

Yüksek İlerlemeli Frezeleme İşleminde İşlenebilirlik Parametrelerinin İncelenmesi

Gültekin UZUN^{1,*}, Ramazan ÇAKIROĞLU²

¹Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Ankara, Türkiye

²Gazi Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Ankara, Türkiye

MAKALE BİLGİSİ

Alınma: 21.04.2020

Kabul: 29.04.2020

Anahtar Kelimeler:

Yüksek ilerleme

Frezeleme

Yüzey pürüzlülüğü

Kesme kuvveti

ÖZET

Bu çalışmada farklı sertlikteki malzemeler üzerinden, talaş kaldırma deneyleri yüksek ilerleme (0.6-0.9 ve 1.2 mm/dev) değerlerinde, üç farklı kesme hızında (50-70 ve 98 m/dak) ve 0.5 mm kesme derinliğinde gerçekleştirilmiştir. Vermüküler grafitli dökme demir numuneleri 375 °C sıcaklıkta ve üç farklı bekleme süresinde (60, 120 ve 180 dak.) östemperleme işlemine tabi tutulmuştur. Talaş kaldırma sonucu kesici üzerinde oluşan kesme kuvveti ve malzemelerin yüzey pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. Yüksek ilerleme değerinde yapılan deneylerde 0.5 µm ile 5 µm değerlerinde yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Kesme kuvvetleri açısından bileşke kuvvetin 3000 N ile 1500 N arasında olduğu görülmüştür. En düşük yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti değerleri 0.6 mm/dev ilerleme değerinde tespit edilmiştir. Östemperleme süresinin kesme işlemini etkilediği ve kısa östemperleme sürelerinde daha iyi kesme değerlerinin elde edildiği görülmüştür.

Investigation of Machinability Parameters in High-Feed Milling Process

ARTICLE INFO

Received: 21.04.2020

Accepted: 29.04.2020

Keywords:

High-feed

Milling

Surface roughness

Cutting force

ABSTRACT

In this study, the machining experiments were performed on different hardness leveled materials at high feed rates (0.6-0.9 and 1.2 mm/rev), at three different cutting speeds (50-70 and 98 m/min) and at a constant cutting depth of 0.5 mm. Vermicular graphite cast iron specimens were austempered with respect to three different treatment times (60, 120 and 180 min) at 375 °C. The cutting force occurred on the cutting tool and the surface roughness values of the materials were measured after each machining experiment. In high feed experiments, surface roughness values were obtained between 0.5 µm and 5 µm. The resultant cutting force values were obtained between 1500 N and 3000 N. The lowest cutting force value and the best surface roughness value obtained at 0.6 mm/rev feed rate. It is determined that the austempering time effects cutting process and also lower values obtained at shorter austempering times in terms of cutting force and surface roughness.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kesici takımında meydana gelen deformasyonlar; iş parçasının yüzey kalitesini ve toleranslarını olumsuz yönde etkilemektedir. Bununla birlikte takımında meydana gelen deformasyonların oluşturduğu en büyük olumsuzluk takım ömrünün azalmasıdır. Takım üzerinde oluşan kesme kuvveti bu durumu etkileyen en önemli parametrelerdendir. Takım ömrünün azalması, takım maliyetini ve sonuç olarak da üretim maliyetini etkileyen önemli bir faktördür. Bu nedendir ki; takım ömrünü etkileyen faktörlerin bilinmesi, bu faktörleri kontrol altına alınabilecek tedbirlerin geliştirilmesi, efektif takım ömrünün belirlenebilmesi ve optimum takım değiştirme zamanının belirlenmesi büyük önem kazanmaktadır. İlerleme miktarı, serbest biçimli bir takım yoluna ulaşmak için doğrusal veya eğrisel interpolasyon yaklaşımını kullanarak yol boyunca ciddi şekilde değişir [1-3]. Hamdan ve arkadaşları AISI 304 paslanmaz çeliği yüksek kesme hızlarında frezelemişler ve minimum kesme kuvveti ile daha iyi yüzey pürüzlülüğü elde etmeyi amaçlamışlardır. Frezeleme esnasında kesme hızı, ilerleme değeri, eksenel kesme derinliği ve soğutma/yağlama yöntemi kesme parametresi olarak

