

ÖSTEMPERLENMİŞ KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRİN SİNERLENMİŞ KARBÜR KESİCİ TAKIM İLE TORNALAMA İŞLEMİNDE TAKIM PERFORMANSININ İNCELENMESİ

İsmail UCUN, Kubilay ASLANTAŞ, Süleyman TAŞGETİREN ve Kadir GÖK*

Makina Eğitimi Bölümü, Teknik Eğitim Fakültesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar

*Teknik Programlar, Meslek Yüksekokulu, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya

iucun@aku.edu.tr, aslantas@aku.edu.tr, tasgetir@aku.edu.tr, kadirgok67@hotmail.com

(Geliş/Received: 20.09.2006; Kabul/Accepted: 14.03.2007)

ÖZET

Bu çalışmada, östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirin (ÖKGDD) sinterlenmiş karbür kesici takımlar ile işlenmesinde takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri deneysel olarak incelenmiştir. Dökme demir numuneleri ilk olarak tuz banyosunda 900°C de 60 dakika süreyle östenitlemeye tabi tutulmuş ve sonra 250°C ve 325°C'lerde 60 dakika süre ile östemperleme işlemi yapılmıştır. Kesme kuvvetleri üç boyutlu Kistler dinamometresi ile ölçülmüştür. Tornalama testi, sabit ilerleme, kesme derinliği ve 75 ile 250 m/dk arasında değişen kesme hızlarında yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, düşük östemperleme sıcaklıklarının kesme kuvvetlerinin artmasına neden olurken, daha iyi yüzey pürüzlülüğü elde edildiğini göstermiştir. Takımda genellikle yan yüzey yanak aşınması meydana gelmiştir. Azalan östemperleme sıcaklığı ile takım ömrü azalmaktadır. Ayrıca azalan östemperleme sıcaklığı da takım aşınmasının artmasına neden olmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Takım ömrü, Küresel grafitli dökme demir, sinterlenmiş karbür, östemperleme, kesme kuvvetleri.

INVESTIGATION OF TOOL PERFORMANCE IN TURNING OF AUSTEMPERED DUCTILE IRON WITH CEMENTED CARBIDE CUTTING TOOL

ABSTRACT

In this paper, an experimental investigation on tool wear, cutting forces and surface roughness in machining of Austempered Ductile Iron (ADI) using cemented carbide inserts is presented. Ductile iron (DI) specimens were first austenitized in salt bath at 900°C for 60 min. after which they were quenched in salt bath at 250°C ve 325°C for 60min. The cutting forces were measured using a three-component Kistler dynamometer. The turning tests were conducted with variable cutting speeds ranging from 75 to 250 m/min. under constant depth of cut and feed rate. The results indicate that the lower austempering temperature results in higher cutting forces and better surface roughness. The tool wear occurs mainly at the tool flank. Tool life decreases with decreasing austempering temperatures. Besides decreasing austempering temperature results in increased tool wear as well.

Keywords: Tool life, austempered ductile iron, cemented carbide, austempering, cutting forces.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

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 [1,2]. Kesici takımlar kesme parametrelerine bağlı olarak farklı kuvvetlere maruz kalırlar. Bu kuvvetler etkisinde kesici takım aşınmakta ve belirli bir süre sonra ömrünü tamamlamaktadır. Bu sebeple, takım ömrü, üretim maliyeti ve verim açısından talaşlı imalat endüstrisinde önemli bir yere sahiptir.

Östemperleme işleminin kesici takım aşınması üzerindeki ilk çalışma Pashby vd. [3] tarafından yapılmıştır. Çalışmada farklı türdeki seramik kesiciler kullanılarak takım ömrü üzerinde performans değerlendirilmesi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, sialon kesici takımlarının ÖKGDD malzemelerinin işlenmesi için elverişli olmadığını göstermiştir. KGDD malzemeler içerdiği alaşım elementlerine bağlı farklı mekanik özellikler sergiler. Buna bağlı olarak, işlenebilirlikleri de değişkenlik kazanacaktır. Bu bağlamda Şeker vd. [4] tarafından yapılan çalışma bu konuya oldukça ışık tutucu niteliktedir. Çalışmada, KGDD'lerde alaşım elementlerinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Alaşım KGDD malzemeler için minimum kesme kuvvetleri elde edilirken, yüzey pürüzlülük değerlerinin maksimum olduğu gözlenmiştir. Yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri açısından en optimum sonuçlar bakır ve nikel oranının %0.7 olduğu malzemelerde elde edilmiştir. Fakat çalışmada farklı kesme hızları denenmediği için konunun bu kısmı ayrıca ele alınmalıdır.

