



# Ni VE Cu İLE ALAŞIMLANDIRILMIŞ KÜRESEL GRAFITLİ DÖKME DEMİRLERİN İŞLENEBİLİRLİĞİNİN KESME KUVVETLERİ VE YÜZEY KALİTELERİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Yücel AŞKUN\*, Hasan HASIRCI\*\*, Ulvi ŞEKER\*\*

\*Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maltepe-Ankara

\*\*Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makina Eğitimi Bölümü, Beşevler/06500-Ankara

Geliş Tarihi : 13.09.2002

## ÖZET

Diğer dökme demirlerle karşılaştırıldığında, Küresel Grafitli Dökme Demirin (KGDD) yüksek süneklik, çekme dayanımı ve tokluğunun yanında işlenebilirliği nispeten düşüktür. Bununla birlikte; bir çelik parçanın yerine küresel grafitli dökme demir kullanıldığı zaman daha iyi işlenebilirlik en önemli kazanç olarak düşünülmelidir. Bu çalışma, değişik oranlarda Ni ve Cu ile alaşımlandırılmış küresel grafitli dökme demirlerin kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerine onların mikroyapı ve mekanik özelliklerinin etkilerini belirlemek için yapılan işlenebilirlik testlerinin sonuçlarını göstermektedir. Değişik oranlarda nikel ve bakır ile alaşımlandırılmış altı farklı küresel grafitli dökme demire işlenebilirlik testleri uygulanmış ve onların işlenebilirlikleri kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülük temel kriterleri üzerine dayanarak incelenmiştir. Sonuçlar; numunelerin daha önceden belirlenmiş olan mikroyapı ve mekanik özelliklerine göre değerlendirilmiştir. Bütün kriterlere dayanarak en iyi sonuçlar, % 0.7 Ni ve % 0.7 Cu ilave edilmiş numunede gözlenmiştir. Numuneler mekanik özellikleri açısından değerlendirildiğinde, % 1 Ni ve % 0.65 Cu ilave edilmiş numunede sağlanacağı görülmektedir.

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

## EVALUATION OF MACHINABILITY OF DUCTILE IRONS ALLOYED WITH Ni AND Cu IN TERMS OF CUTTING FORCES AND SURFACE QUALITY

### ABSTRACT

Due to the enhanced strength, ductility and toughness of Ductile Iron (DI) when compared to the other types cast iron, its machinability is relatively poor. When a steel part is replaced with ductile iron, however, better machinability is considered to be the most important gain. This study presents the results of machining tests of ductile irons alloyed with Ni and Cu at various contents to determine the effect of their microstructure and mechanical properties on cutting forces and surface roughness. Six different specimen groups of ductile iron alloyed with various amounts of nickel and copper were subjected to machining tests and their machinabilities were investigated based on cutting forces and surface roughness criteria. The results were evaluated according to microstructure and mechanical properties of specimens determined before. In terms of both criterion, the best result obtained was specimen added 0.7 % Ni and 0.7 % Cu. When the specimens were evaluated according to their mechanical properties, the specimens alloyed 1 % Ni and 0.65 % Cu seemed promising.

**Key Words :** Ductile iron, Machinability, Cutting forces, Surface roughness

## 1. GİRİŞ

Küresel grafitli dökme demirler (KGDD) diğer dökme demir türlerine göre daha yüksek dayanım, süneklik, tokluk ve işlenebilirlik özelliklerine sahiptir. KGDD'lerin bu üstün özellikleri uygulanan ısıl işlemlerle daha da iyileştirilebilmektedir (Hasırcı, 2000). KGDD malzemelerde en önemli alaşım elementlerinin başında C ve Si gelmektedir. C miktarı genellikle % 3.2-4 arasında değişmektedir. C'un yanı sıra küreleştirme ve aşılamaya bağlı olarak genellikle 1.2-2.5 cm kesit kalınlığına sahip parçalar için Si miktarı % 1.8-2.9 arasında bulunmaktadır (Crews et al., 1974; Karsay, 1976; Dubensky and Rundman, 1985; Gagne, 1985; Karsay, 1985; Ferizoğlu, 1988; Chang, 1998). Si; C'un aktivitesini yükseltip ve grafit oluşumunu arttırdığı için güçlü grafit oluşturu ve ferrit oluşumunu teşvik edici bir elementtir. (Dubensky and Rundman, 1985; Karsay, 1985; Moore et al., 1986; Hasırcı, 2000). C ve Si 'dan sonra gelen en etkili element ise mangandır. Mn sementit oluşumunu desteklemektedir. Mn miktarı % 0.02- 0.6 arasında değişmektedir (Crews et al., 1974; İzgiz, 1986; Gül, 1989; Chang, 1998; Hasırcı, 2000). KGDD'de Mn miktarı Gri Dökme Demir'e göre daha düşük olduğundan kükürt'ün zararlı etkilerini kontrol edici (MnS) bir fonksiyonu yoktur (İzgiz, 1986; Elliott, 1990; Hasırcı, 2000). Ancak Mn, perlit kararlı hale getirme özelliği olan bir elementtir. Miktarının % 0.4'ten düşük olması özellikle tane sınırı karbürleri oluşturma tehlikesini önlemesi açısından tavsiye edilmektedir (Crews et al., 1974; Karsay, 1976; Moore et al., 1986; Ferizoğlu, 1988). S ve P ise genellikle istenilmeyen ve minimum düzeyde tutulması gereken elementlerdir. Genellikle S % 0.004 ve P % 0.08'den daha az olması tercih edilir (Crews et al., 1974; Karsay, 1976; Gül, 1989; Hasırcı, 2000).