* Sorumlu yazar, e-posta: uzun.gultekin@gazi.edu.tr

seçilmiştir. Deney sonuçlarını analiz eden araştırmacılar, kesme kuvveti ile yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametre olarak ilerleme değerini ve bunu sırasıyla kesme hızı, kesme derinliği ve soğutma/yağlama yönteminin takip ettiğini söylemişlerdir [2]. Honghua ve arkadaşları TA15 titanyum alaşımını PCD ve PCBN takımlar ile yüksek hızlarda (100-140-180 m/dak ve 0,02-0,04-0,06 mm/dev) frezelemişler ve takım ömrü ile aşınma mekanizmasını incelemişlerdir. Araştırmacılar özellikle yüksek hızlarda PCD takımların daha yüksek takım ömrüne sahip olduğunu iddia etmişlerdir [3]. Rao ve Shin yaptıkları çalışmada karbür ve elmas uçlar kullanarak 7075-T6 alüminyum alaşımını yüksek hızlarda frezelemişlerdir. Kesme hızını 518-1585 m/dak arasında, ilerleme değerini 0,2 mm/dev ve kesme derinliğini 0,51-2,54 mm arasında kullanmışlardır. Sonuçları kesme kuvveti, yüzey pürüzlülüğü ve talaş morfolojisi açısından incelemişlerdir. Araştırmacılar, daha yüksek kesme hızının daha ince talaş ürettiğini iddia ederken yüksek kesme hızlarında daha yüksek talaş akış açısının, daha düşük kesme kuvvetinin ve yüksek kesme açısının olduğunu, dolayısıyla da bunların daha verimli bir talaş kaldırma işlemi sağladığını söylemişlerdir [4].

Vermüküler grafitli dökme demirler, küresel grafit üretmek için yapılan deneylerde tesadüfen bulunmuş bir malzeme türüdür. Ancak daha sonra kabul görmüş ve 1960'lı yılların ortasından itibaren ürün yelpazesi içerisinde yer almaktadır. Grafit yapıları oldukça karmaşık olan bu malzemeler, bünyesinde yaklaşık olarak %20 oranında küresel grafit ve %80 seviyesinde vermüküler grafit barındırmaktadırlar. Dahası bu malzemelerin mikro yapılarında hiç lamel grafit yoktur. Vermüküler grafit denilen yapıları tanımlamak gerekirse; lamel grafitlerden daha kalın ve lamel uçları yuvarlatılmış bir yapıya sahiptirler [5]. Mavi, vermüküler grafitli dökme demirlerin işlenmesi esnasında yüzey pürüzlülüğündeki değişimi araştırmıştır. Sonuçların analizini yapan araştırmacı perlitik vermüküler grafitli dökme demirlerin en yüksek hızda en iyi yüzey pürüzlülük değerini verdiğini iddia etmiştir [6]. Şeker ve Hasırcı, östemperli dökme demiri işlemişler ve kesme kuvveti ile yüzey kalitesindeki değişimi incelemişlerdir. Araştırmacılar en düşük kesme kuvvetini ve yüzey pürüzlülüğünü döküm numunelerden elde etmişlerdir [7]. Zimba ve arkadaşları, östemperleme işlemi uyguladıkları küresel grafitli dökme demirin özelliklerindeki değişimi incelemişler ve östemperleme sıcaklığı artınca malzeme sertliğinin azaldığını iddia etmişlerdir [8]. Karabulut ve Güllü, vermüküler grafitli dökme demirin mekanik özelliklerine ait bazı değerlendirmelerde bulunurken aynı zamanda malzemenin frezelenmesini araştırmışlardır. Araştırmacılar, karbür takımlarda yavaşma açısının artması ile birlikte takım ömrünün azaldığını iddia ederken seramik takımlarda bunun tersi bir durumla karşılaştığını iddia etmişlerdir [9]. Uzun ve arkadaşları, östemperlenmiş küresel grafitli dökme demiri tornalamışlar ve çıktı parametresi olarak takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerindeki değişimi incelemişlerdir. Östemperleme sıcaklığının azaltılması ile birlikte kesme kuvvetlerinin arttığını iddia eden araştırmacılar yüzey kalitesinde tam tersi bir durum olduğunu söylemişlerdir. Ayrıca araştırmacılar dominant aşınma türünün yanak aşınması olduğunu iddia etmişlerdir. [10].

Literatür araştırması sonucunda yüksek kesme hızlarında frezeleme işlemlerinin olduğu, fakat yüksek ilerleme değerlerinin kullanılmadığı görülmüştür. Yüksek kesme hızlarında işlem yapmak için özel imal edilmiş fener milli tezgâhlara ihtiyaç duyulmaktadır. Fakat yüksek ilerleme değeri için standart tezgâhlar kullanılabilir. Literatürde ilerleme değerleri 0.02 ile 0.2 mm/dev aralığında kullanıldığı görülmüştür. Yapılan çalışma ile ilerleme değerleri 3-6 kat arasında artırılmış ve 0.6-0.9-1.2 mm/dev kullanılmıştır. Bu sayede işleme zamanı bakımından büyük kazançlar sağlanabilmesi amaçlanmıştır. Bu işleme parametrelerinin sanayide yaygın olarak kullanılan vermüküler grafitli demir üzerinde etkileri araştırılmıştır. Yapılan vermüküler grafitli dökme demir incelemelerinin çoğunun malzemenin mekanik özelliklerindeki değişimi tespit etmek amaçlı yapıldığı görülmüştür. Buna karşın östemperlenmiş vermüküler grafitli dökme demir malzemelerin frezeleme yöntemiyle işlenebilirliği ile ilgili sınırlı sayıda çalışmaya rastlanmıştır. Literatür çalışmalarından esinlenilerek vermüküler grafitli dökme demir malzemesine uygulanan östemperleme sıcaklığı ve sürelerinin kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü açısından incelenmesi hedeflenmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

