

GGG 40 Küresel Grafitli Dökme Demirlerin İnce Tornalama Operasyonlarında Kesme Kuvvetlerinin ve Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi

Alaattin KAÇAL, Mahmut GÜLESİN, Ferhat MELEK

ÖZET

Bu çalışmada, küresel grafitli dökme demirlerin (KGDD) yüksek kesme hızlarında son bitirme işlemlerinde kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü incelenmiştir. Deneyler; ısıtılma işlemi yapılmadan hazırlanan numunelere, seramik ve CBN kesiciler kullanılarak yapılmıştır. Kesici takımlar üç farklı kesme hızı (600-700-800 m/dak) ve dört farklı ilerleme (0.05-0.08-0.12-0.16 mm/dev) değerinde kullanılmıştır. Deney sonuçlarına göre; en iyi pürüzlülük değeri seramik kesici ile kesme hızının 600 m/dak ve ilerlemenin 0,05 mm/dev olduğu kesme şartında 0.4 µm değeriyle elde edilmiştir. Isıtılma işlemi görmemiş KGDD'nin son bitirme işleminde elde edilen yüzey pürüzlülüğü sonuçlarına göre taşlama gibi ikincil bir işlemin gerekmediği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Küresel grafitli dökme demir, İşlenebilirlik, Kesme kuvvetleri Yüzey pürüzlülüğü.

Evaluation of Cutting Forces and Surface Roughness at Finish Turning of GGG 40 Ductile Iron

ABSTRACT

In this study, cutting forces and surface roughness have been investigated at finish turning operations of GGG 40 ductile iron at high cutting speed. Experiments were performed on GGG 40 ductile iron specimens without heat treatment by using ceramic and CBN cutting tools. The cutting tools were used at 3 different cutting speed (600-700-800 m/min) and 4 different feed rate (0.05-0.08-0.12-0.16 mm/rev) values. According to the experimental results; the best value of surface roughness have been obtained as 0.4 µm with ceramic tool at cutting condition of 600 m/min cutting speed and 0,05 mm/rev feed rate. With respect to the results of surface roughness obtained from finishing of ductile iron without heat treatment, it was seen that secondary operation such as a grinding was not required.

Keywords: Ductile iron, Machinability, Cutting forces, Surface roughness.

1. GİRİŞ

KGDD'ler diğer dökme demirler ve çelik dökümler ile karşılaştırıldığında; mükemmel dökülebilirliği, düşük ergime noktası, ısıtılma uygunluk, daha yüksek aşınma direnci, daha iyi yüzey kalitesi ve ağırlık mukavemet oranı gibi daha üstün özelliklere sahiptir (1,2). Bu özellikleri nedeni ile boru ve krank milleri gibi endüstriyel uygulamalarda çok tercih edilmektedirler (3, 4).

KGDD'lerin sahip olduğu üstün mekanik özellikler yapılarına eklenen alaşım elementleri ve ısıtılma işlemleri ile elde edilebilmektedir. İlave edilen alaşım elementlerinin tür ve miktarları; sementit oluşumunu, grafit küreselleşmesi ve dağılımı ile matris mikro yapı türünü etkilediği için büyük önem taşımaktadır (5). Özellikle de östemperleme işlemi ile dökme demir sı-

nıflarında önemli mekanik ve işlenebilirlik özellikleri elde edilmiştir (4). Dökme demirlerin yapısında ferrit ve carbonca zengin östenit vardır. KGDD'lerin mekanik özellikleri, alaşım elementleri, östenitleme ve östemperleme sıcaklıkları ve bekleme süreleri ile ilişkilidir (6-9).