Bu temel elementlerin dışında kullanılan Ni, Cu ve Mo genellikle perlit oluşumunu teşvik etmektedir (Karsay, 1976; Janowak and Morton, 1984; Moore et al., 1985; İzgiz, 1986; Ferizoğlu, 1988; Chang, 1998; Hasırcı, 2000). Mo, Cu ve Ni elementleri arasında Mo en fazla nispi etkinliğe sahip olmakla birlikte bu elementin segregasyon eğiliminin fazla olması ve karbür oluşturmaya sonucu sünekliliği düşürmesi sebebiyle; miktarının maksimum % 0.3 ile sınırlandırılması gerekmektedir. Bunun yanı sıra Mo; yüksek sıcaklıktaki dayanımı arttırmaktadır (Crews et al., 1974; Karsay, 1976; Gagne, 1985; Ferizoğlu, 1988; Jen et al., 1992; Chang, 1998; Hasırcı, 2000). Perlit oluşumunda nispi etkinliği en fazla olan element Sn olarak bilinmekle beraber bu elementin lamel grafit oluşumunu teşvik etmesi sebebi ile % 0.007'den daha az olması tavsiye

edilmektedir (Karsay, 1976; Ferizoğlu, 1988; Hasırcı, 2000). Cu ve Ni'in haricinde diğer verilen elementlerin bilinen zararlı etkileri sebebiyle perlit oluşturma amacıyla kullanımı olumsuz etkilere neden olacağından tercih edilmemektedir (Crews et al., 1974; Moore et al., 1985; İzgiz, 1986; Ferizoğlu, 1988; Hasırcı, 2000).

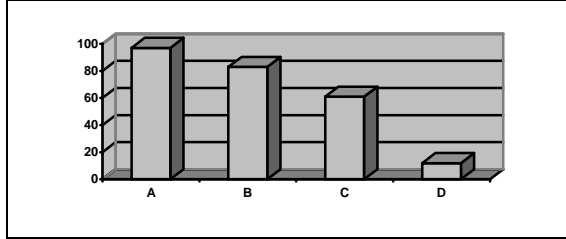
Dökme demirlerin bir sınıfı olan KGDD'in, mekanik özellikler yönünden diğer dökme demir malzemelerle karşılaştırıldığında, çok daha üstün mekanik özelliklere sahip olduğu bilinmektedir. Bu üstün mekanik özelliklerin elde edilebilmesinde KGDD'e ilave edilen alaşım elementlerinin tür ve miktarları; sementit oluşumunu, grafit küreselleşmesi ve dağılımı ile matris mikro yapı türünü etkilediği için büyük önem taşımaktadır (Karsay, 1976; İzgiz, 1986; Ferizoğlu, 1988; Sidjanin and Smallman, 1992; Hasırcı, 2000). Gri dökme demir ve temper dökme demir ile kıyaslandığında, nispeten daha kötü işlenebilirlik özellikleri sergileyen KGDD'lerin, çelikler ile karşılaştırıldığında daha iyi işlenebilirlik özellikleri sergilediği bilinmektedir. Bu çalışmada, değişik miktarlarda Cu ve Ni ilave edilmiş KGDD malzemelerde, alaşım miktarlarına bağlı olarak değişen mikroyapı ve mekanik özelliklerin işlenebilirlik kriterlerinden "kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü" üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

## 2. DÖKME DEMİRLERİN İŞLENEBİLİRLİĞİ

### 2. 1. Dökme Demirlerin Genel İşlenebilirlik Özellikleri

Dökme demir çeşitlerinin işlenebilirlik karakteristikleri değerlendirilmek istendiğinde genellikle; kimyasal bileşim, mikroyapı ile sertlik ve dayanım gibi mekanik özelliklere dikkat edilmesi gereklidir. Matristeki yüksek perlit muhtevası, daha yüksek dayanım ve daha yüksek sertliğe sebep olurken, daha düşük işlenebilirlik özelliklerinin sergilenmesinin de bir sebebidir. Perlit matrisli bir dökme demirde, perlitin matristeki serbest karbür partiküllerine asılması sebebi ile, serbest karbürlerin etkisi daha da olumsuz olmaktadır. Bu durumu, ferritik yapıda olduğu gibi, yumuşak ferritin içine doğru sürüklenme ve itme etkisi yerine, kesici kenarın daha sert partiküller boyunca kesme yapması anlamı taşır. Daha ince lamelli, ince taneli perlit daha düşük işlenebilirlik özellikleri sergiler. Yine, matriste %5 civarında serbest karbür olması, işlenebilirliği önemli ölçüde düşürür (Anon., 2001).

Genellikle, daha yüksek sertlik ve dayanıma sahip bir dökme demir tipinin, daha düşük işlenebilirlik özellikleri ile kesici takımlar için beklenenden daha kısa takım ömrüne sebep olduğu söylenebilir. Dört temel dökme demir çeşidinin birbirine göre işlenebilirliği Şekil 1’de gösterilmiştir. Bu grafikte (A) gri dökme demir, (B) temper dökme demir, (C) küresel grafitli dökme demir ve (D) ise hızlı soğutulmuş (çil)-beyaz dökme demiri göstermektedir.



Şekil 1. Dökme demirlerin işlenebilirliğinin birbirine göre mukayesesi (Anon., 2001)

## 2. 2. Küresel Grafitli Dökme Demirlerin İşlenebilirliği

KGDD’ler mükemmel dökülebilirlik özelliklerine ilave olarak işlenebilirlikleri ile de tasarımcılara tüm üretim avantajlarını sunar. Bu malzemenin diğer dökme demir ve çelik dökümlere göre, dayanım özellikleri de oldukça üst düzeydedir.