Aynı kesici takım kullanarak Şeker ve Hasırcı [5] tarafından yapılan diğer bir çalışmada, östemperleme işleminin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi kapsamlı bir çalışma ile ortaya konmuştur. Bu çalışmayla östemperleme işleminin yüzey pürüzlülüğü üzerinde olumlu etkiye sahip olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca, östemperleme işlemiyle artan mekanik özellikler, kesme kuvvetlerinin artmasına neden olduğu ortaya konulmuştur. Çalışmada, tek kesme hızı kullanıldığı için östemperlemenin takım ömrü üzerindeki etkisinden bahsedilmemiştir. KGDD malzemelerin işlenebilirlik testlerinde ucuz olması nedeniyle genellikle sinterlenmiş karbür kesici takımlar tercih edilmiştir. Sinterlenmiş karbür kesici takımla yapılan diğer bir çalışma ise Uçun vd. [6] tarafından yapılmıştır. Fakat bu çalışmada, işlenebilirlik testleri freze tezgahı kullanılarak ve farklı kesme hızları dikkate alınarak yapılmıştır.

Östemperlemeyle artan mekanik özelliklerin takım ömrü için olumsuz bir etki oluşturacağı beklenen bir sonuçtur. Bu nedenle optimum kesme parametrelerini tespit etmek için farklı kesme hızları kullanarak takım ömrünün de dikkate alınması şarttır. ÖKGDD malzemelerde takım aşınma testleri sinterlenmiş karbür kesici takımlar kullanarak Çakır vd. [7] tarafından yapılmıştır. İlk defa sinterlenmiş karbür kesici takım kullanarak üç farklı östemperleme sıcaklığı için aşınma testleri yapılmıştır. Östemperlenen numune ile KGDD malzeme arasında ciddi farklılıkların olmadığı görülmüştür. Fakat düşük östemperleme sıcaklıklarının daha çabuk aşınmaya neden olduğu ortaya konulan temel bir sonuçtur.

Bu çalışmada, aynı kesici takım için geniş aralıklı kesme hızları kullanılarak, takım ömrü değerleri elde

Tablo 1. Küresel grafitli dökme demirin kimyasal kompozisyonu (%) (Chemical composition of the ductile iron wt %)

C	Si	Mn	Mg	Ni	Cu	Mo
3.4	2.69	0.19	0.044	0.73	0.87	0.23

edilmiştir. ÖKGDD'in sinterlenmiş karbür kesici takımlar ile tornalanması işleminde takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerinin değişimi araştırılmıştır. Farklı kesme hızları ve östemperleme sıcaklıkları için takım ömrü değerleri, yüzey pürüzlülükleri ve kesme kuvvetleri tespit edilmiştir. Takım aşınmasına bağlı olarak, kesici takım ömürleri elde edilmiştir. Diğer çalışmalardan farklı olarak, aynı kesme derinliği ve ilerleme seçilmesine rağmen, farklı kesme hızları ve östemperleme sıcaklıkları ele alınmıştır.

