

FREZELEMEDE KESME PARAMETRELERİ İLE KESME KUVVETLERİNİN DEĞİŞİMİ VE BUNLARIN TAKIM AŞINMASI VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ**Hacı SAĞLAM**

Selçuk Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Konya, Türkiye

ÖZET

Günümüz imalat sistemleri ekonomik ve kaliteli üretim için kesme parametrelerinin ve işleme şartlarının optimum tayinini gerektirir. Bu çalışmada kesme kuvvetleri ile kesme kuvvetleri ve çıktı değerleri olan serbest yüzey aşınması (V_b) ile yüzey pürüzlülüğü (R_a) arasındaki korelasyon analiz edilmiştir. Çıktı değerlerinin dolaylı olarak tahmin edilmesinde V_b ve R_a 'ya en duyarlı kesme parametreleri ve kesme kuvveti bileşenlerinin değişimleri referans alınmıştır. Çizilen grafiklerde aşınma ve yüzey kalitesi üzerinde; ilerleme (F_f) ve normal kuvvete (F_n) ilaveten ilerleme kuvvetinin normal kuvvete (F_f/F_n) ve normal kuvvetin radyal kuvvete oranları (F_n/F_r) etkili bulunmuştur. Bu değerlerin on-line takım durumu izleme ve yüzey kalitesinin korunmasında etkili parametreler olduğu görülmüştür.

THE CHANGING OF CUTTING FORCES WITH CUTTING PARAMETERS AND THE INVESTIGATION OF THEIR EFFECTS**ON TOOL WEAR AND SURFACE ROUGHNESS IN MILLING****ABSTRACT**

The recent manufacturing systems require optimum determination of cutting parameters and machining conditions for economic and quality production. In this experimental study the correlation between cutting forces with flank wear (V_b) and surface roughness (R_a) which are being output values has been analysed. In predicting of output values as indirectly, cutting parameters that are the most sensitive to V_b and R_a and the variations of cutting force components has been taken as reference. At drawn curves, the rate of feed force to normal force (F_f/F_n) and normal force to radial force (F_n/F_r) has been found effective on flank wear and surface quality in addition to feed force (F_f) and normal force (F_n). It has been seen that these values are effective parameters at on-line tool condition monitoring and maintaining surface quality.

1.GİRİŞ

Frezeleme, birçok uygulamalar için yaygın olarak kullanılan önemli talaş kaldırma işlemidir. Talaş kaldırmada asıl amaç; en düşük maliyetle en yüksek üretim miktarını maksimum takım ömrü ile elde etmektir. Bunu yaparken yüzey kalitesini muhafaza etmek için talaş kaldırmaya etki eden kesme şartlarının, takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini analiz etmek gerekir. Optimum kesme şartlarının seçimi ekonomik fayda sağlamada önemli bir faktördür. Bu tür problemlerin çözümünde kullanılan etkili metod adaptif kontrol olarak bilinir [1]. İşleme problemlerinde optimizasyon analizinin esas gayesi optimum kesme parametrelerini seçmektir. Sonuçta seçilen parametre kombinezonu, en düşük maliyet, en yüksek üretim miktarı veya kar oranı için optimum olacaktır. Talaş kaldırmada ortak problemler ince kesitli parçaların işlenmesi, kesici takımların rijit olmayışı ve bağlama olarak sıralanabilir. Bu problemlerin aşılması kabul edilebilir işleme şartları gerektirir. Ancak bu işleme şartları da aşırı kesme kuvvetlerine ve artan yüzey hatalarına yol açabilir. Bu durumda, üretim miktarında azalmaya sebep olsa da, daha konservatif işleme şartları gerekir.