KGDD'lerin, gri ve temper dökme demire göre daha kötü olan işlenebilirliğinin çelikler ile karşılaştırıldığında daha iyi özellikler gösterdiği bilinmektedir (6). Dört temel dökme demir çeşidinin birbirine göre işlenebilirliği iyiden kötüye doğru: gri dökme demir, temper dökme demir, küresel grafitli dökme demir ve hızlı soğutulmuş (çil) beyaz dökme demir olarak sıralanabilir (10). Dökme demirlerin işlenebilirlikleri yapı ve sertlikle belirlenir. Küresel grafitli dökme demirlerin kolay işlenebilirliğini etkileyen ve bu açıdan çeliklere üstün oluşunun önemli nedeni yapısındaki grafit partikülleridir. Grafit partikülleri kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünü etkilerken, matris ise takım ömrünü belirleyen temel faktördür (11). Dökme demirlerin orta kaba ve son bitirme işlemlerinde taşlama ve honlama kalitesinde yüzey pürüzlülüğü elde etmek mümkündür (12).

Makale 11.02.2008 tarihinde geldi, 21.07.2008. tarihinde yayınlanmak üzere kabul edilmiştir.

A. KAÇAL, M. GÜLESİN, F. MELEK, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü
06500 Teknikokullar/ANKARA
akacal@gazi.edu.tr

Digital Object Identifier 10.2339/2008.11.3.229-234

Şeker ve diğerleri (2) ; KGDD’i değişik oranlarda Ni ve Cu ile alaşımlayarak, onların mikro yapısını ve mekanik özelliklerini, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü açısından incelemişlerdir. En iyi sonuçlar %7Ni ve %7Cu alaşımlı KGDD türünden elde edilmiştir. Ayrıca son dönemlerde alaşım elementlerinin dökme demirler üzerindeki etkileri üzerine bir çok araştırma yapılmıştır (13-14).

Dökme demirlerin işlenebilirliği üzerine literatürde bazı pratik kesme parametreleri değerlerini bulmak mümkündür (10,11-15). Ancak, bu kaynaklarda belirli durumlarda uygulanan pratik bilgiler verilmektedir. Seah and Sharma (16), Ni ile alaşımlandırılmış dökme demirlerin farklı östemperleme sıcaklıklarında sergilediği işlenebilirliği, değişik kesme hızı ve ilerleme oranlarında, kaldırılan talaş hacmi ve güç tüketimi açısından değerlendirmiştir. Yine Çakır ve diğerleri de (4,7) farklı östemperleme sıcaklıklarının ve zamanlarının işlenebilirlik üzerindeki etkisini, kesme kuvvetleri, takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü açısından değerlendirmiştir. Moncada ve diğerleri (17), östemperlenmiş dökme demirlerin standart test prosedürleri ile tornalanması esnasında işlenebilirliği etkileyen değişkenleri araştırmıştır. Şeker ve Hasırcı (6), farklı mikroyapılardaki östemperlenmiş dökme demirlerin işlenebilirliğini kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü açısından değerlendirmişlerdir.

Bu çalışmada, kullanılacağı yerde ısıl işlem gerektirmeyen KGDD’lerin son bitirme işlemlerinde, seramik ve CBN kesicilerle yüksek kesme hızlarının uygulanmasının yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. MALZEME ve METOT

2.1. Deneysel Numunesi

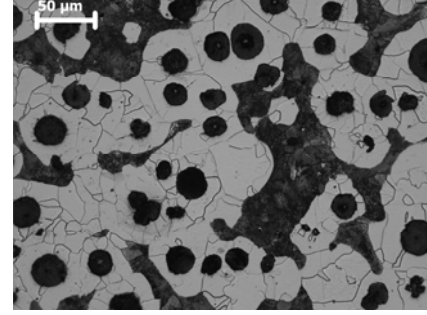
Deneye malzemesi olarak, yaygın kullanım alanı olan ve talaşlı üretim ile şekil verilebilirliği tatmin edici olan KGDD’den ferritik yapıda olan GGG 40 serisi tercih edilmiştir. Sertlik ölçümlerinde Instron-Wolpert marka Diatestor 7551 model sertlik ölçüm cihazı kullanılmıştır. Ölçümlerde Vickers (5 kgf yükte) sertlik ölçme yöntemi kullanılmıştır. Aynı numune için 10 değişik noktadan ölçülen sertlik değerlerinin ortalaması alınmıştır. Ölçüm sonucunda 226 HV sertlik değeri elde edilmiştir. Task Metal firmasından satın alınan deney malzemesinin kimyasal içeriği Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Deneysel numunelerinin kimyasal bileşimi

