CBN [18]	HSS [4]	Çelik [19]
Elastikiyet Modülü (MPa)	$7,2 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5$
Poisson Oranı	0,3	0,3	0,3
Yoğunluk (kg/m^3)	15000	8600	7850
Akma Dayanımı (MPa)	1000	850	250

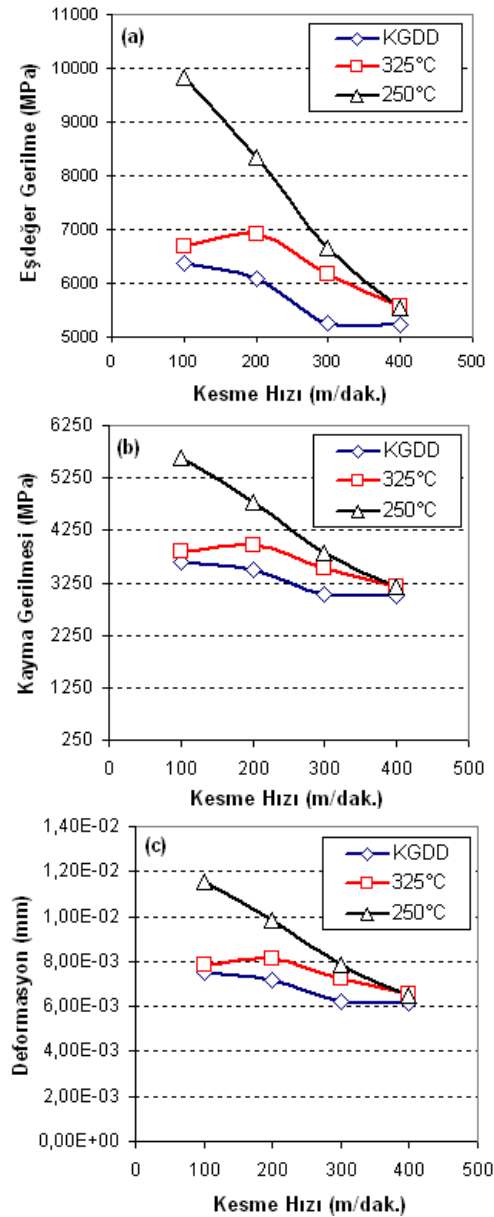
3. KESİCİ TAKIM ÜZERİNDE MEYDANA GELEN GERİLMELER (STRESSES ON THE CUTTING TOOL)

Uygulanan sınır şartlarından sonra analizler çözdürülmüştür. KGDD malzemesinin CBN kesici takım ile 100 m/dk kesme hızında tornalanması sonucunda takım ucunda meydana gelen eş değer gerilme (vonMises), kayma gerilmesi, X, Y ve Z yönlerindeki normal gerilmeler program tarafından hesaplanmış ve Şekil 8’ de gerilme dağılımları gösterilmiştir. Bu gerilme değerleri grafiksel olarak Şekil 9’ da verilmiştir.



Şekil 8. Gerilme a) von Mises, b) Kayma gerilmesi, c) Toplam deformasyon, d) Gx, e) Gy, f) Gz. (Stress a) von Mises, b) Shear stress, c) Total deformation, d) Gx, e) Gy, f) Gz

Grafikten ve şekilden de anlaşıldığı gibi KGDD malzemesinin CBN kesici takım ile işlenmesinden elde edilen kesme kuvvetlerinin kesici takım talaş yüzeyi, esas kesici kenar ve yardımcı kesici kenar üzerine uygulanması ile elde edilen maksimum eş değer gerilmeler esas kesici kenarın esas kesme kenarı üzerinde yoğunlaşmıştır. 100 m/dak. kesme hızında maksimum eşdeğer gerilme 6360,7 Mpa, 200 m/dak için 6081,1 Mpa, 300 m/dak için 5255,5 MPa ve 400 m/dak için 5234 Mpa olarak gerçekleşmiştir. 100 m/dak. kesme hızında maksimum kayma gerilmesi 3654,1 Mpa, 200 m/dak için 3491,1 Mpa, 300 m/dak için 3016,9 MPa ve 400 m/dak için 3000,5 Mpa olarak gerçekleşmiştir. Deformasyonlar incelendiğinde, 100 m/dak. kesme hızında maksimum deformasyon 0,0074832 mm, 200 m/dak için 0,0071542 mm, 300 m/dak için 0,0061829 mm ve 400 m/dak için 0,0061577 mm olarak gerçekleşmiştir.