Kesme kuvvetleri, işleme esnasında oluşan herhangi bir değişken tarafından, doğrudan etkilenen en önemli çıkış değişkenlerinden biridir. Kesme kuvvetleri üzerinde etkili olan bu değişkenler; ilerleme hızı, talaş derinliği (radyal ve aksiyal) kesme hızı, takım ve talaş geometrisi, iş malzemesi, takım-tezgah çiftinin dinamik karakteristikleri, bağlama sistemi, takım kesme yüzeylerindeki aşınmanın gelişimi, sıcaklık ve titreşim gibi faktörlerdir. Takıma etki eden kesme kuvvetleri takım durumu hakkında önemli bilgi kaynağıdır. Bu bilgi işlenebilirliği, takım kırılmasını, takım aşınmasını, tırlamayı ve yüzey tamlığını anlamada kullanılabilir [2].

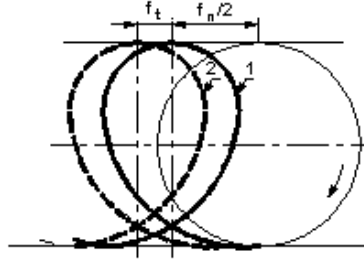
Deforme edilmemiş talaş kalınlığı ve iş mili dönüşü ile her an değişen kesme hızı doğrultusu yüzünden frezeleme işlemi geometrik olarak karmaşıktır. Bu karmaşıklık sebebiyle kesme kuvvetleri kararlı durumda dahi birçok parametre tarafından etkilenir. Böylece zamanla kesme kuvvetlerinin değişimi özel bir karakteristiğe sahiptir [3].

On-line kontrolde takım aşınmasının doğrudan ölçümü zordur. Yapılan çalışmalar [4, 5] kesme kuvvetleri takım aşınmasındaki değişimlere duyarlı olduğunu göstermiştir. Bu yüzden bunlar uygulamalar için kullanışlı ve güvenilir bulunmuştur. Takım aşınması yüzey kalitesi üzerinde de önemli bir etkiye sahiptir. Takım aşınmasının tayininde yaygın olarak serbest yüzey aşınması (V_b), yüzey kalitesinin tayininde ise yüzey pürüzlülüğü (R_a) referans alınmaktadır. Bu sebeple tayin edilen yüzey kalitesinin korunması için takım ömrü önceden tayin edilmelidir.

Bu çalışmanın amacı, frezelemede kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri üzerindeki etkilerini incelenmesi, takım aşınmasına bağlı olarak kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğündeki değişimlerin analizi ve optimum kesme parametrelerinin seçilmesidir. Bu maksatla dikey mill freze tezgahında, belirlenen kesme parametreleri ile yapılan frezeleme işlemleri esnasında kaydedilen kuvvet, aşınma ve yüzey pürüzlülük değerleri analiz edilmiştir.

2. FREZELEMEDE KESME

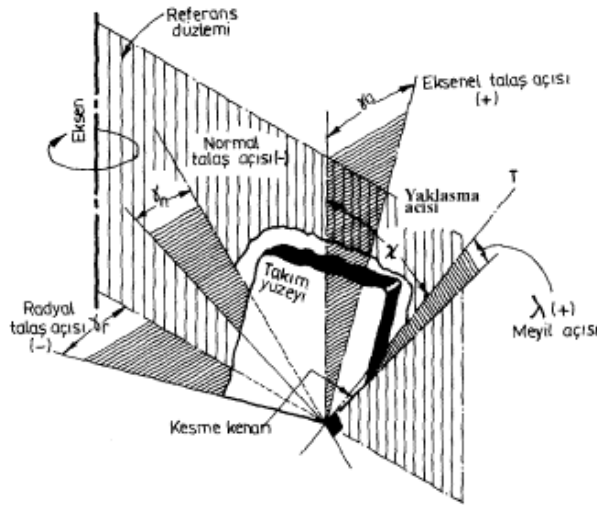
Frezelemede kesme, takımın kendi eksenini etrafında dairesel hareketi ve iş parçasının doğrusal ilerleme hareketi ile gerçekleşen temel bir kesme operasyonudur. Frezelemede her kesici ağız kısa bir süre parçayı keser. Kesici ağızlar parça ile sürekli olmadığından frezeleme bir kesintili kesme işlemidir ve talaş kesiti ve dolayısıyla talaş yükü de her an değişir. Kesme esnasında kesici ağızların her noktası parçaya göre izafi hareket ederek birer sikloit eğrisi çizerler (Şekil 1). Müteakip iki dişe ait yörüngeler arasında kalan "virgül" şeklindeki kısım talaş şeklini meydana getirir. Frezelemede maksimum verim için tezgah teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak, takım ve talaş geometrisi üzerinde de çalışmalar yapılmaktadır.