Kimyasal bileşim (%)							
C	Si	Mn	P	S	Mg	Ni	Fe
3.8	1.9	0.1	0.03	0.004	0.034	0.015	Kalan

Küresel dağılımı belirlemek amacıyla numuneler standart metalografik yöntemlerle (Zimparalama + Polisaaj) metalografik inceleme için hazırlanmıştır. Dağlayıcı olarak % 2’lik Nital çözeltisi kullanılmıştır. Bütün mikroyapıların görüntülenmesinde Leica DFC 320 dijital kamera bağlantılı Leica DM 4000 M marka optik mikroskop kullanılmıştır. Mikroyapı fotoğrafı Şekil 1’de verilmiştir. Mikroyapı resmi incelendiğinde dökme

durumundaki KGDD’in yapısının ferrit + perlit (ferrit+sementit) + grafit kürelerinden meydana geldiği görülmüştür.



% Ferrit	% Perlit	% Grafit
52.9	36,6	10.5

Şekil 1. Deneysel numunesinin mikroyapısı

100 mm çapındaki numuneler, dış yüzeylerindeki karasız ve curufllu katmandan arındırmak için 2 mm kaba olarak tornalandıktan sonra ince tornalama deneyleri yapılmıştır.

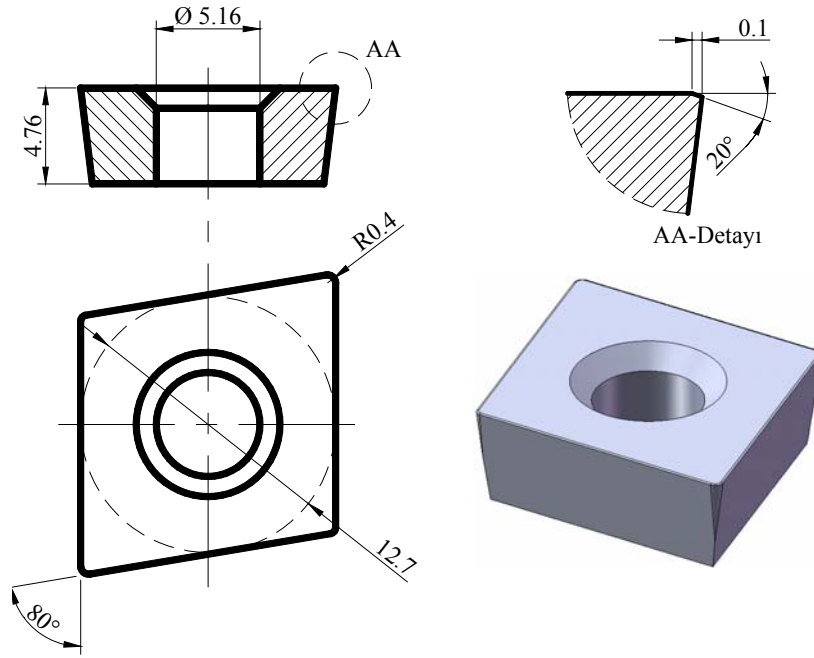
2.2. İşleme Şartları

Kesme deneyleri, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Talaşlı Üretim Anabilim Dalı laboratuvarlarında yapılmıştır. Deneyler, Fanuc kontrol sistemine sahip 6 KW gücünde Jhonford T35 CNC torna tezgâhında kuru kesme şartlarında yapılmıştır. Deneylerde, CBN ve seramik olmak üzere 2 farklı kesici tipi kullanılmıştır. Mekanik sıkımlı değiştirilebilir bu uçlar ISO 1832’ye uygun olup takım tutucu biçimi ise ISO 5608’e göre SCLR/L-2525-M12 olarak seçilmiştir. Tablo 2’de kullanılan kesici uçlara ve takım tutucuya ait bilgiler verilmiştir. Her iki kesicinin kesici kenarlarında 0.1 mm genişliğinde ve 20° açılı pah vardır. Şekil 2’de kesici uçların ölçülerinin bulunduğu teknik çizim verilmiştir. Kesme kuvvetlerinin ölçümü için CNC torna tezgahına adapte edilmiş, tornalamada oluşan üç kuvveti (esas kesme kuvveti “F_c”, ilerleme kuvveti “F_f” ve Pasif/radyal kuvvet “F_p”) aynı anda ölçebilen KISTLER 9257B 3 bileşenli piezo-elektrik dinamometre, KISTLER 5070A çok kanallı amplifiyer, ile yardımcı donanım ve yazılım kullanılmıştır.