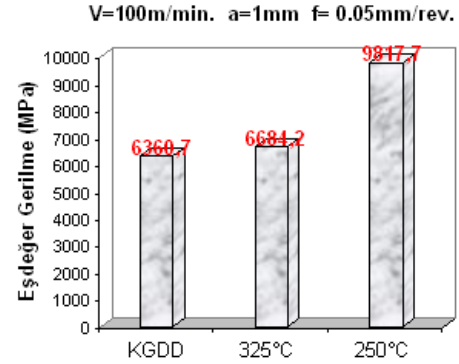


Şekil 9. Gerilmeler a) Eş değer gerilme, b) Kayma gerilmesi, c) Deformasyon (Stresses a) Equivalent stress, b) Shear stress, c) Deformation)

Şekil 10' da 100 m/dak. kesme hızında 3 farklı malzeme ile yapılan analizlerde CBN kesici takım üzerinde meydana gelen eşdeğer gerilmeler görülmektedir. KGDD malzemesi kullanılarak yapılan kesme analizinde kesici takım da meydana gelebilecek maksimum eşdeğer gerilme 6360.7 MPa, 325°C de östemperlenmiş malzeme kullanılarak yapılan kesme analizinde kesici takım da meydana gelen maksimum eşdeğer gerilme 6684.2 MPa ve 250°C de östemperlenmiş malzeme kullanılarak yapılan kesme analizinde kesici takım da meydana gelebilecek maksimum eşdeğer gerilme ise 9817.7 MPa olarak hesaplanmıştır. Görüldüğü gibi 250°C de östemperlenmiş malzeme kullanılarak yapılan kesme analizinde kesici takım da meydana gelen maksimum eşdeğer gerilmenin diğer iki malzeme için sözkonusu olan gerilmelerden daha yüksek olduğu saptanmıştır. Östemperlenme sıcaklığı arttıkça malzemenin sertliğinin artması, kesme durumunda kesici takım üzerinde meydana gelen kesme kuvveti dolayısıyla gerilmelerin de artmasına neden olacaktır. 250°C ve 325°C de östemperlenmiş malzemelerin kesme analizlerinden elde edilen değerler karşılaştırıldığında 325°C de elde edilen gerilmeler daha düşüktür.