2. DENEYSEL METOT (EXPERIMENTAL METHOD)

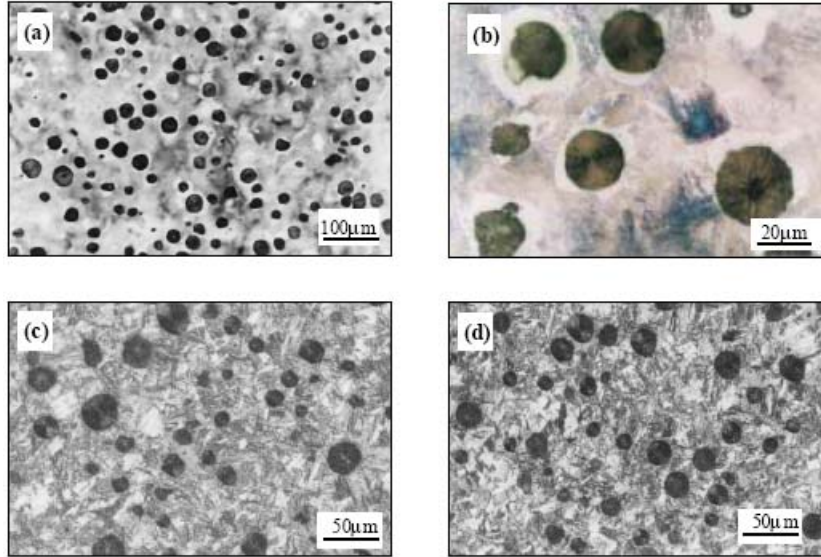
2.1. Malzeme (Material)

Çalışmada, perlitik yapıya sahip KGDD malzemeler kullanılmıştır ve döküm esnasında Ni, Cu ve Mo ilavesi yapılarak alaşım KGDD malzemesi elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan malzemeye ait kimyasal yapı Tablo 1'de verilmektedir. Küreselleştirme işlemi Mg ilavesi tekniği ile yapılmıştır. İyi bir küreselleştirmenin elde edilebilmesi için Mg miktarının %0,03 ten yüksek olması tavsiye edilmektedir [8]. Mikroskobik incelemeler sonrasında KGDD'nin matriks yapısının %80 Perlit bir yapıya sahip olduğu, küre boyutunun ~20µm ve küreselliğin de ~%95 olduğu tespit edilmiştir. Yapı içerisindeki nodül sayısı da yaklaşık 200 nodül/mm² dir.

İş parçası malzemesi olarak kullanılan KGDD'nin mikroyapısı Şekil 1'de gösterilmektedir. Östemperleme işlemine tabi tutulacak malzemeye öncelikle östenitleme işlemi uygulanır, daha sonra östemperleme yapılır. Östenitleme işlemi, genellikle 850-950°C sıcaklık aralığında parça kalınlığına bağlı olarak yapılır. Östemperleme işlemi östenitlemeye göre daha düşük sıcaklıklarda yapılmakta ve malzemenin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Bu çalışmada, 250°C östemperleme işlemiyle ösferrit bir yapı oluşturulmaya çalışılmıştır. Ösferrit ferrit + karbonca zengin östenitten oluşmaktadır. Ösferrit içerisindeki karbonca zengin östenit termodinamik olarak kararlıdır ve yüksek şekil değiştirme hızlarında martenzite dönüşebilir.

2.2. İşlenebilirlik Testleri (Machining Tests)

Sinterlenmiş karbür kesici takımlar ile KGDD ve ÖKGDD in işlenmesinde 10kW kapasiteli Johnford TC-35 CNC marka torna tezgahı kullanılmıştır. φ40x150 mm ölçülerinde hazırlanmış numunelerin işlenebilirlik testleri ISO 3685 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. KGDD'nin mikroyapısı a) Döküm, b) Döküm, c) 60 dak. için 250°C'de östemperlenmiş d) 60 dak. için 325°C'de östemperlenmiş (Microstructure of the ductile iron a) As cast b) As Cast c) Austempered at 250°C for 60 min. d) Austempered at 325°C for 60 min.)

İşlenebilirlik testleri için Iscar tarafından üretilen CNMG 120404 TF ISO kodlu sinterlenmiş karbür kesici takımlar kullanılmıştır. Kesici takıma ait uç yarıçapı 0.4 mm'dir. Takıma ait talaş ve boşluk açıları 0°'dir. Kesme kuvvetlerinin ve takım ömrünün tespitinde üç farklı kesme hızı (75, 125, 175 m/dk) seçilmiştir. 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.