Şekil 1. Frezelemede ardışık iki diş tarafından çizilen sikloit eğrisi

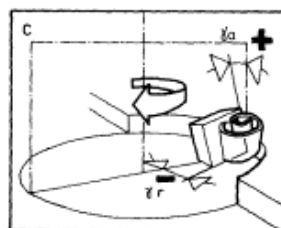
2.1. Frezelemede Takım Geometrisi

Frezeleme, takım ekseninin parça düzlemindeki konumuna bağlı olarak çevresel ve alın frezeleme olarak adlandırılır. Kullanılan kesici takımlar genellikle birden fazla kesici ağza sahip olduklarından, tek-ağızlı kesici takımlara göre talaş kaldırma kapasiteleri ve takım ömürleri daha fazla, talaş geometrileri ise daha karmaşıktır. Bir takımın kesme ucu geometrisi, üç boyutlu düzlemde, birçok açı tanımlamayı gerektirir. Freze çakıları gerek yekpare, gerekse takma uçlu olsun; kesici takım açıları, uçların takıma bağlı haldeki konumuna göre değer alır. Bir freze çakısının takım açıları Şekil 2'de gösterilmiştir.



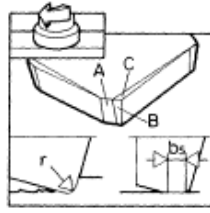
Şekil 2. Bir karbür alın freze takım ucu geometrisi

Takımın performansını takım malzemesi ile birlikte sahip olduğu açı değerleri tayin eder. Yaklaşma (giriş) açısı (γ) kesme kuvvetini, talaş akışını, talaş kalınlığını, takım ömrünü ve işlenen yüzey kalitesini önemli ölçüde etkiler. Açı değeri 90° den saptıkça talaş kalınlığı ve titreşim azalır. Eğim açısı (λ) esas kesme kenarının parçaya yaklaşımını etkiler, talaş akışını yönlendirir ve daha az giriş darbesi sağlar. Kesme kenarı referans düzleminde yer almadığından, bu şartlarda eğimli kesme meydana gelir. Talaş açısı (γ) takımın malzemeye dalmasını kolaylaştırır, pozitif ve negatif değer alabilir. Pozitif talaş açısı kesme kuvvetini, dolayısıyla kesme gücünü azaltır. Bu açı kesici ağzın güçlendirilmesi gereken sert malzemelerin işlenmesinde negatif değerler alabilir. Çift negatif geometrili takımlar, sert çeliklerin ve dökme demirlerin darbeli talaş kaldırma şartlarında, çift pozitif geometrili takımlar ise, genellikle akma tipi talaş veren yumuşak çelik ve alüminyum gibi malzemeler ile kırılğan, dengesiz ve gerinme sertleşmesine meyilli malzemelerin işlenmesinde tercih edilir. Şekil 3'te pozitif elksenel talaş açılı (γ_a) ve negatif radyal talaş açılı (γ_r) bir takım geometrisi görülmektedir [6].



Şekil 3. Pozitif ve negatif talaş açılı bir takım geometrisi .

Bir kesici takım ucu, kesme kenarını güçlendirmek, ısıyı dağıtmak ve aşınmayı azaltarak takım ömrünü uzatmak için kavilendirilir. Yüksek ilerleme değerlerinde, düzgün bir yüzey kalitesi elde etmek için, özellikle bitirme işlemlerinde, köşe gerisinde bir düzlük oluşturulmuş (bs) takım uçları kullanılmaktadır (Şekil 4).