Tablo 2. Kesici uç ve takım tutucu teknik özellikleri

Kesici Uç	Açıklama / Marka
CCGW 120404 TNCE	Kaplamasız seramik / NTK
CCMW 120404T CBN	Kaplamasız / JD
Takım Tutucu	
SCLCR/L-2525-M12	Kr: 95° / TAKIMSAŞ

Her bir deneyden sonra işleme kalitesinin ve etkilendiği parametrelerin tespiti için yüzey pürüzlülükleri ölçülmüştür. Pürüzlülük ölçümü ilerleme yönünde (kesme izlerine dik) yapılmıştır. Ölçüm işlemlerinde ISO 4288 uyulmuş ve örnekleme uzunluğu (λ) 0.25 mm ve ölçme uzunluğunun (L) 1.75 mm alınmıştır. Yüzey pürüzlülüklerinin ölçümü için; 2 µm iğne uç yarı çaplı,



Şekil 2. Kullanılan kesici uçların ölçüleri

0.75 mN tarama kuvveti ve 0.5 m/sn tarama hızı olan 9633 seri numaralı Mahr Perthometer M1 yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı kullanılmıştır.

Kesme deneyleri Tablo 3'teki parametreler kullanılarak kuru kesme şartlarında yapılmıştır. Seramik ve CBN kesiciler için yapılarına uygun olarak yüksek kesme hızları belirlenmiştir.

Tablo 3. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri

Parametre	Değerler
Kesme Hızı (Vc), (m/dak)	600 - 700 - 800
İlerleme (f), (mm/dev)	0.05 - 0.08 - 0.12 - 0.16
Kesme Derinliği (a), (mm)	0.25

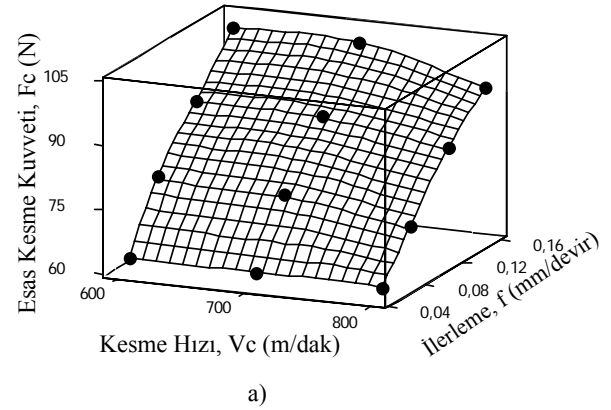
3. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

3.1. Kesme Kuvvetleri

Kesme deneyleri sırasında ölçülen kesme kuvvetlerinden, esas kesme kuvveti (F_c)'nin kesme hızı ve ilerleme ile ilişkisini gösteren üç boyutlu yüzey grafiği Şekil 3'de verilmiştir.