Kesme kuvvetlerinin ölçülmesinde üç boyutlu ölçme yapabilen Kistler dinamometresi kullanılmıştır. Tornalama işlemi sırasında yüzey pürüzlülük değerleri MOHR firmasına ait Perthometer masa tipi pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Takım aşınma kriteri olarak ISO 3685 standardı dikkate alınmış ve yan yüzey yanak aşınma değeri $V_B=0.3$ mm olduğunda takımın aşındığı kabul edilmiştir.

3. DENEYSEL SONUÇLAR (EXPERIMENTAL RESULTS)

3.1. Kesme Kuvvetlerinin Analizi (Analysis of Cutting Forces)

Farklı östemperleme sıcaklıkları ve kesme hızları için yapılan kesme kuvvetleri ölçümlerinde elde edilen ilerleme ve asıl kesme kuvvetleri Şekil 2'de verilmektedir. En düşük ilerleme ve asıl kesme kuvvetleri KGDD'de elde edilmiştir. Bunun nedeni de; KGDD malzeme, östemperlenmiş malzemelere nazaran daha düşük mekanik özelliklere sahip olmasıdır. Östemperleme sıcaklığı ilerleme ve asıl kesme kuvvetlerini önemli ölçüde etkilemektedir. Sinterlenmiş karbür takım ile talaş kaldırma esnasında kesme hızı arttığında ilerleme kuvvetinde önemli bir

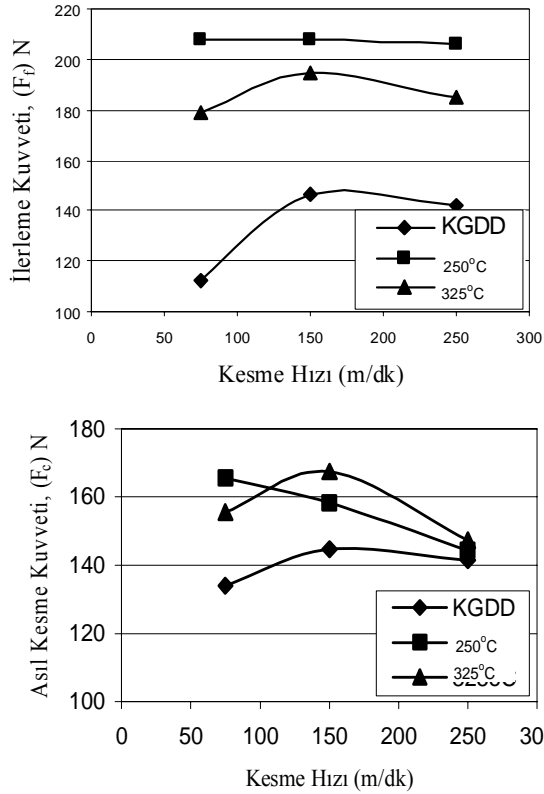
değişikliğin olmadığını söylemek mümkündür. Özellikle 250°C de östemperlenen malzeme için ilerleme kuvveti artan kesme hızıyla birlikte sabit kalmaktadır. Burada, ilginç olan diğer bir sonuç ise; östemperlenmiş numuneler için ilerleme kuvveti değerlerinin asıl kesme kuvveti değerlerinden büyük olmasıdır. Bunun nedeni seçilen ilerleme değerinin kesiciye ait uç radyüsüne oranla küçük seçilmiş olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çünkü ilerleme değerinin Denklem 1'de olduğu gibi burun uç radyüsü ile orantılı olması tavsiye edilmektedir [9].

$$f \geq 0.3 \cdot r \quad (1)$$

Burada f ilerleme değeri (mm/dev) ve r takım uç radyüsüdür. Fakat farklı ilerleme ve takım uç radyüsü değerleri dikkate alınarak ilave bir çalışma yapılmak suretiyle daha sağlıklı verilerin elde edileceği düşünülmektedir.