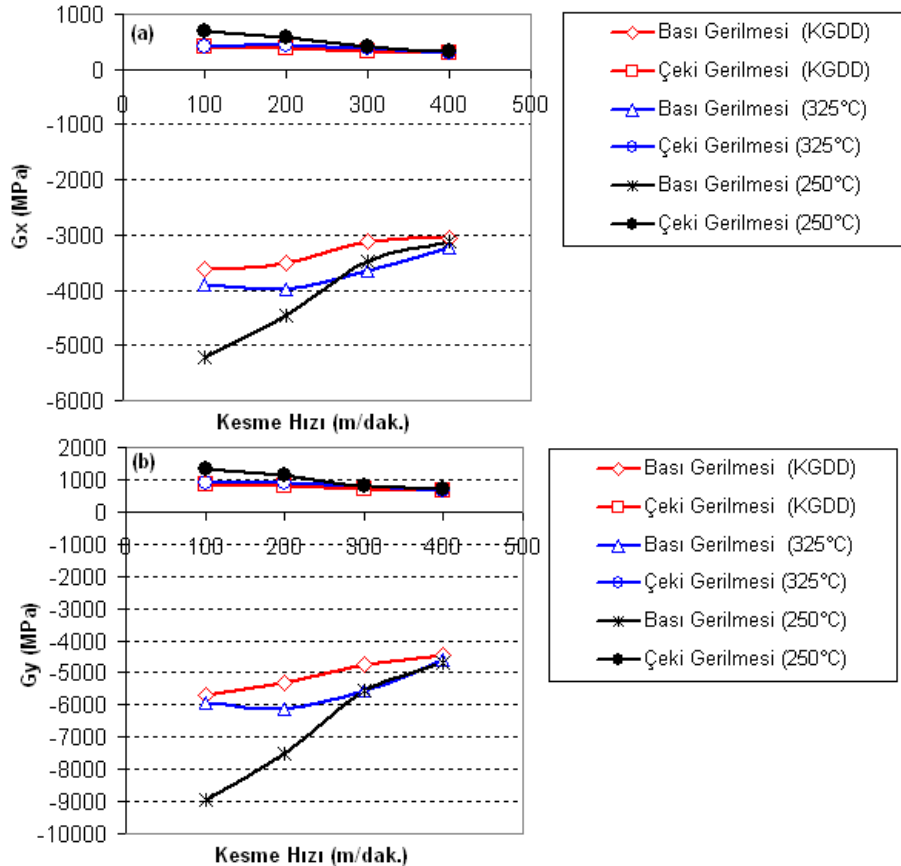
Östemperleme işlemi ile malzemelerin yapısında martenzit ve kalıntı östenit gözlenmiştir. Bu yapının oluşmasının sebebi, amaçlanan ösferrit yapısı için yeterli kadar östemperlenme süresinin kullanılmamasıdır. Böylece yapıda bir kalıntı östenik oluşmuş ve östemperleme sıcaklığıyla birlikte artmaktadır. 325°C deki malzeme yapısında daha fazla kalıntı östenit bulunmasından dolayı 250°C deki malzemeden daha

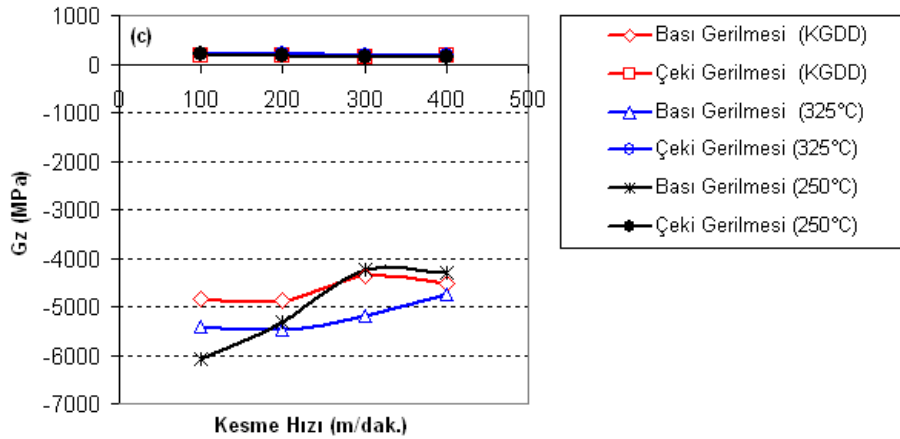
kolay kesilecektir. Sonuç olarak kesici takımında daha düşük gerilmeler ortaya çıkacaktır [15].



Şekil 10. 100 m/dak. kesme hızında farklı malzemeler de oluşan eş değer gerilmeler (Equivalent stresses in different materials in 100 m / min.)

Şekil 11. de kesici takım üzerinde meydana gelen normal gerilmeler X, Y ve Z yönlerinde G_x , G_y ve G_z olarak gösterilmiştir. Her üç yöndeki gerilmeler bası ve çeki gerilmesi şeklinde gerçekleşmiştir. 250°C de östemperlenmiş malzemenin işlenmesinde, kesici takımın üzerinde meydana gelen bası ve çeki gerilmelerinin diğer malzemelere göre daha yüksek çıktığı saptanmıştır. Kesme hızının artışının çekme ve basma gerilmelerini pek etkilemediği gözlenmiştir. Aynı zamanda bası gerilmeleri, çeki gerilmelerine kıyasla daha yüksek çıkmıştır. Bu durum kuvvetlerin kesici takım üzerinde basma kuvveti olarak uygulanması ile açıklanabilir.