Dökme demirlerin işlenebilirlikleri yapı ve sertlikle belirlenir. Gri, temper ve küresel grafitli dökme demirlerdeki grafit partikülleri, bu malzemelerin kolay işlenebilirlik karakteristikleri ve çeliklerle karşılaştırıldığında daha iyi olan işlenebilirliğinin en önemli sebebidir. Grafit partikülleri kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğünü etkilerken, matris ise takım ömrünü belirleyen temel faktördür. Talaşlı imalatla ilgili el kitaplarında, KGDD’lerin çeliğe göre daha iyi olan işlenebilirlikleri hakkında kesin göstergeler

olmamakla birlikte, “General Motors” gibi üreticilerden alınan verilerden, hipoid pinyon ve iç dişli üretiminde, KGDD taslakların, ısıl işlem görmüş çeliklere göre, takım ömründe % 20 ile % 90’ün üzerinde iyileşme sağladığı tecrübeye bağlı olarak görülmüştür (Anon,1980). Aynı şekilde “Fiat” firmasında, hem laboratuvar hem de atölye tecrübelerine dayanan verilerden, 18CrMo4 dövme çelik yerine ferritik KGDD kullanıldığında, konik dişlilerin imalatı sırasında takım aşınmasında önemli iyileşmeler sağlandığı gözlenmiş ve verimlilik artarken, maliyetler önemli ölçüde azalmıştır. KGDD’lerin talaş kaldırarak işlenmesinde esas alınabilecek başlangıç değerleri için “Talaşlı İmalat El Kitapları” ndan bazı veriler elde etmek mümkündür. Bu çalışmadaki deneylerde kullanılan işleme biçimi olan “tornalama” için karbür esaslı kesici takımlara ait başlangıç verileri bu kaynaklardan alınmıştır (Seah and Sharma,1995; Anon,1997; Moncada et al., 1998).

## 3. MALZEME VE METOT

### 3. 1. Döküm ve Alaşımlama

Döküm işlemleri Ankara Sincan Organize Sanayii Bölgesinde bulunan ALFA Döküm Sanayiinde gerçekleştirilmiştir. Dökümün yapıldığı kalıp tasarımı ISO 1083’de belirtilen Y-bloklardan Y-II tipine göre hazırlanmıştır. Ergitme işlemi 600 kg kapasiteli orta frekanslı ergitme tipi Inducterm marka indüksiyon ocağı kullanılarak yapılmıştır. İndüksiyon ocağına şarj girdisi olarak; sfero piki (külçe şeklinde), farklı miktarlarda Ni ve Cu saf olarak ve Mo ise verimliliğinin yüksek olması için Fe-% 35 Mo olarak ergitme ocağında ilave edilmiştir. Şarj malzemesi olarak kullanılan sfero pikinin kimyasal analizi Tablo 1’de verilmiştir (Hasırcı, 2000).

Tablo 1. Sfero Piki Kimyasal Bileşimi(Hasırcı, 2000)

Element	Fe	C	Si	Mn	S	P	Cu	Ni	Sn
% Miktarı	95	4.1	0.277	0.04	0.004	0.031	0.03	0.005–0.021	0.0005

Ergitilmiş olan metal, döküm sıcaklığına ulaştıktan sonra (~1450 °C) küreleştirme ve aşılama işlemleri yapılmıştır. Küreleştirme işlemi Tundish tipi işlem potasında ve aşılama işlemi ise döküm potasında

gerçekleştirilmiştir. Küreleştirme işleminde bileşimi Tablo 2’de verilen FeSi-Mg malzemesi ve aşılama işlemi için de bileşimi Tablo 3’de verilen FeSi malzemesi kullanılmıştır.

Tablo 2. Küreleştirici Malzemesinin (FeSi-Mg) Kimyasal Bileşimi

% Si (min)	% Mg	% Al	% C
43 – 48	6 – 7	0.5 – 1	3 – 3.5

Tablo 3. Aşılama Malzemesinin ( FeSi) Kimyasal Bileşimi

% Si (min)	% Al (max)	% P (max)	% S (max)
75	2	0.03	0.03

İşlem potasından alınan sıvı metal, yaş kum kalıplara, küreleştirici etkinliğinin geçmeyeceği bir süre içinde (1-3 dakika) dökülerek oda sıcaklığına soğumaya bırakılmıştır. Numunelerin dökümü

sırasında kimyasal bileşimin tespiti için ayrıca spektral analiz numuneleri dökülmüş ve elde edilen sonuçlar Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Üretilen Numunelerin Kimyasal Bileşimleri (Hasırcı,2000 )

Numune No	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Ni (%)	Cu (%)	Mo (%)
1 (Alaşsız)	3.5	2.86	0.46	0.033	0.02	-	-	-
2	3.5	2.87	0.061	0.025	0.009	0.5	0.7	0.137
3	3.7	2.82	0.066	0.027	0.004	0.7	0.7	0.136
4	3.6	2.75	0.114	0.029	0.007	0.97	0.65	0.119
5	3.52	2.8	0.073	0.023	0.003	1.03	0.7	0.131
6	3.5	2.6	0.164	0.026	0.007	1.12	0.6	0.146