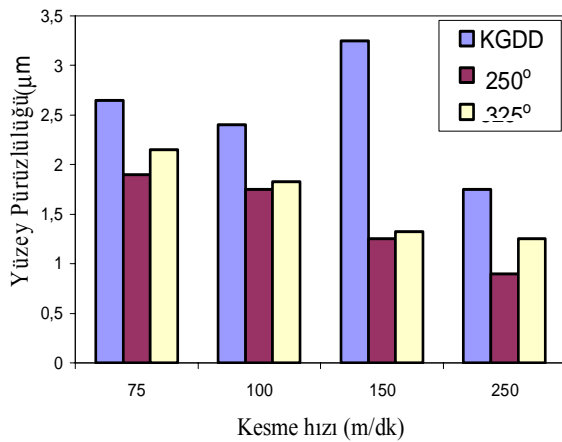
3.2. Östemperlemenin Yüzey Pürüzlülüğü Üzerindeki Etkisi (Effect of Austempering on Surface Roughness)

Çalışmada kullanılan KGDD ve ÖKGDD malzemeler için elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin kesme hızıyla değişimi Şekil 3'te verilmiştir. Azalan östemperleme sıcaklığı ve artan kesme hızıyla yüzey pürüzlülük değerleri önemli ölçüde düşmekte ayrıca en yüksek yüzey pürüzlülük değerleri KGDD'de elde edilmektedir. Bunun nedeni ise; döküm halinde olan KGDD malzemesi içerisindeki ferrit ihtivasıdır. Şeker ve Hasırcı [5] tarafından yapılan çalışmada da artan ferrit içeriğinin yüzey pürüzlülüğü değerlerinin artmasına neden olduğu vurgulanmıştır.



Şekil 2. Östemperleme sıcaklığı ve kesme hızının kesme kuvvetleri üzerine etkisi (Effect of the austempering temperature and cutting speed on cutting forces)

Ayrıca, KGDD'nin ÖKGDD'den farklı olarak kritik kesme hızında (150m/dk) yüzey pürüzlülük değerleri maksimum değerine ulaşmıştır. KGDD'in daha düşük mekanik özelliklere sahip olması ve bu kritik hızda işlenmesiyle, malzeme yüzeyinde sıvanmalar meydana geldiği ve dolayısıyla da yüzey pürüzlülüğünün arttığı düşünülmektedir.



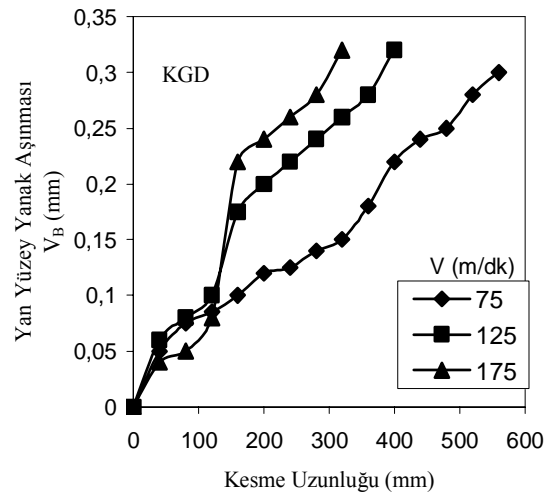
Şekil 3. Östemperleme sıcaklığına ve kesme hızına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünün değişimi ($f=0.05mm/dev$, $a_p=1mm$) (Variation of surface roughness with cutting speed and austempering temperature, $f=0.05mm/dev$, $a_p=1mm$)