Seramik ve CBN kesicilerde artan kesme hızıyla birlikte, özellikle yüksek ilerleme değerlerinde esas kesme kuvvetinde diğer ilerleme değerlerine nazaran daha belirgin bir azalma görülmüştür. Bu azalma artan kesme hızıyla birlikte artan talaş kaldırma sıcaklığına ve takım-talaş temas uzunluğunun azalmasına atfedilebilir. Artan sıcaklıkla birlikte kesme bölgesinde işlenen malzemenin akma mukavemeti düşerek kesme kuvvetlerinde azalmaya sebep olmaktadır (18-19). Başta CBN olmak üzere, seramik ve CBN kesicilerin sert malzemelerin yüksek kesme hızlarında işlenmesinde daha iyi

sonuç verdikleri düşünülürse (20), ortaya çıkan bu durum beklenen bir sonuçtur.



Şekil 3. Kesme kuvveti (F_c)'nin kesme hızı ve ilerleme ile ilişkisi, a) Seramik kesici takım b) CBN kesici takım

Esas kesme kuvvetinin (F_c) ilerlemeye bağlı olarak değişimi incelendiğinde; her iki kesici için, ilerlemenin artışı ile birlikte F_c değerinde önemli oranda artmaktadır. Örneğin 600 m/dak kesme hızında; ilerleme değerinin 0.05 mm/devir'den % 220'lik bir artışla 0.16 mm/devir'e çıkmasıyla F_c 'de seramik ve CBN kesici uçta da ortalama %163 degeriyle aynı oranda bir artış görülmüştür. Kullanılan seramik ve CBN kesiciler arasında F_c kesme kuvveti açısından işlenen deney numunesi için kayda değere bir fark görülmemiştir.

Tablo 4. Kesme kuvveti bileşenleri sonuçları

Kesici Takım	Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme (mm/dev)	F_f (N)	F_p (N)	F_c (N)
Seraamik	600	0.05	25.52	34.57	62.59
		0.08	26.77	35.56	77.6
		0.12	30.98	43.38	89.98
		0.16	31.87	47.09	101.88
	700	0.05	31.58	41.52	62.4
		0.08	31.37	43.15	76.54
		0.12	32.98	40.46	89.54
		0.16	31.65	46.39	101.57
	800	0.05	27.84	37.98	62.14
		0.08	29.76	37.57	72.42
		0.12	30.92	47.71	85.39
		0.16	29.04	48.83	94.34
CBN	600	0.05	32.11	40.88	66.41
		0.08	35.30	45.61	77.98
		0.12	40.00	57.56	96.24
		0.16	40.55	62.72	108.42
	700	0.05	34.77	48.32	67.4
		0.08	31.20	46.83	76.70
		0.12	35.79	54.93	90.53
		0.16	35.36	59.38	101.51
	800	0.05	38.84	82.30	66.90
		0.08	35.09	54.43	74.58
		0.12	38.32	77.04	86.50
		0.16	38.10	77.56	97.29

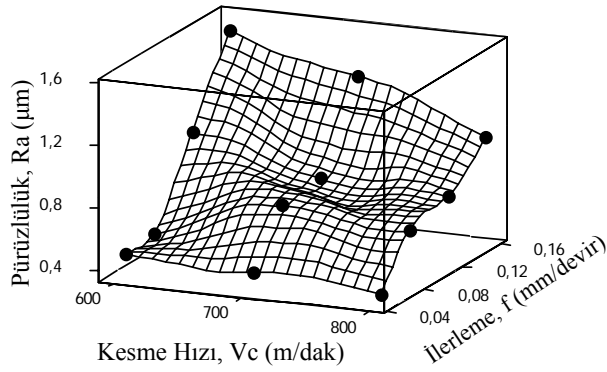
Kesme parametrelerine bakıldığında kesme derinliği kesici takım uç yarıçapından küçük olduğundan kesme işlemi büyük yarıçaplı uç ile kesme gibi gerçekleşmiştir. Bu durumda pasif (radyal) kuvvet F_p büyümekte ve titreşimlere bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü artmaktadır (20). Pasif (radyal) kuvvet F_p yaklaşık olarak F_c kuvvetinin 0.1-0.2 katıdır. Aynı şekilde ilerleme kuvveti F_f değeri F_c kuvvetinin 0.2-0.3 katıdır (21). Tablo 4'de verilen değerler incelendiğinde F_p kuvveti, kesme derinliğinin kesici takım uç yarıçapından küçük olması nedeni ile F_f kuvvetinden büyük çıkmıştır. Düşük ilerleme değerlerinde F_p kuvvetinin F_c 'ye bağlı oransal değeri daha büyük iken artan ilerleme değerlerinde daha küçük olmuştur.