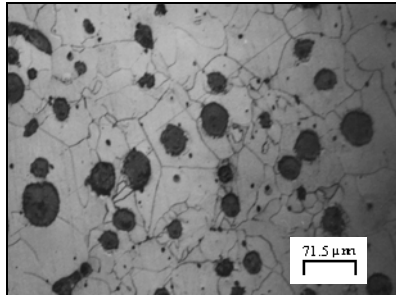
### 3. 2. Metalografi ve Mikroyapı

Y- bloklardan alınan numunelerin standart polisaj işlemi tamamlandıktan sonra birim alana ( $\text{mm}^2$ ) düşen grafit küre sayısı dağlanmamış numune yüzeyinden X 100 büyütmede Olympus PM marka optik mikroskop monitörü üzerinde görülen 15 ayrı bölgeden yapılan sayımlarla belirlenmiştir. Faz hacim oranlarının ölçümü % 2 Nital ile dağlanmış numune yüzeyinden, Çizgisel Kesişme metodu kullanılarak yine mikroskop monitörü üzerinde 15

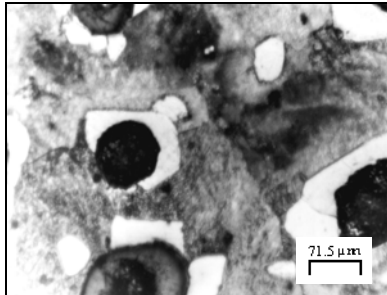
ayrı bölgeden alınan ölçümlerle belirlenmiştir (Tablo 5). Altı farklı bileşime sahip numunelerin mikroyapı fotoğrafları Şekil 2 (a, b, c, d, e, f)'de gösterilmiştir. Bir döküm parçasının matris yapısı, ocak şarj girdisi, döküm sıcaklığı, uygulanan kalıplama ve döküm yöntemi, döküm parçanın kesit kalınlığı gibi döküm üretim şartlarının yanı sıra, en önemlisi kimyasal bileşim ile kontrol edilmektedir.

Tablo 5. Üretilen Numunelerin Grafit, Ferrit ve Perlit % Hacim Oranları ve Grafit Küresi Miktarları (Hasırcı, 2000)

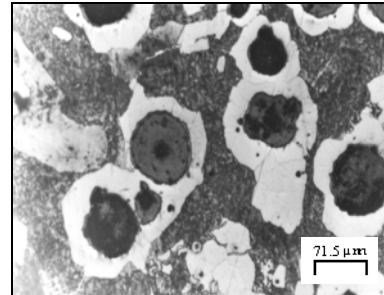
Numune No	% Grafit	% Ferrit	% Perlit	Küre Sayısı(Küre/ $\text{mm}^2$ )
1. (Alaşsız)	12.28	87.72	----	238
2. (%0.5Ni-%0.7Cu)	8.49	18.88	72.63	240
3. (%0.7Ni-%0.7Cu)	8.25	17.89	73.86	224
4. (%1Ni-%0.65Cu)	8.62	15.23	76.15	215
5. (%1.03Ni-%0.7Cu)	8.42	14.61	76.97	206
6. (%1.12Ni-%0.6Cu)	8.97	16.34	74.69	200



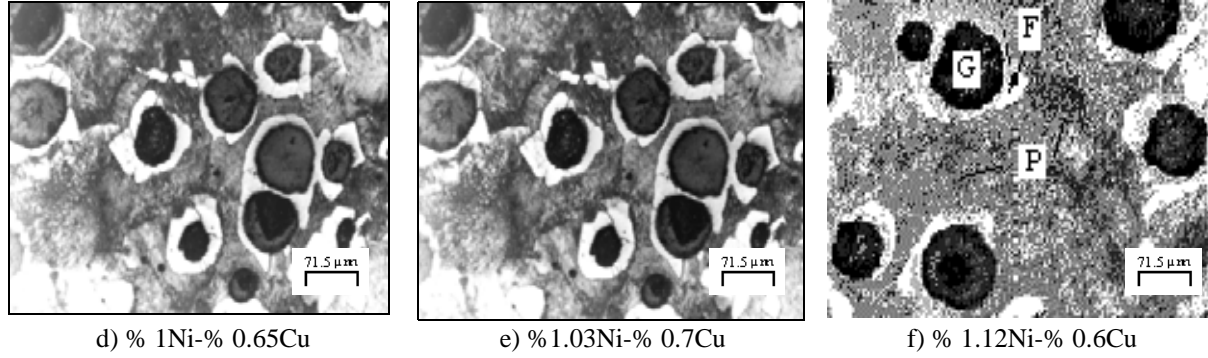
a) Alaşsız



b) % 0.5Ni- % 0.7Cu



c) % 0.7Ni- % 0.7Cu



Şekil 2. Numunelerin mikroyapı fotoğrafları (Dağlama:%2 Nital) X300

### 3. 3. İşlenebilirlik Deneyleri

Ø 17 x 130 ölçülerinde hazırlanmış numunelerin işlenebilirlik deneyleri ISO 3685'deki deney şartlarına uygun olarak, torna tezgahında gerçekleştirilmiştir. Kaldırılan talaş miktarı; ilerleme (f) 0.06 mm/dev ve talaş derinliği (a) 1.5 mm olacak şekilde sabit tutulmuştur. Standartta göre seçilen kesici takım malzemesi ve geometrisi bütün deneyler için aynıdır. Kullanılan değiştirilebilir sert metal (sementit karbür) uç kesici takım ISO 3685'de önerildiği şekilde, ISO 1832'ye uygun SCMT 12M508E formunda olup tutucu biçimi ise