3.3. Takım Aşınması Test Sonuçları (Tool Wear Test Results)

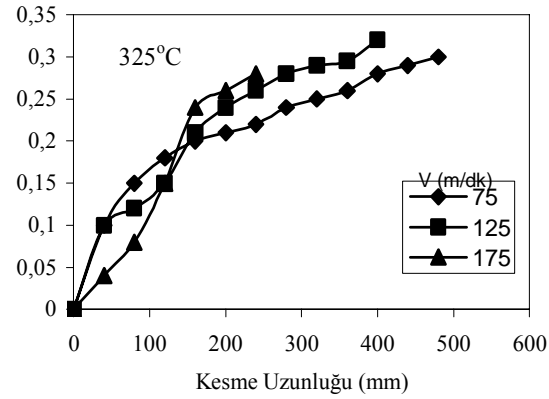
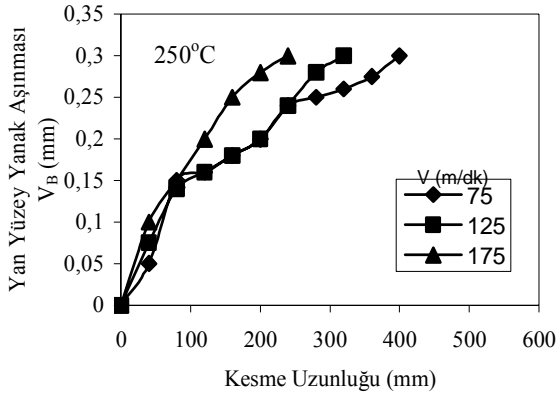
ÖKGDD ve KGDD'nin tornalama işleminde kesme uzunluğuna bağlı olarak yan yüzey yanak aşınma değerleri elde edilmiştir. Aşınma deneyleri için ilerleme, kesme derinliği ve üç farklı kesme hızı (75, 125, 175 m/dk) dikkate alınarak aşınma testleri gerçekleştirilmiştir.

KGDD malzemesi için kesme uzunluğuna bağlı olarak yan yüzey yanak aşınmasının değişimi Şekil 4'te verilmektedir. Şekilden de görüleceği üzere, ilk 120 mm'lik kesme mesafesinde her üç kesme hızı için elde edilen aşınma değerlerinde büyük bir fark gözlenmemektedir. Fakat 120 mm'den sonra kesme hızlarına karşılık gelen aşınma değerleri oldukça farklılık arz etmektedir. $V=75$ m/dk için elde edilen kesme mesafesi 560 mm iken, kesme hızı yaklaşık % 233 arttığında, kesme mesafesi % 43 azalmaktadır. Bununla birlikte, $V=175$ m/dk için 120 mm'den sonra aşınma çok daha hızlı bir seyir izlemektedir. Benzer şekilde 250°C ve 325°C de östemperlenen numuneler için elde edilen kesme uzunluğu-aşınma değerleri Şekil 5'te verilmektedir. Şekil 4'te verilen grafik ile Şekil 5 karşılaştırıldığında, düşük östemperleme sıcaklığının takımın daha kısa kesme mesafesinde daha çabuk aşınmasına neden olduğu söylenebilir. Bu durum Şekil 6'da daha da net olarak görülmektedir. Şekil 6'da verilen grafik $V=75$ m/dk için her üç iş parçası malzemesinin kesme uzunluğuna bağlı olarak aşınma değerlerini göstermektedir.

Östemperleme sıcaklığı arttıkça aşınma azalmaktadır. Östemperleme sıcaklığı düşük olan numuneler için elde edilen kesme uzunluğu değerlerinin daha düşük olduğu gözlenmiştir. Bu sebeple, düşük östemperleme sıcaklığına sahip numunelerdeki aşınma daha kısa sürede gerçekleşmiştir.

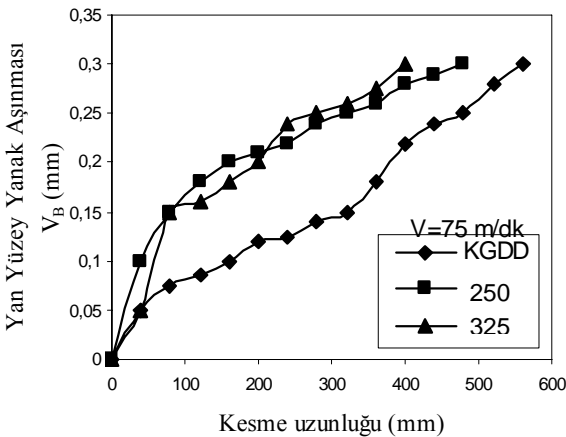


Şekil 4. Farklı kesme hızlarına bağlı olarak kesme uzunluğu ile yan yüzey yanak aşınmasının değişimi (Variation of flank wear with cutting length at various cutting speeds)