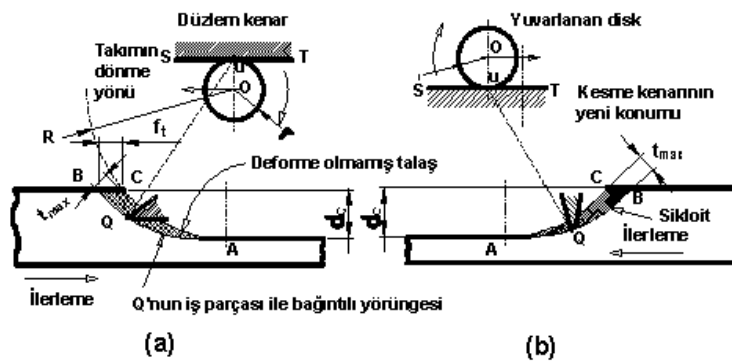


Şekil 4. Köşe kavisli ve düzlem yüzey yapılı bir takım ucu

2.2. Frezelemede Talaş Geometrisi

2.2.1. Çevresel frezelemede talaş geometrisi

Takım, sabit bir ekseninde sabit bir açısal hızla dönerken, iş parçası takıma karşı sabit bir hızla ilerler. Bu dönme ve ilerleme hareketleri sonucu takım ucu (Q) bir sikloid eğrisi çizer. Talaş iki ardışık kesici diş tarafından çizilen AC ve AB yayı arasında meydana gelir. Çevresel frezeleme, takım dönme yönünün, iş parçası ilerleme yönüne göre, Zıt Yönlü Frezeleme (ZYF) ve Aynı Yönlü Frezeleme (AYF) olarak incelenebilir. ZYF'de talaş A'dan B'ye kesilirken, deforme olmamış talaş kalınlığı, sıfırdan t_{max} 'a değişir (Şekil 5a), AYF'de ise talaş B'den A'ya doğru kesilir ve talaş kalınlığı t_{max} 'tan sıfıra düşer (Şekil 5b), [7].



Şekil 5. Çevresel frezeleme; (a) Zıt yönlü frezeleme, (b) Aynı yönlü frezeleme

Talaş uzunluğu ZYF ve AYF için sırasıyla;

$$AB \cong R\theta_B + \frac{f_n}{2\pi R} (2Rd_c - d_c^2)^{1/2} \quad (1)$$

$$BA \cong R\theta_B - \frac{f_n}{2\pi R} (2Rd_c - d_c^2)^{1/2} \quad (2)$$

denklemleri ile hesaplanabilir. Burada $f_n=2pr$ (ilerleme/devir)'dir. Denklemlerden de anlaşılacağı gibi, U noktası dairenin altında olduğundan, AYF'de talaş uzunluğu aynı şartlarda ZYF den daha kısa ve aradaki fark ise ilerleme (f) ile orantılı olarak artmaktadır. ZYF'de kesici kenarın kesme yapmaksızın kayması ile meydana gelen sürtünme, yüzeyde sıcaklık artışına ve yüzey sertleşmesine sebep olur. Bu da takım aşınmasına, dolayısıyla takım ömrüne etki eder. Frezelemede talaş derinliği (d_c) yaklaşık olarak ZYF'nin sonunda ve AYF'nin başlangıcında maksimum değere (t_{max}) ulaşır. ZYF ve AYF için t_{max} ;

$$t_{max} = f_t \left[\frac{2Rd_c}{R^2} \right]^{1/2} = 2f_t \sqrt{\frac{d_c}{D}} \quad (3)$$

denklemleri ile elde edilir. Schlesinger [8] ise ortalama talaş kalınlığının (t_m ; $t_m=t_{max}/2$), $q/2$ açısına (q -ani konum açısı) tekabül eden talaş kalınlığı olduğunu aşağıdaki denklemle ifade etmiştir. Burada f_t diş başına ilerleme, D takım çapıdır.