ISO 5608'e göre SSBCR-2020-K12 olarak seçilmiştir. ISO 3685'de belirtildiği şekilde, kullanılan kesici takım ve tutucu yanaşma açısı 75° olacak şekilde, kesici ucun kalitesi (grade), küresel grafitli dökme demirlerin mekanik özellikleri dikkate alınarak, kesici takım üreticisi "Stellram" firmasına ait "NL 25 (ISO-P15/M15 sınıfına karşılık gelen)" olarak seçilmiştir. Kesici uç üreticisi firma verileri KGDD'ler için başlangıç verileri dikkate alınarak seçilen ve talaş kaldırma sitemlerinde kullanılan kesme parametreleri Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 6: İşlenebilirlik Deneylerinde Kullanılan Kesme Parametreleri

Kesme hızı, V (m/min)	Devir sayısı, n (rpm)	İlerleme, f (mm/rcv)	Talaş derinliği, a (mm)
113.45	2500	0.06	1.5

Kesme kuvvetlerinin ölçülmesinde üç boyutlu ölçüm yapabilen ve tornalamada oluşan üç kuvveti (Asıl kesme kuvveti "Fc", İlerleme kuvveti "Fa" ve Pasif / radyal kuvvet "Fp") aynı anda ölçebilen, torna tipi "Lathe Dynamometer TD-A" dinamometrenin TD 500 KA modeli kullanılmıştır. Tornalanmak suretiyle işlenen numunelerin yüzey pürüzlülükleri "mahr" marka, "Perthometer M1" tipi, masa üstü, yazılı çıktı verebilen pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılarak ölçülmüştür.

## 4. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

### 4. 1. Alaşım Elementlerinin Matris Yapı Üzerine Etkileri

Ni oranı yaklaşık % 1 olan 4, 5 ve 6'nolu numunelerde artan Cu miktarına (% 0.6, 0.65 ve 0.7)

bağlı olarak % perlit hacim oranında doğrusal bir artış gözlenmiştir. Bununla beraber, sabit Cu oranına (% 0.7) sahip 2 ve 3 nolu numunelerde ise % perlit hacim oranında bir düşüş görülmektedir. Bu sonuçlar, perlitik matris oluşumunda Cu'nun Ni'den daha etkili olduğunu göstermekte ve bu sonuç literatürle aynı doğrultudadır (Moore et al., 1985; 1986; Moore et al., 1986; Jen et al., 1992; Shih et al., 1993).

Grafit küre sayısındaki artış ile ferrit hacim oranı artmakta ve genellikle grafit kürelerine yakın  $\alpha/\gamma$  veya  $\gamma/\gamma$  ve Grafit  $/\gamma$  ara yüzeylerinde ferrit, diğer kısımlarda perlit olan yapı oluşmaktadır (Shih et al., 1993). Perlit hacim oranı küre sayısının artmasıyla azalırken, grafit kürelerinin çevresindeki ferrit miktarı, karbon difüzyonu için yeterli zamana ve bileşime bağlı olarak artmaktadır (Sidjanin and Smallman, 1992). 6 nolu numunede perlit oluşturuvcu ilaveler bulunmadığından ferritik yapı oluşmaktadır.

#### 4. 2. Alaşım Elementlerinin Küre Sayısı ve Dağılımı Üzerindeki Etkileri

Grafit küre sayısı, dağılımı ve hacim oranı; parça kesit kalınlığı ve geometrisi, soğuma hızı, döküm sıcaklığı ve zamanı, küreleştirici malzeme cinsi ve miktarı, kalıp tasarımı ve yöntemi, küreleştirme işlemi, aşılama işlemi, karbon eşdeğerliği ve alaşım elementleri cins ve miktarlarına bağlı olarak değişim göstermektedir (Janowak and Morton,1984; Ferizoğlu,1988). Bu çalışmada elde edilen birim alandaki küre sayısının ~200-240 küre/mm<sup>2</sup> (Tablo 5), dağılımının ve küreselleşmenin ASTM A 395-70'de belirtilen standart sınırları içerisinde olduğu görülmektedir. Ancak Tablo 5'ten de görüleceği üzere küre sayıları ve hacim oranlarında numuneler arasında farklılıklar görülmektedir. Küre sayısı, dağılımı ve hacim oranını etkileyen faktörlerden Cu ve Ni'in ilavesinin grafitleşme ve küre oluşumuna etkilerine bakıldığında Ni'in, Cu'a göre biraz daha fazla grafitleşmeyi teşvik etmekte olduğu, ancak bu farkın çok fazla bir değişiklik sağlamadığı görülmektedir (Jen et al.,1992).

Grafit küre hacim oranları ile ilgili sonuçlara bakıldığında (Tablo 5) bütün numunelerde oranların birbirine yakın olduğu ancak perlitik matris ile en düşük küre sayısına ( 200 küre/mm<sup>2</sup> ) sahip 6 nolu numunede grafit hacim oranının % 8.97 olduğu

görülmektedir. Yine perlitik matrise ve en fazla küre sayısına ( 240 küre / mm<sup>2</sup> ) sahip 2 nolu numunede ise grafit hacim oranının % 8.49 olduğu görülmektedir. 6 nolu numunenin küre boyutları (Şekil 2.f) 2 nolu numunenin küre boyutları (Şekil 2.b ) ile karşılaştırıldığında 2 nolu numunenin küre boyutlarının daha küçük olduğu görülebilir. Küre sayısının artması ile birlikte küre boyutları doğal olarak küçülmektedir (Moore et al.,1986; Era et al.,1992). Ayrıca numunelerin farklı sürelerde dökülebildiği düşünüldüğünde döküm süresinin uzamasıyla birlikte kürelerin oluşması için meydana gelen çekirdekler ve küreleştirici malzemenin sıcaklıkla birlikte etkinliğinin azalması küre sayısını azaltmaktadır (Moore et al.,1986; Gül,1989; Era et al.,1992). Ancak döküm süresinin gecikmesi ile oluşan küçük küreler bozulmuş küre sayısı azalmakta ve küre şekli bozulmaktadır (Era et al.,1992).