Şekil 11. Normal gerilmeler a) Gx, b) Gy, c) Gz. (Normal stresses)

4. DEĞERLENDİRME (CONCLUSION)

KGDD ve farklı sıcaklıklarda östempelenmiş KGDD mazlemelerin işlenebilirlik testlerinden elde edilen kesme kuvvetleri değerlerinin, 3 boyutlu olarak modellenmiş kesici takımın, talaş yüzeyi, esas kesici kenar ve yardımcı kesici kenar üzerine ANSYS Workbench paket programında uygulanması ile östempereleme işleminin kesici takım gerilmeleri üzerindeki etkisi incelenen bu çalışmada.

- Kesici takım üzerinde meydana gelen maksimum eş değer gerilmeler kesici kenarın esas kesme kenarı üzerinde yoğunlaşmıştır.
- 250°C de östempelenmiş malzeme kullanılarak yapılan kesme analizinde kesici takım da meydana gelen maksimum eşdeğer gerilmenin diğer iki malzeme için sözkonusu olan gerilmeden daha yüksek olduğu saptanmıştır. Östempereleme sıcaklığı arttıkça malzeme sertliğinin artması, kesme anında kesici takım üzerinde meydana gelen kesme kuvveti dolayısıyla gerilmelerin de artmasına neden olmaktadır. Hasırcı [20], bu çalışmada küresel grafitli dökme demirlerde (KGDD) alarım elementleri (Cu ve Ni) ilavesi ve östempereleme süresinin mikroyapı ve çekme özelliklerine etkileri incelenmiştir. Numuneler daha sonra östenitleme sıcaklığı olan 900°C'de 90 dakika bekletildikten sonra 370°C'de değişik sürelerde (60, 90, 120, 150, 180 ve 200 dakika) östempelenmiş ve çekme deneyine tabi tutulmuştur. Östempelenmiş numunelerin çekme dayanımlarının östempereleme süresi ile alarım elementlerinin tür ve miktarlarına bağlı olarak farklılık gösterdiği görülmüştür. Genel olarak bütün numunelerde uzun östempereleme sürelerinde karbür oluşumu sonucu akma ve çekme dayanımı artarken yüzde uzama azalmıştır.
- 250°C ve 325°C de östempelenmiş malzemelerin kesme analizlerinden elde edilen değerler karşılaştırıldığında 325°C de elde edilen gerilmeler daha düşüktür. Östempereleme sırasında malzemelerin yapısında martenzit ve kalıntı östenit gözlenmiştir. Bu yapının oluşmasının sebebi, amaçlanan ösferrit yapısı için yeteri kadar östempereleme süresinin

kullanılmamasıdır. Böylece yapıda bir kalıntı östenit oluşmuş ve östempereleme sıcaklığıyla birlikte artmaktadır. 325°C deki malzeme yapısında daha fazla kalıntı östenit bulunmasından dolayı 250°C deki malzemeden daha kolay kesilecektir. Böylece 325°C de östempelenmiş malzemeyi keserken CBN kesici takımında oluşan gerilmeler analizlerde olduğu gibi daha düşük olacaktır [14]. Kırçali ve Çakır [21], ostempereleme sıcaklığının ve zamanının işlenebilirlik üzerine etkisi incelenmiştir. iç yapı resimlerinde de açıkça görüleceği gibi kalıntı östenit miktarındaki değişim ostempereleme sıcaklığına ve zamanına bağlıdır. Genel olarak ostempereleme zamanının azalmasıyla kalıntı östenit miktarı artış gösterirken sıcaklığın artmasıyla da kalıntı östenit miktarında artış gözlenir.