3.2. Yüzey Pürüzlülüğü

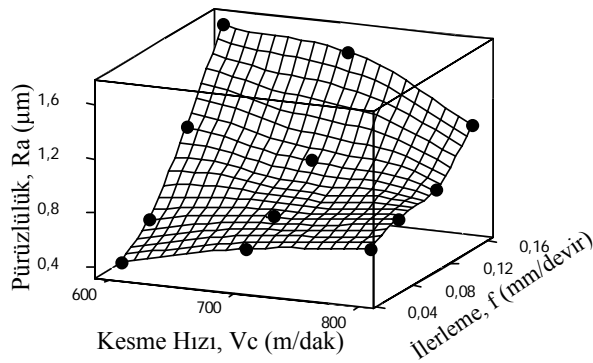
Kesme deneylerinin sonunda işlenen yüzeylerde meydana gelen ortalama yüzey pürüzlülüğünün (Ra)

kesme hızı ve ilerleme ile ilişkisini gösteren üç boyutlu yüzey grafiği Şekil 4'de, verilmiştir. Grafikler incelendiğinde; ilerleme değerinin yüzey pürüzlülüğü değeri üzerinde en etkin parametre olduğu görülmektedir ve bu durum literatür (20,22-23) ile paralellik arz eder. Tüm deneylerde ilerleme değerinin artışı ile işlenmiş yüzeyde çukur ve tepe değerleri arasındaki mesafe artacağından, elde edilen ortalama pürüzlülük değeri de (Ra) artmıştır (24). Ayrıca deney malzemesinin düşük sertlikteki ve büyük oranda ferritik yapıda olması kesme kuvvetleri üzerinde olumlu etkiye

sahip iken yüzey pürüzlülüğünü olumsuz olarak etkilemiştir (6). CBN için kesme hızının artmasına karşılık 0.08 mm/dev ve 0.05 mm/dev ilerlemedeki deneyler hariç yüzey pürüzlülüğü azalmıştır. Şekil 4-a'da 700 m/dak kesme hızında pürüzlülük değerinde 0.12 mm/dev. ilerleme değerinde beklenin aksine bir azalma görülmüştür. Bu durum; F_p kuvvetinin 0.12 mm/dev. ilerlemedeki değerinin 0.05-0.08 mm/dev. ilerlemelerdeki değerinden daha az olması ve buna bağlı olarak titreşimin bir miktar azalmasına atfedilebilir. Ölçülen pürüzlülük değerleri teorik ideal yüzey pürüzlülüğü ile kıyaslanmıştır. İdeal pürüzlülük değerleri, ilerleme değerlerine bağlı olarak 1 numaralı eşitlik ile hesaplanmıştır. Hesaplanan ve kesme deneyleri sonucunda ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerleri Tablo 5'de verilmiştir



a)



b)

Şekil 4. Yüzey pürüzlülüğü (Ra)'nın kesme hızı ve ilerleme ile ilişkisi, a) Seramik kesici takım b) CBN kesici takım

$$Ra = \frac{0.0321f^2}{r_e} \quad (\mu\text{m}) \quad (1)$$

Ra : Ortalama pürüzlülük (μm)

f : İlerleme (mm/devir)

 r_e : Kesici uç yarıçapı (mm)

Tablo 5. Teorik ve deneysel yüzey pürüzlülükleri.