#### 4. 3. Alaşım Elementlerinin Mekanik Özellikler Üzerindeki Etkileri

Numunelerin daha önceden belirlenen (Hasırcı,2000), sertlik, darbe ve çekme dayanımı özellikleri, işlenebilirlik değerlerinde elde edilen (Aşkun,2001) asıl kesme kuvveti (Fc), ilerleme kuvveti (Ff) ve ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri ile beraber Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. Numunelerin Mekanik Özellikleri, Kesme Kuvvetleri ve Yüzey Pürüzlülükleri (Hasırcı, 2000; Aşkun, 2001)

Numune No	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Sertlik (HRC)	* Darbe Dayanımı (Joule)	Asıl Kesme Kuvveti,Fc (N)	İlerleme Kuvveti, Ff (N)	Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü, Ra (µm)
1 (Alaşımısız)	498	443	9.64	9.2	40.7	120	41.78	2.97
2	729	496	2.63	24.8	10.2	160	80.5	1.34
3	706	490	4.19	23.68	8.75	180	93.94	1.5
4	784	512	2.26	26.25	8.83	170	87.34	1.49
5	763	505	2.58	22.2	8.3	175	91.84	1.74
6	757	501	4.59	21.4	19.5	170	84.37	2.02

\* : Deneysel oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.

% Cu miktarının değiştiği 4, 5 ve 6'nolu numunelerde artan Cu miktarına paralel olarak % perlit miktarında, çekme dayanımında ve sertlikte artış, % uzama miktarında ise azalma gözlenmiştir. Bu sonuç literatürle aynı doğrultudadır (Janowak and Gundlach, 1983; Karsay, 1985; Moore, 1985; Chang, 1998).  $\alpha$ +Fe<sub>3</sub>C katmanlarından oluşan perlitik yapıda % perlit miktarı arttığında toplam  $\alpha$  / Fe<sub>3</sub>C arayüzey alanı da artacağından kaymaya karşı etkin bir engel oluşmaktadır.

~ % 1 Ni içeren 4, 5 ve 6 nolu numuneler arasında en az % Cu ve % perlit miktarına sahip 6'nolu

numunede darbe dayanımı en yüksek çıkarken, % perlit miktarının birbirine yakın olduğu 4 ve 5 nolu numunelerde ise darbe dayanımları da yine yaklaşık olarak aynı olmuştur. % perlit miktarının 4 nolu numunedeki % perlit miktarına göre çok az bir miktar fazla olduğu 5'nolu numunedeki darbe dayanımındaki artışın nedeni bu numunedeki grafit küre sayısının 4'nolu numunedeki grafit küre sayısına göre daha az olmasından kaynaklanabilir. Küre sayısı arttıkça darbe dayanımı azalmaktadır (Tanaka and Kage, 1992). 4, 5 ve 6'nolu numunelerde % perlit miktarı arttıkça sertlik miktarı da artış göstermiştir. Numuneler genel olarak

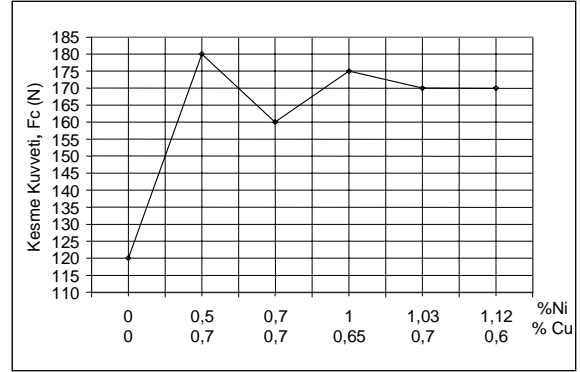
değerlendirildiğinde bakır miktarının % perlit oluşturmada nikelden daha etkili olduğu, perlit miktarı arttıkça çekme ve sertlik değerleri yükselirken, darbe dayanımı ve % uzamanın azaldığı gözlenmiştir. Yaklaşık aynı miktarda perlite sahip numunelerde ise darbe dayanımı üzerinde birim alandaki grafit küre sayısı etkili olmuştur.

#### 4. 4. Alaşım Elementlerinin İşlenebilirlik Özellikleri Üzerindeki Etkileri

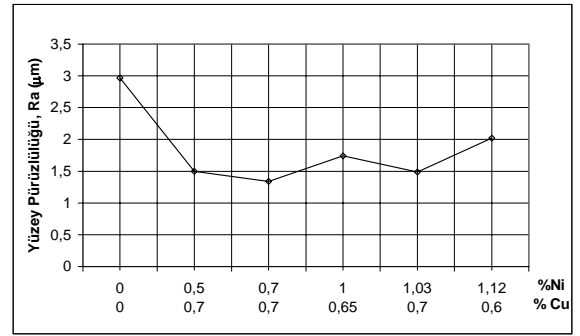
Diğer dökme demirlere göre üstün mekanik özelliklere sahip olan KGDD'lerin işlenebilirlik özelliklerine bakıldığında nispeten daha düşük özellikler sergilediği bilinmektedir. Aynı zamanda, yapı içerisindeki karbon, ferrit, perlit, grafit ve karbür muhtevasının da işlenebilirlik parametreleri üzerinde önemli etkilere sahiptir. Benzer şekilde alaşım elementlerinin cins ve miktarlarının da işlenebilirlik üzerinde ciddi etkileri söz konusu olup bazı alaşım elementlerinin işlenebilirlik üzerinde olumlu etkiye sahipken, bazı alaşım elementlerinin işlenebilirlik üzerinde olumsuz etkisi bilinmektedir (Krishnamurthy and Sivasankaran, 1994). Bu çalışmada; alaşımsız numuneler ile alaşım numuneler arasında mukayeseli bir değerlendirme yapılarak, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü açısından daha iyi sonuçlar veren alaşım oranlarının tespiti amaçlanmıştır. Yapılan denemeler sonucunda elde edilen işlenebilirlikle ilgili veriler Tablo 6'da verilmektedir. Ayrıca Şekil 3'de Ni ve Cu oranlarının kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülük değerleri üzerindeki etkilerinin değişimi gösterilmektedir. Şekil 3 hazırlanırken yatay sütunlar Ni'in % değişimi baz alınarak oluşturulmuştur.