2.1. İş parçası ve Takım Özellikleri (Workpiece and Tool Properties)

Yüksek ilerlemeli frezeleme (High-Feed), klasik yöntemlere göre üç kat daha yüksek işleme hızı sağlayan bir frezeleme yöntemidir. Sığ kesme derinliği ile ağız başına yüksek ilerleme değeri bir araya getirilir, böylece talaş kaldırma hızı artar ve daha fazla parça işlenebilir. Kesme kuvvetleri tezgâhın fener miline aksel gelecek şekilde yönlendirilir ve böylece daha fazla denge ve daha az titreşim ile takım ömrü uzar. Ayrıca yüksek ilerlemeli freze takımları yarı finiş işleme ihtiyacını ortadan kaldırarak ve takım değişimlerini azaltarak zaman tasarrufu sağlar. Kapsamlı yüksek ilerlemeli frezeleme çözümleri, tüm uygulama ihtiyaçlarını karşılamaktadır. Yüksek ilerlemeli frezeleme yöntemi ile yüzey frezeleme yöntemi, sonraki işleme operasyonları veya son finiş işleme için iyi bir platform üretmeye son derece uygundur. Çoğu uygulamada yalnızca son işlemenin gerekeceği çok hassas toleranslar elde edilebilir. Yüksek ilerlemeli frezeleme ayrıca düz olmayan yüzeylerde kopya frezeleme için son derece kullanışlı ve girintilerin frezelenmesi ve kalıp üretimi için son derece etkilidir. Yüksek ilerlemeli frezeleme, helisel enterpolasyon yaparken büyük çaplı delikler açmak için de uygundur çünkü genellikle ön işleme veya ön delik açma aşamaları atlanır. Ayrıca özellikle titanyum ve diğer hafif alaşımlar gibi zorlu malzemeler kullanıldığında dalma kesme operasyonlarında da yaygın olarak kullanılmaktadır [11].

Deneylerde SANDVIK Coromant tarafından high-feed takımı olarak üretilen silindirik saplı, işleme kapasitesi 32 mm olan ve 10° kesme açılı CoroMill R210-032A25-09H kodlu takım tutucu kullanılmıştır. Takım tutucunun 10° lik kesme kenarı açısı, yüzey frezeleme sırasında çok yüksek ilerleme değerlerinin kullanılmasına imkân vermektedir. Bu durum kesme kuvvetlerini aksel yönde olmasını ve düzgün bir kesme işlemi ile minimum titreşim yatkınlığı elde edilmesini sağlamaktadır [12]. Takım geometrisi ve ölçüleri Şekil 3'te verilmiştir. Deneylerde SANDVIK Coromant tarafından üretilen GC3330 kalite (R210-09 04 14E-KM) CVD yöntemi ile kaplanmış $Ti(C,N)+Al_2O_3+TiN$ kaplamalı sementit karbür kesici uçlar kullanılmıştır.

Fonksiyonel uzunluk (LF)	210 mm	
Uyarlamalı arayüz makina yönü (ADINTMS)	25 mm	
Bağlantı çapı (DCON)	25 mm	
Preferik etkili kesici kenar sayısı (ZEFP)	3	
Maksimum dalma derinliği (AZ)	1.8 mm	
Maksimum kesme derinliği (APMXFFW)	1.2 mm	
Maksimum kesme derinliği (APMXEFW)	8 mm	
Kesim öge sayısı (CICTP1)	3	
Maksimum kesme çapı (DCX)	32 mm	
Kesme çapı (DC)	17.9 mm	
Takım kesme kenar açısı (KAPR)	10°	
Köşe yarıçapı (RE)	1.4 mm	
Büyük kesme açısı (KRINS)	10°	
Kesici kenar etkili uzunluk (LE)	5.77 mm	
İç teğet daire çapı (IC)	9.5 mm	
Kesici uç kalınlığı (S)	4.5 mm	