- 250°C de östempelenmiş malzemenin işlenmesinde, kesici takımın üzerinde meydana gelen bası ve çeki gerilmelerinin diğer malzemelere göre daha yüksek çıktığı saptanmıştır.
- Aynı zamanda, bası gerilmeleri, çeki gerilmelerine kıyasla daha yüksek çıkmıştır. Bu durum kuvvetlerin kesici takım üzerinde basma kuvveti olarak uygulanması ile açıklanabilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Attanasio A, Ceretti E, Rizzuti S, Umbrello D, Micari F. "3D finite element analysis of tool wear in machining", *CIRP Annals*, 57(1): 61-4, (2008)
- [2] Kose E, Kurt A, Seker U. "The effects of the feed rate on the cutting tool stresses in machining of Inconel 718", *Journal of Materials Processing Technology*, 196(1): 165-73, (2008)
- [3] Weon Kim K, Young Lee W, Chol Sin H. "A finite-element analysis of machining with the tool edge considered", *Journal of Materials Processing Technology*, 86(1): 45-55, (1999)
- [4] Duran A, Nalbant M. "Finite element analysis of bending occurring while cutting with high speed steel lathe cutting tools", *Materials & Design*, 26(6): 549-54, (2005)
- [5] Ghani J, Wahid SW, Haron C, Nuawi M, Ab Rahman M. *The effect of uncoated carbide tool geometries in turning AISI 1045 using finite element analysis* 2009, p.271-7.

- [6] Dechjarern S. "3D finite element investigations of the influence of tool rake angle on cutting performance", *Australian Journal of Mechanical Engineering*, 7(1): 53-9, (2009)
- [7] Uçun İ, Aslantas K. "Numerical simulation of orthogonal machining process using multilayer and single-layer coated tools", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 54(9): 899-910, (2011)
- [8] Zhou JM, Walter H, Andersson M, Stahl JE. "Effect of chamfer angle on wear of PCBN cutting tool", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 43(3): 301-5, (2003)
- [9] Attanasio A, Abeni A, Özel T, Ceretti E. "Finite element simulation of high speed micro milling in the presence of tool run-out with experimental validations", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, (2018)
- [10] Özel T, Olleak A, Thepsonthi T. "Micro milling of titanium alloy Ti-6Al-4V: 3-D finite element modeling for prediction of chip flow and burr formation", *Production Engineering*, 11(4): 435-44, (2017)
- [11] Özel T. "The influence of friction models on finite element simulations of machining", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 46(5): 518-30, (2006)
- [12] Ghani AK, Choudhury IA, Husni. "Study of tool life, surface roughness and vibration in machining nodular cast iron with ceramic tool", *Journal of Materials Processing Technology*, 127(1): 17-22, (2002)
- [13] Masuda M, Sato T, Kori T, Chujo Y. "Cutting performance and wear mechanism of alumina-based ceramic tools when machining austempered ductile iron", *Wear*, 174(1): 147-53, (1994)
- [14] Aslantas K, Uçun İ, Gök K. "Evaluation of the Performance of CBN Tools When Turning Austempered Ductile Iron Material", *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 130(5): 054503--5, (2008)
- [15] http://perso.crans.org/epalle/M2/MFNA/SNECMA_14.5_L08_Mesh_Quality.pdf. 2016.
- [16] Mustafa Günay, Mehmet Erdi Korkmaz, Yaşar N. "Finite Element Modeling of Tool Stresses on Ceramic Tools in Hard Turning", *Mechanics*, 23(3): 432-40, (2017)
- [17] Kurt A. "Modelling of the cutting tool stresses in machining of Inconel 718 using artificial neural networks", *Expert Systems with Applications*, 36(6): 9645-57, (2009)
- [18] Tang L, Huang J, Xie L. "Finite element modeling and simulation in dry hard orthogonal cutting AISI D2 tool steel with CBN cutting tool", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 53(9): 1167-81, (2011)
- [19] "ANSYSWorkbench 11.0 Material Library",
- [20] Hasırcı H. Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirlerde Alasım Elementleri (Cu ve Ni) Ve Östemperleme Süresinin Mikroyapı ve Mekanik Özellikleri Üzerine Etkileri. Ankara: Gazi Üniversitesi, 2000.
- [21] Kadir Kaan KIRCALI, Çakır MC. Östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirlerde östemperleme sıcaklığı ve zamanının işlenebilirliğe etkilerinin incelenmesi. *TİMAK-Tasarım İmalat Analiz Kongresi*. Balıkesir26-28 Nisan 2006.