Kesme kuvvetlerini gösteren eğri (Şekil 3.a) incelendiğinde, kesme kuvvetleri açısından en iyi durumu sergileyen numunenin, Fc'nin 120 N olduğu, 1'olu alaşımsız numune olarak görülmektedir. Ancak, aynı numunenin yüzey pürüzlülük durumunu gösteren eğri (Şekil 3.b) incelendiğinde, alaşımlandırılmış numunelere göre çok daha kötü yüzey pürüzlülüğüne ( $Ra = 2.97 \mu m$ ) sahip olduğu görülmektedir. Bunun sebebini, Tablo 5 ve Tablo 6'dan bu numuneye ait metalurjik ve mekanik özelliklere bağlı olarak açıklamak mümkündür. Bu numunenin yapısındaki, diğer numunelerden oldukça yüksek ferrit (% 87.72), kesme kuvvetleri üzerinde olumlu yönde etki etmektedir. Daha yumuşak yapıdaki ferritin işlenmesinde ihtiyaç duyulan kesme kuvvetleri, yapısında yüksek düzeyde perlit ihtiva eden alaşım numunelere göre daha düşük olmaktadır. Aynı numunenin düşük çekme dayanımı (498 MPa), düşük sertlik (9.2 HRC) ve en yüksek yüzde

uzamaya (% 9.64) sahip sünek yapısı, düşük kesme kuvvetlerinin bir başka göstergesidir.



a) Alaşım elementi miktarlarının kesme kuvvetlerine etkisi



b) Alaşım elementi miktarlarının ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Kesme kuvvetleri üzerinde olumlu etkilere sahip bu yapı özellikleri, yüzey pürüzlülüğü üzerinde tamamen ters bir etkiye sahiptir. Sünek malzemelerin işlenmesinde karşılaşılan yüzey pürüzlülüğündeki olumsuzluğu, bu numunelerde de görmek mümkündür. Sünek ve yumuşak malzemelerin işlenmesindeki yüksek sıvanma eğilimi, işlenen yüzeyin yapısını olumsuz yönde etkilemektedir.

Hem kesme kuvvetleri açısından hem de yüzey pürüzlülüğü açısından daha olumlu özellikler sergileyen numune araştırıldığında, yapısında % 0.7 Ni ve % 0.7 Cu ihtiva eden, "3" no'lu numunenin olduğu görülmektedir. Alaşımlandırılmış numunelerde, perlit yüzdesindeki artış, kesme kuvvetlerini doğrudan etkilemekte ve alaşımsız numuneye göre kesme kuvvetleri % 33 ~ % 50 civarında bir artış göstermektedir. 3 no'lu numunenin, diğer alaşım numunelere göre bir miktar düşük çekme dayanımı (729 MPa) ve perlit yüzdesi (% 73.86) kesme kuvvetini (160 N) bir miktar aşağı çekerken, diğerlerine göre bir miktar

yüksek olan sertliği daha iyi yüzey pürüzlülüğü (1.34 µm) sergilemesine sebep olarak gösterilebilir.

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmadan aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

1. Küresel grafitli dökme demirlerde perlitik matris oluşumunda Cu, Ni'den daha etkili olmaktadır.
2. Küre sayısının artmasıyla perlit hacim oranı azalırken karbon difüzyonu için süre ve bileşime bağlı olarak grafit kürelerinin çevresindeki ferrit miktarı artmaktadır.
3. Ni, Cu'a göre grafitleşmeyi daha fazla teşvik etmekle beraber bu fark çok önemli boyutlarda olmamaktadır.
4. Artan Cu miktarına bağlı olarak; % perlit, çekme dayanımı ve sertlik miktarlarında artış gözlenirken, % uzama ve darbe dayanımı miktarlarında azalma gözlenmektedir.
5. Küre sayısındaki artışa bağlı olarak numunelerin darbe dayanımları azalmaktadır. Yaklaşık aynı miktarda perlit miktarına sahip numunelerde darbe dayanımı üzerinde birim alandaki grafit sayısı etkili olmaktadır.
6. Alaşımız numunenin işlenmesinde en düşük asıl kesme kuvveti değerleri tespit edilmiştir. Bununla birlikte bu numunede en fazla yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Bu durum, numunenin yapısındaki oldukça yüksek ferrit (%87.32) oranına bağlı olarak açıklanabilmektedir.
7. Alaşımlanmış numunelerde yayınlanmış değerlerden daha iyi yüzey pürüzlülük değerleri tespit edilmiştir. Alaşımli numunelerde elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri alaşımız numuneden daha iyidir. Ancak alaşımli numunelerin birbirleri arasında çok fazla farklılık bulunmamaktadır.
8. Alaşımli numunelerdeki asıl kesme kuvvetlerinin değişiminin % 12.5 civarında olduğu görülmüştür.
9. Kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü açısından en iyi sonuçlar % 0.7 Ni ve % 0.7 Cu alaşımli 3 nolu numunede elde edilmiştir.
10. Alaşımli numuneler arasında kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü değerleri birbirlerine çok yakındır. Bu numuneler mekanik özellikler açısından değerlendirildiklerinde % 1 Ni ve % 0.65 Cu 'lı 4 nolu numunede gelişme

gözlenmiştir. Bu numuneler arasında seçim yapılması gerektiğinde kullanım amacına göre bir seçimin yapılması uygun olacaktır.