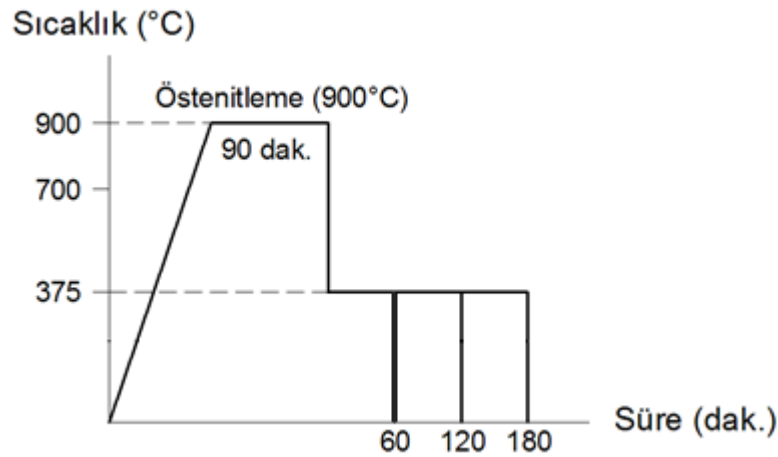
Şekil 1. Kesici takım geometrisi ve özellikleri (Cutting tool geometry and properties)

Deney numuneleri 25x30x100 mm ölçülerinde kesilmiş ve dinamometreye bağlanmaya hazır hale getirilmiştir. Tablo 1'de deney numunesine ait kimyasal bileşim gösterilmektedir.

Tablo 1. Vermüküler grafitli dökme demirin kimyasal bileşimleri (Chemical compositions of vermicular graphite cast iron)

Sertlik (HRC)		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
23	Perlitik	3.82	1.804	0.337	0.031	0.015	0.074	0.013	0.002
		Cu	Mg	Sn	Ti	Al	Zn	Bi	Fe
	Perlitik	0.879	0.014	0.092	0.0203	0.008	0.082	0.007	Kalan

Östempereleme için seçilen süre ve sıcaklık değeri literatür araştırması ve ön deneyler sonucu belirlenmiştir [7]. Deney numunesine ilk olarak ön ısıtma yapılmış ve daha sonra östenitleme yapılmış en son aşamada ise östempereleme işlemi uygulanmıştır. Bu işlemler esnasında sıcaklık ölçümü için K tipi ısı çifti kullanılmıştır. Şekil 2’de uygulanan ısı işlemlerin özeti verilmiştir.



Şekil 2. Deney numunesine uygulanan ısı işlemin özeti (Summary of heat treatment applied to the test sample)

Östenitleme sonrası östempereleme işlemi uygulanarak deneysel çalışma kapsamında kullanılan üç farklı malzemeye ait özellikler Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2. Deneysel malzeme özellikleri (Experimental material properties) [12, 13]

	1. Malzeme	2. Malzeme	3. Malzeme
Kısaltma	N1	N2	N3
Östempereleme sıcaklığı (°C)	375	375	375
Östempereleme süresi (dak)	60	120	180
Sertlik (HRC)	38	41	40

Östempereleme işleminin yapılmasıyla birlikte malzemenin sertliği artmaktadır. Farklı östempereleme süreleri altında ısı işlem uygulanan malzemenin sertliği ısı işlem uygulanmamış malzemenin sertliği ile kıyaslandığında yaklaşık 1.65-1.8 kat artış olmuştur. Östempereleme ile birlikte malzemenin sertliğinde meydana gelen artışın sebebi ısı işlemle birlikte malzemenin mikro yapısında meydana gelen değişim olarak gösterilebilir [15]. Malzeme bünyesinde bulunan kalıntı östenit doğal olarak soğutulduğunda martenzit yapıya dönüşmekte ve böylece malzemenin sertliği artmaktadır [6, 12, 13].

2.2. İşlenebilirlik Deneyleri (Machinability Tests)

Deneyler, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümünde bulunan Fanuc kontrol ünitesi, 5.5 kW güce sahip Johnford VMC550 işleme merkezinde yapılmıştır. Kesme değerleri, imalatçı firmanın verileri referans alınarak belirlenmiştir. Deneyler üç farklı kesme hızında

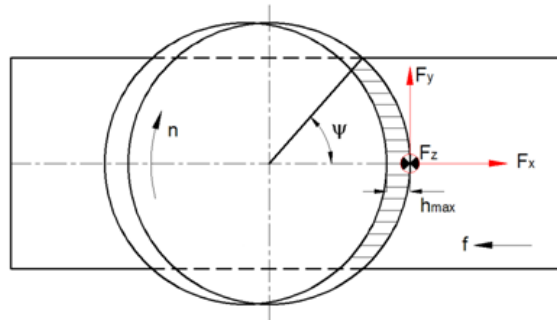
(60-120-180 m/dak), üç farklı ilerleme değeri (0.6-0.9-1.2 mm/dev) ve sabit talaş derinliğinde (0.5 mm) kuru şartlarda yapılmıştır. Tüm kombinasyonlar hesaplanarak 27 adet deney yapılmıştır.