$$t_m = f_t \sqrt{\frac{d_c}{D}} \quad (4)$$

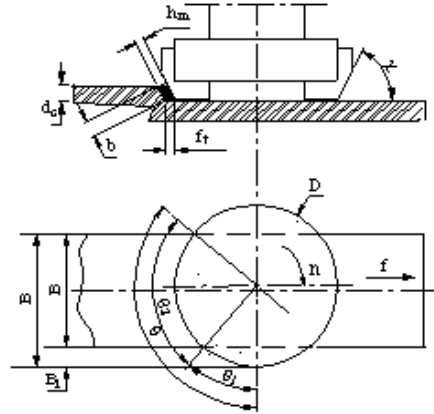
2.2.2. Alın frezelemede talaş geometrisi

Alın frezelemede takım eksenine işlenen yüzeye dik olduğundan talaş, ardışık iki sikloid eğrisi ile kuşatılmış bir hilal şeklini alır. Deforme olmamış talaş uzunluğu, takımın parçaya göre konumuna bağlı olarak değişir. Alın frezelemede de ZYF ve AYF geçerlidir. Şekil 6'dan

[2] simetrik frezelemede kavrama açısı (q),

$$\sin(\theta/2) = \frac{B/2}{D/2} = \frac{B}{D} \quad (5)$$

denkleminde elde edilir.



Şekil 6. Alın frezelemede talaş boyutları

Kısmi kavramalı asimetrik frezelemede ise takım giriş (q_1) ve çıkış kavrama açısı (q_2) sırasıyla;

$$\cos \theta_1 = \frac{(D/2) - B_1}{D/2} = 1 - \frac{2B_1}{D} \quad (6)$$

$$\cos \theta_2 = \frac{(D/2) - B_2}{D/2} = 1 - \frac{2B_2}{D} \quad (7)$$

denklemleri ile hesaplanır. Buna bağlı olarak asimetrik ve simetrik frezeleme için talaş uzunluğu (l_c);

$$l_c = \frac{\pi D \theta}{360} \quad (8)$$

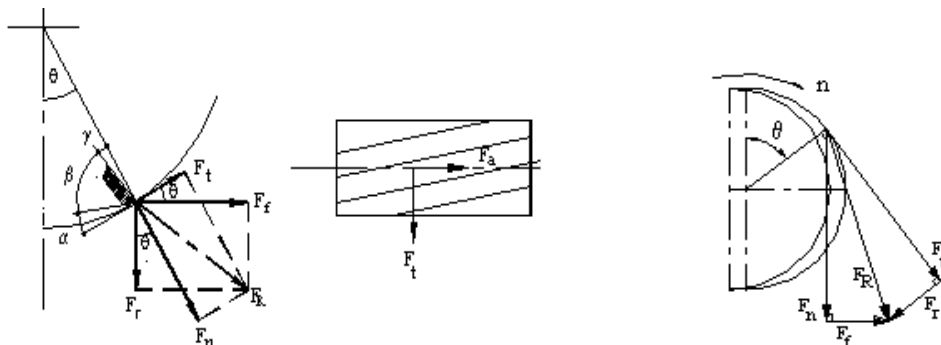
denklemleri ile hesaplanır. Alın frezelemede genellikle kısmi kavramalı simetrik frezeleme tercih edilir ve takım çapı, parça genişliğinin 1.3-1.6 katı alınır. Ortalama talaş kalınlığı (t_m), kesme kuvvetlerinin ve kesme gücünün hesaplanmasında önemli bir kriter olup ;

$$t_m = \frac{\sin \chi \cdot 180 B_1^2}{\pi D \arccos \sin \frac{B_1}{D}} \quad (9)$$