Kesme Hızı (m/dak)	İlerleme (mm/dev)	İdeal (Teorik) Ra (μm)	Seramik Ra (μm)	CBN Ra (μm)
600	0.05	0.2	0.48	0.40
	0.08	0.5	0.50	0.60
	0.12	1.15	1.00	1.11
	0.16	1.2	1.50	1.17
700	0.05	0.2	0.45	0.60
	0.08	0.5	0.77	0.72
	0.12	1.15	0.80	0.97
	0.16	1.2	1.30	1.60
800	0.05	0.2	0.40	0.70
	0.08	0.5	0.70	0.80
	0.12	1.15	0.77	0.85
	0.16	1.2	1.00	1.16

Tablo 5'de verilen değerlere bakıldığında tüm kesme hızlarında her iki takım için 0,05 ve 0,08 mm/dev ilerleme değerlerinde ölçülen pürüzlülük değerleri teorik yüzey pürüzlülüğünün üzerinde çıkmıştır. Ancak 0,12 ve 0,16 mm/dev ilerleme değerlerinde 700 m/dak kesme hızı ve 0,16 mm/dev ilerleme değerinde ölçülen pürüzlülük hariç teorik pürüzlülük değerinin altında kalmıştır. Tablo 4'de verilen F_p kuvvetleri incelendiğinde düşük ilerleme değerlerinde F_p kuvvetlerinin F_c 'ye bağlı oransal değerlerinin daha büyük, artan ilerleme değerlerinde daha küçük olduğu görülmüştür. Bu verilere göre, yüzey pürüzlülüklerinin değişimi de F_p kuvvetindeki değişimlere paralel olmuştur. 600 m/dak kesme hızı - 0,05 mm/dev ilerleme ve 700 m/dak kesme hızı - 0,08 mm/dev ilerleme değerlerinde CBN kesici seramik kesiciden daha iyi sonuç vermiştir. Yüzey pürüzlülüğü sonuçlarına bakıldığında daha önceki çalışmalarda (12) dökme demirin son bitirme işlemi için açıklanan 1.27 μm değerinin oldukça altında değerler elde edilmiştir. Kesme hızının 600 m/dak ve ilerlemenin 0,05 mm/dev olduğu kesme şartında 0.4 μm yüzey pürüzlülüğü elde edilmiştir. Isıl işlem görmemiş ferritik deney numunesinin düşük sertliği de dikkate alındığında elde edilen yüzey pürüzlülükleri ısıl işlem yapılarak perlit oranının artırılması ile elde edilebilen pürüzlülük değerlerinin altında kalmıştır. Kaba taşlama için beklenen 0.52 μm'nin dahi altında bir değer elde edilmiştir.

4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

- Seramik ve CBN kesicilerle yapılan deneylerin sonuçlarına göre ölçülen kesme kuvvetleri arasında kayda değer bir fark görülmemiştir. Ancak yüzey pürüzlülüğü açısından genelde seramik kesici takım daha iyi sonuç vermiştir.
- CBN kesicilerin yerine seramik kesicilerin kullanılması satın alma bedellerinin daha düşük olması ve aynı yüzey pürüzlülüğü performansının sağlamaları nedeniyle daha uygun olabilir.
- Genel olarak teorik yüzey pürüzlülüğü değerinin altında kalmıştır. En iyi pürüzlülük değeri seramik kesici ile kesme hızının 600 m/dak ve ilerlemenin 0,05 mm/dev olduğu kesme şartında 0.4 μm değerinde elde edilmiştir.
- Isıl işlem görmemiş KGDD'de yayınlanmış makalelerde verilen değerlerin altında bir yüzey pürüzlülüğü elde edilmiştir.
- Yüzey pürüzlülüğü açısından elde edilen sonuçlar işlenen parçanın tornadan sökülmeden taşlama kalitesinde işlenebileceğini ve bu yüzden ikinci bir operasyona gerek kalmayacağını göstermiştir.
- Tek bağlamada hem kaba hem de taşlama kalitesinde son bitirme işleminin yapılabilmesi üretilen parçaların maliyeti açısından oldukça önemlidir.

5. TEŞEKKÜR

Yazarlar, bilimsel araştırması projeleri kapsamında 07/2006-13 proje kod numarası ile bu çalışmaya destek sağlayan Gazi Üniversitesi Rektörlüğüne teşekkürlerini sunar. Ayrıca kesme deneylerinin yapılmasındaki desteklerinden dolayı Prof. Dr. Ulvi ŞEKER'e, mikroyapı çalışmalarındaki desteklerinden dolayı Dr. Hasan HASIRCI ve Volkan KILIÇLI'ya teşekkürlerini sunarlar.