Kesme kuvveti ölçümleri Kistler 9257B üç bileşenli piezoelektrik dinamometre kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu dinamometre Kistler 5070A çok kanallı şarj amplifiere bağlanmıştır. Daha sonra kesme kuvveti verileri Dynoware yazılımı kullanılarak incelenmiştir. Kesme kuvvetlerini ölçmek için kullanılan deney düzeneğinin bileşenleri Şekil 3’de görülmektedir.



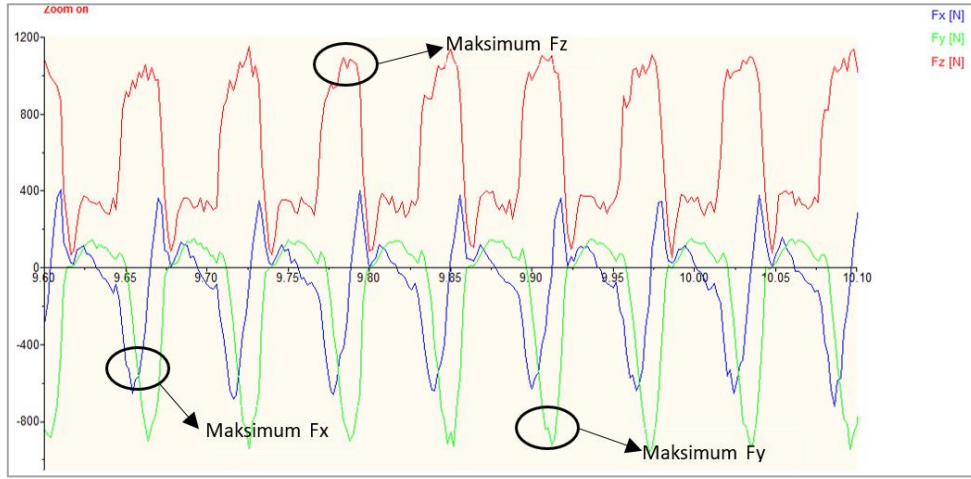
Şekil 3. Deney düzeneği ve kesme kuvvetlerinin ölçümü (Experimental setup and measurement of cutting forces)

Deneyler simetrik yüzey frezeleme işlemi yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Simetrik yüzey frezelemede kesici takımın bir kesici ucunun üzerine etki eden kesme kuvveti bileşenleri Şekil 4’te gösterilmiştir. Bu şekilde F_x anlık ilerleme bileşeni (X yönünde elde edilen kesme kuvvetinin doğrultusu), F_y anlık normal bileşeni (Y yönünde elde edilen kesme kuvvetinin doğrultusu), F_z anlık dikey bileşen (Z yönünde elde edilen kesme kuvvetinin doğrultusu) iş parçası üzerinde oluşan kesme kuvvetidir. F_x , F_y ve F_z sırasıyla X, Y ve Z yönlerindeki bir kesici uç üzerindeki anlık kesme kuvvetleridir, ψ açısı kesicinin anlık kesme açısıdır. Grafikler; Belirlenen F_x , F_y , F_z kesme kuvvetlerinin vektörel toplamı ile bileşke kuvveti (F_R) hesaplanmıştır (Şekil 4). Dynoware yazılımı kullanılarak kesici en maksimum talaş yüksekliğine (h_{max}) ulaştığında F_x , F_y ve F_z kesme kuvvetleri ölçülerek oluşturulmuştur. Bileşke kuvveti hesaplamak için kullanılan denklem Eşitlik 1’de verilmiştir [16]. Şekil 5’de kuvvet oluşumları ve seçimleri gösterilmiştir. F_x , F_y ve F_z kuvvetleri için dört adet kuvvet değeri seçilmiş ve bu kuvvetlerin ortalama değeri kullanılmıştır.