denklemleri ile hesaplanabilir. Alın frezelemede takımın kesme kenarları ile, işlenen yüzey arasındaki temas uzunluğu az olduğundan, çevresel frezelemeye göre sürtünme kuvveti daha azdır ve bu %30 güç kazancı sağlar. Bu yüzden alın frezeleme genellikle dökme demir ve dövme çeliklerin işlenmesinde tercih sebebidir. Uzun, deforme olmamış talaş boyu, malafanın kısa olması ve kesicinin doğrudan alın yüzeyine bağlanması sebebiyle, mildeki tork daha dengelidir. Böylece işlenen yüzeydeki düzensizlikler daha az ve geometrik olarak yüksek bir düzlemselliğe sahiptir.

2.3. Frezelemede Kesme Kuvvetleri

Frezelemede talaş kalınlığı kesme çevrimi boyunca değiştiğinden bu, değişken takım kuvvetleri ve temas şartları sağlar. Çevresel frezelemede ilerleme (F_f) ve radyal kuvvet (F_r) dinamometre tarafından ölçülürken, teğet (F_t) ve normal kuvvet (F_n) kesme kenarı ani konum açısının (q) bir fonksiyonu olarak yazılabilir (Şekil 7a), [9].



(a)

(b)

Şekil 7. Çevresel ve alın frezelemede kesme kuvvetlerinin analizi

$$F_t = F_f \cos \theta - F_r \sin \theta \quad (10.1)$$

$$F_n = F_f \sin \theta + F_r \cos \theta \quad (10.2)$$

Eğer takım helisel kanallı ise aksel kuvvet $F_a = F_t \tan \lambda$ ile hesaplanır. Alın frezelemede ise normal (F_n) ve ilerleme kuvveti dinamometre ile ölçülür, F_t ve F_r , φ açısına bağlı olarak matris transformasyonu ile hesaplanabilir (Şekil 7b), [10].

$$\begin{bmatrix} F_t \\ F_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin(\theta) & -\cos(\theta) \\ \cos(\theta) & -\sin(\theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_n \\ F_t \end{bmatrix} \quad (11)$$

Bu kuvvetlerin bir çevrimde her an değişen değerleri yerine ortalama değerlerini ölçmek daha uygundur. Frezelemede aynı anda birden fazla kesici kesmeye iştirak ettiğinden, ölçülen kesme kuvveti, o an kesme yapan diş sayısının meydana getirdiği kuvvet olacaktır. ZYF'de talaş çıkışında kesme için harcanan enerjinin aniden boşalması sebebiyle, özellikle karbür uçlarda kırılmalar olur. Bu sebeple AYF tercih sebebidir. Ancak tek ana millî tezgahlarda, AYF yapılabilmesi için tabla ilerletme sistemindeki boşluğun, mekanik veya hidrolik bir boşluk giderme mekanizması ile giderilmesi gerekir.

3. MATERYAL VE METOT

Frezeleme deneyleri dikey millî, üniversal bir freze tezgahında (FU315 V2-Taksan) yapılmıştır. Kesici takım olarak karbür uçlar (SPMW 12 04 08 SBF (HW) P15-P30, kaplamasız, Mitsubishi), beş kesici uçlu bir takım tutucu (A2 45 89 R05-12 Takımsaş), malzeme olarak 40 HRC'de setleştirilmiş ve gerilim giderme işlemi uygulanmış Ç1040 çeliği kullanılmış, soğutma sıvısı kullanılmamıştır. Kullanılan kesme parametre aşağıda verilmiştir.