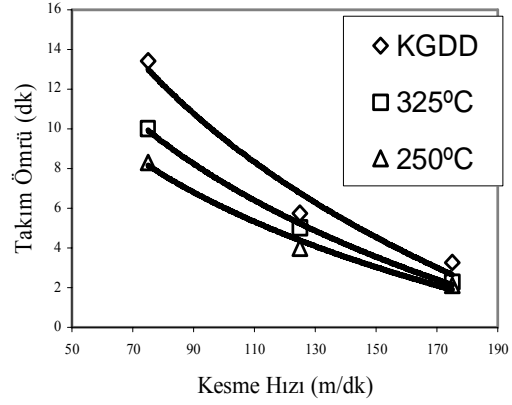


Şekil 5. Farklı kesme hızlarına bağlı olarak kesme uzunluğu ile östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirdeki yan yüzey yanak aşınmasının değişimi (Variation of flank wear in austempered ductile irons with cutting length at various cutting speeds)

Yan yüzey yanak aşınmalarına bağlı olarak elde edilen takım ömürleri Şekil 7'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere en uzun takım ömrü KGDD malzemelerde elde edilmiştir. Azalan östemperleme sıcaklığına bağlı olarak takım ömründe kısalmaktadır. 75 m/dk'lık kesme hızında, KGDD malzemesi için 13.8 dk'lık takım ömrü elde edilirken, 325 °C'de östemperleme sıcaklığına tabi tutulan KGDD malzemesi için elde edilen takım ömrü 10.2 dk'dır.



Şekil 6. Östemperleme sıcaklığına ve kesme uzunluğuna bağlı olarak yan yüzey yanak aşınmasının değişimi (Variation of flank wear with austempering temperature and cutting length at V=75m/min.)



Şekil 7. Farklı östemperleme sıcaklığına ve kesme hızına bağlı olarak takım ömrünün değişimi (Variation of tool life with austempering temperature and cutting speed)

250 °C'de östemperlenen malzeme için bu değer 8.4 dk'ya kadar düşmektedir. Alaşımlı yapıya sahip KGDD malzemeler için daha düşük seçilen östemperleme sıcaklıkları, takım aşınmasını hızlandıracak ve daha düşük takım ömürleri elde edilecektir. KGDD malzeme ile ÖKGDD malzeme için elde edilen takım ömürlerindeki fark özellikle düşük kesme hızlarında daha belirgin olarak karşımıza çıkmaktadır. Artan kesme hızı ile birlikte her üç iş parçası malzemesi için elde edilen takım ömrü değerlerinin birbirine yaklaştığı görülmektedir.

4. SONUÇLARIN TARTIŞILMASI (DISCUSSION OF RESULTS)

Kesme hızının artması ile kesici takım ve iş parçası arasında meydana gelen sıcaklık artmakta ve bundan dolayı iş parçasının yüzeyi yumuşamaktadır. Yumuşamanın etkisi ile kesici takım ve iş parçası arasındaki sürtünme azaldığından dolayı kuvvet değerleri düşmektedir. Bununla birlikte, en düşük kuvvet değerleri KGDD malzemesi için elde edilmiştir. Asıl kesme kuvvetleri kesme hızının artması ile belirli bir düşme eğilimi göstermiştir. Fakat ilerleme kuvveti için benzer bir ifadeyi kullanmak doğru olmaz. Bu nedenle ilave bir çalışma ile ilerleme değerleri kullanarak, ilerleme ve asıl kesme kuvvetlerinin değişimi araştırılmalıdır.

En iyi yüzey pürüzlülük değerleri, düşük sıcaklıkta östemperlenmiş KGDD malzemelerde elde edilmiştir. Östemperleme işlemi malzemeye belirli bir sertlik kazandırdığından, kesme esnasında kesici takım ve iş parçası arasında meydana gelen plastik deformasyon daha az olmaktadır. Bu sayede talaş, malzeme yüzeyine sıvanmamış ve daha düzgün yüzey yapısı elde edilmiştir. Takım aşınması testinde, kesme hızının artması yan yüzey yanak aşınmasını önemli ölçüde hızlandırmakta ve takım ömrünün azalmasına neden olmaktadır. Östemperleme işlemi sayesinde gerek kesme kuvvetlerinin artışı ve gerekse takım ömründeki azalma beklenildiği kadar büyük boyutlarda olmamıştır.