Şekil 4. Simetrik yüzey frezelemede kesme geometrisi (Cutting geometry in symmetrical milling)

$$F_R = \sqrt{(F_x)^2 + (F_y)^2 + (F_z)^2} \quad (1)$$



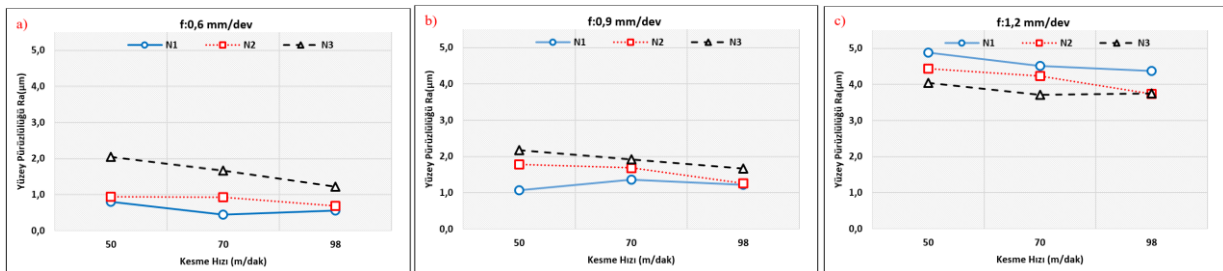
Şekil 5. Kuvvet oluşum grafiği ve seçimi (Force formation chart and selection)

Yüzey pürüzlülük ölçümü için profil metodu tercih edilmiş ve buna uygun olarak portatif MAHR-Perthometer M1 modeli ölçüm cihazı kullanılmıştır. Ölçümler, oksitlenmeden etkilenmemesi için talaş kaldırma işleminin hemen sonrasında yapılmıştır. Yüzey pürüzlülük ölçümü işleme yönünde ve üç bölgede (başlangıç bölgesi, orta bölge ve bitiş bölgesinden) rasgele belirlenen noktalardan üçer adet olmak üzere toplamda dokuz adet ölçülmüş ve bu ölçümlerin ortalaması alınmıştır.

3. DENEY SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ (EVALUATION OF EXPERIMENT RESULTS)

3.1. Yüzey Pürüzlülüğü (Surface Roughness)

Deneyler sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülük verilerine ait grafikler Şekil 5’de verilmiştir. En düşük yüzey pürüzlülüğü değeri 60 dakika östemperleme süresine sahip vermüküler grafitli dökme demirin 70 m/dak kesme hızı ve 0.6 mm/dev ilerleme ile elde edilmiştir. Elde edilen yüzey pürüzlülüğü grafikleri incelendiğinde, ilerleme değerinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli bir etkisinin olduğu ve ilerlemenin artmasıyla birlikte yüzey kalitesinde önemli bir kötüleşme olduğu görülmektedir (Şekil 6). En düşük yüzey pürüzlülüğü 0.6 mm/dev ilerleme ile çıkarken 0.9 mm/dev ilerlemede yüzey pürüzlülük değeri %20 ile %50 arasında artmıştır. ancak ilerlemenin 1.2 mm/dev seviyesine çıkması ile birlikte bu artış %200 ile %375 artmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ilerleme değerinin bir fonksiyonudur ve ilerlemenin artması ile birlikte yüzey kalitesinin kötüleşmesi beklenen bir durumdur [17]. Bunun sebebi, ilerleme değerinin artması ile birlikte işlenmiş yüzeyde oluşacak çukur ve tepelerin daha belirgin bir hale gelmesidir. Bir başka deyişle, düşük ilerleme hızlarında kesicinin iş parçası üzerindeki ilerleme hareketi daha yavaş olmakta ve kesici takım birim alanda daha fazla bulunmaktadır. Düşük ilerlemeli frezeleme işlemlerinde yüzey kaliteleri 0.5 μm değerlerinde gerçekleşmektedir [12]. Yüksek ilerleme ile işleminde 0.6 mm/dev ilerleme değerinde bu değerler elde edilmiştir.



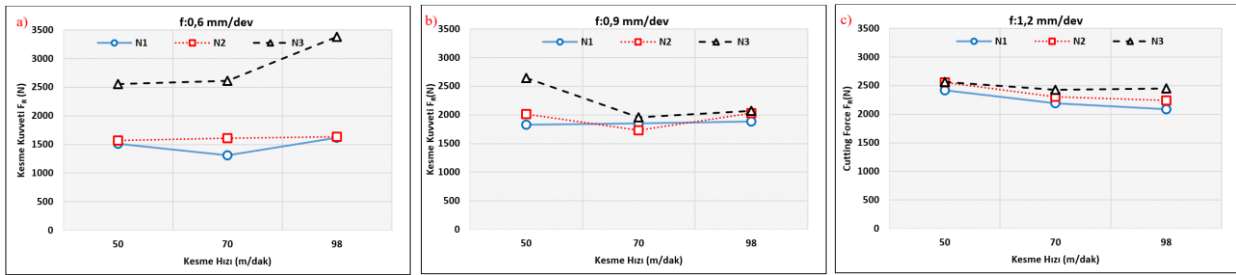
Şekil 6. Kesme hızı ve östemperleme süresinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi (Effect of cutting speed and austempering time on surface roughness) a) 0.6 mm/dev b) 0.9 mm/dev c) 1.2 mm/dev