6. KAYNAKLAR

- Machinability and References, Ductile Iron Society, 1995.
- Şeker, U., Çiftçi, İ. ve Hasırcı, H., The Effect of Alloying Elements on Surface Roughness and Cutting Forces During Machining of Ductile Iron Materials & Design, 2003.
- Kalpajian S., Manufacturing processes for engineering materials, Addison-Wesley Publishing Company; 1985.
- Çakır, M. C., Bayram, A., Işık, Y. ve Salar, B. The effects of austempering temperature and time onto the machinability of austempered ductile iron, Materials Science & Engineering, 2005.
- Hasırcı, H., Östemperlemenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirlerde Alaşım Elementleri (Cu ve Ni) ve Östemperleme Süresinin Mikroyapı ve Mekanik Özellikler Üzerine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2000.
- Şeker U., Hasırcı H. Evaluation of Machining of Austempered Ductile Irons in Terms of Cutting Force and Surface Quality. Journal of Material and Process Technology, 173:260-8, 2006.
- Çakır, M. C., Işık, Y., Investigating The Machinability of Austempered Ductile Irons Having Different Austempering Temperatures and Times, Materials and Design, Accepted 2007.
- Özel, A., GGG 40-80 Sınıfı Dökme Demirlerde Östemperleme Isıl İşleminin Darbe Direnci ve Darbe Geçiş Sıcaklığına Etkisinin İncelenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 1994.
- Shih, T., S., Lin, C., K. and Twan, H., Z., Mechanical Properties of Various Section ADIs, AFS Trans. 26-97 367-376, 1997.
- Machining Ductile Irons, International Nickel Co. Inc., New York, 2001.
- Machining Data Handbook, 3rd ed., Metcut Research Associates, Inc., Cincinnati, OH, 1980.
- Ductile Iron Data for Design Engineer, Ductile Iron Society (DIS), 2001.
- Refaey A, Fatahalla N. Effect of Micro on Properties of ADI and Low Alloyed Ductile Iron. Journal of Material Science 38:351-62, 2003.
- Lin, B., Y., Chen, E., T. and Lei, T., S., The Effect of Alloy Elements on Thermostructure and Properties of Austempered Ductile Irons. Scripta Metall Mater., 32:1363-7, 1995.
- The Iron Casting Handbook, Iron Casting Society, Inc., 1981.
- Seah, K.H.W., Sharma, S.C., Machinability of Alloyed Austempered Ductile Iron, International Journal of Mach. Tools Manufact., Vol 35, No 10, pp 1475-1479, 1995.
- Moncada O., J., Spicacci R., H. and Sikora J., A., Machinability of Austempered Ductile Iron. AFS Trans, 106:39-45, 1998.
- Trent, E., M., Metal Cutting, Taner Ltd., London, 1984.
- Özçatalbaş, Y. ve Baş, A., Tornalamada Hava Püskürtme ile Soğutmanın Kesme Kuvvetleri ve Takım Ömrüne Etkilerinin Araştırılması, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., Cilt 21, No 3, 451-455, 2006.
- Çakır, M. C., Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri, VİPAŞ, Bursa, 2000.
- Şeker, U., Kesici Takım Tasarımı Ders Notları, Ankara, 49-50, 2007.
- Shaw, M., C., Surface Finish, Metal Cutting Principles, Oxford University Press, London, 1984.
- Rech, J. And Moisan, A., Surface Integrity in Finish Hard Turning of Case -Hardened Steels, Machine Tools & Manufacture, 43, 543-550, 2003.
- Benga G. C., Abrao, A. M., Turning of Hardened 100Cr6 Bearing Steels with Ceramic and PCBN Cutting Tools, Journal of Material and Process Technology, 143-144, 237-241, 2003.