Bu çalışmada; işlenebilirlik kriterleri arasında sadece kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü değerlendirilmiştir. Yığıntı talaş (BUE) ve talaş oluşumu bir başka çalışmanın konusu olarak incelenebilecektir. Benzer bir çalışmada takım ömrü, optimum kesme parametreleri, uygun takım çeşidi ve geometrileri belirlenmeye çalışılabilir.

## 6. KAYNAKLAR

- Anonymous, 1980. "Machining Data Handbook", 3<sup>rd</sup> Edition, Metcut Research Associates, Inc., Cincinnati, OH.
- Anonymous, 1997. Modern Metal Cutting – A Practical Handbook, Sandvik-Coromant Co. Inc., Sweden, 1997.
- Anonymous, 2001. "Machining Ductile Irons", International Nickel Co. Inc., New York, 2001.
- Aşkun, Y. 2001. "Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirlerin İşlenebilirliğinin Kesme Kuvvetleri ve Yüzey Pürüzlülüğü Açısından Değerlendirilmesi" Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Chang, L. C. 1998. "Carbon Content Of Austenite in Austempered Ductile Iron" Department of Mechanical Engineering, Scripta Materialia, Vol : 39, No: 1, pp: 35-38.
- Crews, D. L., Carlon, R., Goudzwoard, J. 1974. AFS Molten Metal Processing, USA.
- Dubensky, W. J., Rundman, K. B. 1985. " An Electron Microscope Study of Carbide Formationın Austempered Ductile Iron" AFS Transactions 85-64, p: 389- 394.
- Era, H., Kishitake, K., Nagai, K. and Zhang, Z. Z. 1992. " Elastic Modulus and Continuous Yielding Behaviour of Ferritic Spheroidal Graphite Cast Iron" Materials Science and Technology Vol : 8, p: 257-261.
- Elliott, R. 1990. Cast Iron Technology, Butterworth, London.
- Ferizoğlu, M. T. 1988. "Küresel Grafitli Dökme Demirde Kaliteye Etki Eden Bazı Parametreler" Metalurji Dergisi, Sayı: 75, s: 53-56.



Gagne, M. 1985. "The Influence of Manganese and Silicon on the Microstructure and Tensile Properties of Austempered Ductile Iron". AFS Transactions 85-133, pp: 801-812.

Gül, F. 1989. "Küresel Grafitli Dökme Demirde Malzeme ve Proses Parametrelerinin Küre Dayanımına Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, G. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Hasırcı, H. 2000. "Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirlerde Alaşım Elementleri (Cu ve Ni) ve Östemperleme Süresinin Mikroyapı ve Mekanik Özellikler Üzerine Etkileri" Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.

İzgiz, S. 1986. Küresel Grafitli Dökme Demir, SEGEM Yayını, Ankara.

Janowak, J. F., Gundlach, R. B. 1983. "Development of a Ductile Iron for Commercial Austempering" AFS Transactions 83-54, pp: 377-388.

Janowak, J. F., Morton, P. A. 1984. "A Guide to Mechanical Properties Possible by Austempering 1.5 % Ni - 0.3 % Mo Ductile Iron" AFS Transactions 84-120, pp: 489-498.

Jen, K. P., Wu, J., Kim, S. 1992. "Study of Fracture and Fatigue Behavior of Austempered Ductile Iron" AFS Transactions 92-133 p: 833-846.

Karsay, S. I. 1976. "Ductile Iron" Production, Quebec Iron and Titanium Corp.

Karsay, S. I. 1985. "Ductile Iron" Production Practices, American Foundrymen's Society. Inc. (AFS).

Krishnamurthy, R. and Sivasankaran, V. 1994. Key Engineering Materials, Vol 96, pp. 221-253.

Moncada, O. J., Spicacci, R.H., Sikora, J. A. 1998, AFS Transactions 98-10, pp 39-45.

Moore, D. J., Rouns, T. N., Rundman, K. B. 1985. "Structure and Mechanical Properties of Austempered Ductile Iron". AFS Transactions 85-103, pp: 705- 718.

Moore, D. J., Rouns, T. N., Rundman, K. B. 1986. "Effect of Manganese on Structure and Properties of Austempered Ductile Iron : A Processing Window Concept". AFS Transactions 86-48, pp: 255-264.

Seah, K. H. W., Sharma, S. C. 1995. International Journal of Mach. Tools Manufact., Vol 35, No 10, pp. 1475-1479.

Shih, T. S., Chang, C. S., Hwang, L. Z. 1993. "Mechanical Properties and Microstructures of Austempered Alloyed Ductile Irons". AFS Transactions. 93-71 p: 857-872.

Sidjanin, L. and Smallman, R. E. 1992. "Metallography of bainitic transformation in austempered ductile iron". Materials Science and Technology Vol: 8, p: 1095-1103.

Tanaka, Y. and Kage, H. 1992. "Development and Application of Austempered Spheroidal Graphite Cast Iron" Materials Transactions, JIM, Vol : 33, No : 6, pp : 543 – 557.