Yüzey pürüzlülüğüne kesme hızı açısından bakıldığında kesme hızının artması ile birlikte yüzey kalitesinde iyileşme olmuştur. Bu durum, kesme hızının artmasına paralel olarak kesme sıcaklığının

artması ve böylece malzemenin, kesici kenar ve uç radyüsü etrafında daha kolay deforme edilmesi ile açıklanabilir [10]. Ancak, kesme hızındaki artışın devam etmesi ile yüzey kalitesi kötüleşmeye başlamıştır (Şekil 6a). Östempereleme süresinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi incelendiğinde, karmaşık bir durum görülse de genel olarak sürenin artması ile yüzey pürüzlülüğünde bir iyileşme olduğu söylenebilir. Bu durum, ısıl işlem süresi daha kısa olan malzemelerin mekanik özelliklerinin daha düşük olması ve talaş kaldırma esnasında karşılaşılan talaş tipinin toz talaş olmasıyla açıklanabilir.

3.2. Kesme Kuvveti (Cutting Force)

Deneyler sonucunda elde edilen kesme kuvveti verilerine ait grafikler Şekil 7’de verilmiştir. Deney sonuçlarının analizine göre en düşük kesme kuvveti değeri 60 dakika östempereleme süresine sahip vermüküler grafitli dökme demirin 70 m/dak kesme hızı ve 0.6 mm/dev ilerleme ile frezelenildiği durumda ortaya çıkmıştır (Şekil 7a).



Şekil 7. Kesme hızı ve östempereleme süresinin kesme kuvvetine etkisi (Effect of cutting speed and austempering time on cutting force) a) 0.6 mm/dev b) 0.9 mm/dev c) 1.2 mm/dev.

Kesme kuvveti ile ilerleme arasındaki ilişki incelendiğinde, ilerlemenin artması ile birlikte kesme kuvvetinin de arttığı görülmektedir. Kesme kuvvetini belirleyen en önemli faktörlerden biri ilerleme değeri ile oluşan talaş kesit alanıdır. Bundan dolayı ilerlemenin artışı ile bileşke kesme kuvvetinin artması beklenen bir durumdur [18]. Kesme kuvvetlerinin kesme hızına bağlı olarak değişimi incelendiğinde kesme hızının artmasıyla birlikte kesme kuvvetinin %1 ile %10 arasında değişiklik gösterdiği görülmektedir. Bu durum, kesme hızının artmasıyla birlikte kesme bölgesinde oluşan sıcaklığın artması ve deformasyon için gereken enerjinin daha düşük olmasıyla açıklanabilir. Ancak, kesici takımın aşınma periyoduna girdiği durumlarda kesme hızının artması kesme kuvvetlerini de arttıracaktır [10]. Östempereleme süresinin kesme kuvvetlerine etkisi incelendiğinde, sürenin artmasıyla birlikte kesme kuvvetlerinin de arttığı görülmektedir. Östempereleme işlemi malzemelerin yapı ve özelliklerini değiştiren bir uygulamadır. Bunun en belirgin hali de malzemelere ait sertliklerin artmasıdır. Malzeme sertliğinin artması talaş kaldırma işleminin zorlaşacağı anlamına gelmektedir ki bu bile kesme kuvvetlerinin artması için yeterli bir sebeptir. Ayrıca, özellikle kısa östempereleme sürelerinde bazı östenit alanları tam dönüşmemektedir. Östenit yapılar deformasyon sertleşmesine uygun yapılar olduğu için dönüşümü tamamlanmış bölgelerin sertliği daha yüksektir. Östempereleme süresi uzun olan malzemelerin östenit yapıya dönüşmesi daha mümkün olmaktadır. Bundan dolayı da östempereleme süresi uzun olan malzemeleri işlemek için gerekli olan kesme kuvveti artmaktadır [19].

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, vermüküler grafitli dökme demirin yüksek ilerleme değerlerinde frezelemede östempereleme ısıl işlem süresi ve kesme parametrelerinin etkisi araştırılmıştır. Araştırma çıktısı olarak yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti belirlenmiştir. Çalışma boyunca 27 adet deney yapılmış ve deney sonuçlarının analiz edilmesi ile elde edilen sonuçlar aşağıda madde madde verilmiştir;

- Yüksek ilerleme miktarlarında yapılan deneylerde 0.5 μm ile 5 μm değerlerinde yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir.
- Kesme kuvvetleri açısından bileşke kuvvetin 3000 N ile 1500 N arasında olduğu görülmüştür.