5. SONUÇ (CONCLUSION)

KGDD ve ÖKGDD'lerin sinterlenmiş karbür kesici takım kullanılarak yapılan tormalama işleminde takım aşınması, takım ömrü ve yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Bu değerlerin elde edilmesinde farklı kesme hızları ve östemperleme sıcaklıkları dikkate alınmıştır. Yapılan deneysel çalışma ile aşağıda sıralanan sonuçlar elde edilmiştir.

- Östemperleme sıcaklığı kesme kuvvetleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Fakat $V=250$ m/dk lık kesme hızında östemperlemenin asıl kesme kuvveti üzerinde etkisinin olmadığı söylenebilir.
- Kesme hızının artması yüzey pürüzlülüğünü düşürmektedir. Düşük sıcaklıklarda yapılan östemperleme işlemi işlenen parça yüzeyinde olumlu bir etkiye sahiptir. Yüksek östemperleme sıcaklıklarında ise, yüzey pürüzlülüğü artmaktadır. Sonuç olarak, en iyi yüzey kalitesi için düşük östemperleme sıcaklıkları ile yüksek kesme hızları tercih edilmelidir. Fakat hem östemperleme işlemi hem de artan kesme hızı takım ömrünü olumsuz etkileyeceğinden takım ömrünün mü, yoksa yüzey kalitesinin mi ön plana çıkması gerektiğine karar verilmelidir.
- Yapılan bu çalışmada düşük östemperleme sıcaklıklarının takım aşınmasını hızlandırdığı ve takım ömrünün azalmasına neden olduğu görülmüştür. Artan kesme hızıyla östemperlemenin hem kesme kuvvetleri üzerinde hem de takım ömrü üzerindeki etkisi azalmaktadır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Ghani, A.K., Choudhury, I.A., Husni, "Study of Tool Life, Surface Roughness and Vibration in Machining Nodular Cast Iron with Ceramic

Tool", **J. of Materials Processing Tech.**, Cilt 127, 17-22, 2002.

2. Masuda, M., Sato, T., Kori, T., Chujo, Y., "Cutting Performance and Wear Mechanism of Alumina-Based Ceramic Tools when Machining Austempered Ductile Iron", **Wear**, Cilt 174, No 1-2, 147-153, 1994.
3. Pashby, I.R., Wallbank, J., Boud, F., "Ceramic Tool Wear when Machining Austempered Ductile Iron", **Wear**, 162-164, 22-33, 1993.
4. Şeker, U., Çiftçi, İ., Hasırcı, H., "The Effect of Alloying Elements on Surface Roughness and Cutting Forces during Machining of Ductile Iron", **Materials & Design**, Cilt 24, No 1, 47-51, 2003.
5. Şeker, U. and Hasırcı, H., "Evaluation of Machinability of Austempered Ductile Irons in Terms of Cutting Forces and Surface Quality", **Journal of Materials Processing Technology**, Cilt 173, No 3, 260-268, 2006.
6. Uçun, İ., Aslantaş, K., Taşgetiren, S., "Küresel Grafitli Dökme Demirin Sinterlenmiş Karbür Kesici Takım ile Yüzey Frezeleme İşleminde Takım Aşınması ve Ömrü", **3. Ulusal Makine Tasarım ve İmalat Teknolojileri Kongresi**, Konya, 16-17 Eylül 2005.
7. Cakır, M.C., Bayram, A., Işık, Y., Salar, B., "The Effects of Austempering Temperature and Time onto the Machinability of Austempered Ductile Iron", **Materials Science and Engineering: A**, Cilt 407, No 1-2, 147-153, 2005.
8. İzgiz, S., **Küresel Grafitli Dökme Demirler**, Ankara, 1988.
9. Shanmugan, S., Krishnamurthy, R., "Machinability Study of Pearlitic Spheroidal Graphite Cast Iron", **Int. J. Prod. Res.**, Cilt 30, No 1, 189-197, 1992.