- İlerleme açısından en iyi yüzey kalitesi değeri ve kesme kuvveti değeri en düşük ilerleme ile elde edilmiştir. İlerlemenin artması ile birlikte yüzey pürüzlülüğü parametrelerinde kötüleşme gözlemlenmiştir.
- Kesme hızının artması ile birlikte kesme bölgesindeki ısının artışı ve deformasyonun artması talaş kaldırmayı kolaylaştırdığı için yüzey pürüzlülük değeri ve kesme kuvveti azalmıştır.
- Kısa östempereleme süresi ile ısı işlem yapılan malzemeden çıkan talaş toz talaş olduğu için yüzey pürüzlülüğünü kötüleştirir. Uzun östempereleme süresi malzemeyi sertleştirdiği için kesme kuvveti artmıştır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. R.T. Coelho, A.F.Souza, A.R. Roger, A.M.Y. Rigatti, A.A. Riberio, Mechanistic approach to predict real machining time for milling free-form geometries applying high feed rate, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 46: 1103–1111, 2010.
2. A. Hamdan, A. A. D. Sarhan, M. Hamdi, An optimization method of the machining parameters in high-speed machining of stainless steel using coated carbide tool for best surface finish, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 58:81–91, 2012.
3. H. Su, P. Liu, Y. Fu, J. Xu, Tool life and surface integrity in high-speed milling of titanium alloy TA15 with PCD/PCBN tools, *Chinese J. Aeronaut.*, 25(5): 784–790, 2012.
4. B. Rao, Y. C. Shin, Analysis on high-speed face-milling of 7075-T6 aluminum using carbide and diamond cutters, *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, 41(12): 1763–1781, 2001.
5. D. M. Stefanescu, R. Hummer, and E. Nechtelberger, Compacted graphite irons, *Met. Handb.*, 1, January 1990, pp. 667–677, 1988.
6. A. Mavi, İ. Korkut, The effects of austempering temperature and time on the machinability of vermicular graphite iron, *Mater. Test.*, 56(4): 289–293, 2014.
7. U. Şeker, H. Hasırcı, Evaluation of machinability of austempered ductile Irons in terms of cutting forces and surface quality, *J. Mater. Process. Technol.*, 173(3): 260–268, 2005.
8. J. Zimba, D. J. Simbi, E. Navara, Austempered ductile iron: An alternative material for earth moving components, *Cem. Concr. Compos.*, 25(6): 643–649, 2003.
9. Ş. Karabulut, A. Güllü, Farklı yavaşma açıları ile vermiküler grafitli dökme demirin frezelenmesinde kesme kuvvetlerinin araştırılması ve analitik modellenmesi, *Gazi Üni. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 28(1):135–143, 2013.
10. İ. Uzun, K. Aslantaş, S. Taşgetiren, K. Gök, Östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirin sinterlenmiş karbür kesici takım ile tornalama işleminde takım performansının incelenmesi, *Gazi Üni. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 22(4): 739–744, 2007.
11. Seco Tools Kesici Takımlar Mak. San. Tic. A.Ş., Yüksek İlerlemeli Frezeler <https://www.secotools.com/#article/614>, Ekim, 2018.
12. Kahraman Y., Uzun G., Korkut I., Vermiküler grafitli dökme demirlerin frezelenmesinde östempereleme sıcaklığı ve süresinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi, 6. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu (UTİS 2015), 5-7 Kasım Sabancı Üniversitesi İstanbul, 2015.
13. Kahraman Y., Uzun G., Mavi A., Korkut I., Östemperlenmiş vermiküler grafitli dökme demirin mekanik özelliklerinin kesme kuvvetlerine etkisi , 5. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu (UTİS 2014), 23-25 Ekim, Uludağ Üniversitesi, Bursa, 2014.
14. Sandvik Endüstriyel Mamüller Sanayi ve Ticaret A.Ş., Yüksek ilerlemeli yüzey ve dalma frezeleme, https://www.sandvik.coromant.com/tr-tr/products/coromill_210/, Ekim, 2018.
15. İ. Ovalı, A. Mavi, Ösferrit hacim oranının çift fazlı küresel grafitli dökme demirlerin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi, in 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 2011.
16. M. Gunay, A. Kacal, Y. Turgut, Optimization of machining parameters in milling of Ti-6Al-4V Alloy using Taguchi method, *New world Sci. Acad.*, 6(1): 428–440, 2011.
17. T. Kivak, Optimization of surface roughness and flank wear using the Taguchi method in milling of Hadfield steel with PVD and CVD coated inserts, *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, 50 (1):19–28, 2014.
18. İ. Korkut, M. A. Dönertaş, Kesme parametrelerinin frezelemede oluşan kesme kuvvetleri üzerine etkileri, *Politek. Derg.*, 6 (1): 385–389, 2003.
19. Z. G. Wang, Y. S. Wong, M. Rahman, High-speed milling of titanium alloys using binderless CBN tools, *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, 45(1): 105–114, 2005.