Kesme hızı(v): 113; 140; 178; 226 m/dak

İlerleme (f) : 0.176; 0.140; 0.112; 0.088 mm/diş

Talaş derinliği (d): 1; 1.5; 2.5; 3.5 mm

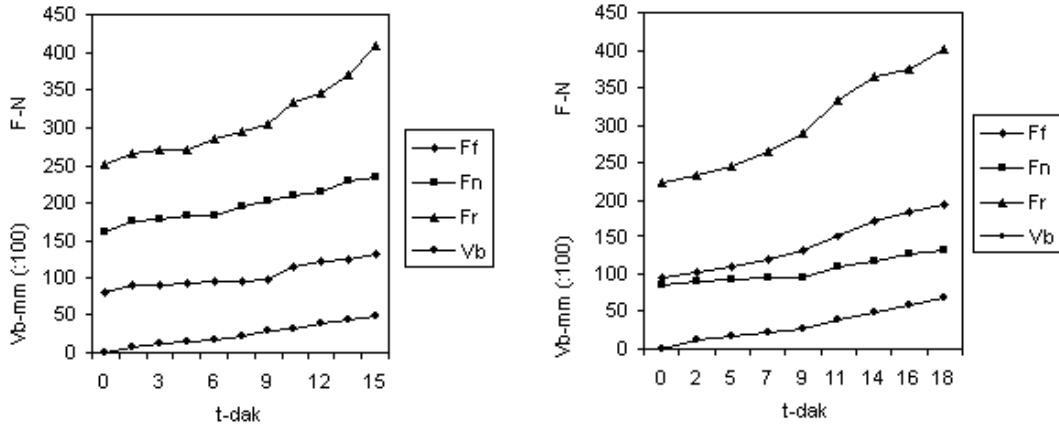
Kuvvet bileşenleri, PC uyumlu bir veri toplama kartı (PCL-818H) ile arayüz edilen üç-elemanlı, uzama ölçer esaslı bir dinamometre kullanılarak ölçülmüş ve ortalama değerler bilgisayara kaydedilmiştir. İşlem süresince periyodik olarak Ra ve Rt değerleri bir yüzey pürüzlülük cihazı (Taylor Hobson-Mitutoyo) ile, Vb değerleri de takımçı mikroskobu (Fowler-Sylvac 25) ile ölçülmüştür [11]. Vb değerleri her uçta eşit olmadığından, ortalama değerleri alınmıştır. Kesme parametreleri kombinezonları için ortogonal dizi [12] kullanılarak 16 deney (L16) yapılmıştır.

3.1. Deney Verilerinin Analizi

Bu çalışmada her deney için aynı kesici uç grubu (5 adet) kullanılmıştır. Belirlenen şartlarda yapılan alın frezeleme işlemlerinde kesme parametrelerinin kesme kuvvetleri ve kuvvet oranları ile Vb ve Ra'ya etkileri incelenerek, bunların etki derecelerinin tespiti hedeflenmiştir. Bu sebeple giriş ve çıkış parametrelerinin grafikleri çizilerek, hangi kuvvet bileşeni/oranının Vb ve Ra'daki değişimlere duyarlı olduğu veya hangi faktörlerin etkilerinin ihmal edilebileceği yada kontrol altında tutulmaları gerektiği analiz edilmiştir.

3.1.1. İşleme zamanı ile serbest yüzey aşınmasına göre kesme kuvvetlerinin değişimi

Aşınmaya bağlı olarak takım-iş parçası arasındaki sürtünme kuvveti arttığından, kesme kuvvetlerinde farklı seviyelerde artışlar meydana gelmektedir. Deney verilerine göre çizilen t-VB-F değişim eğrileri Şekil 8.a-b'de verilmiştir.



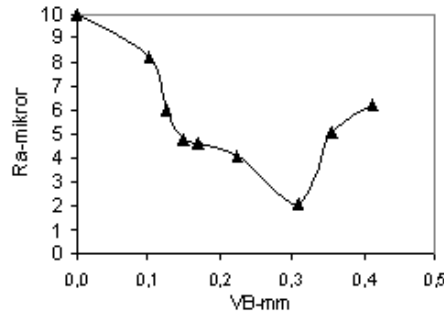
a) $v=113$ m/dak; $f=400$ mm/dak; $d=2.5$ mm b) $v=226$ m/dak; $f=200$ mm/dak; $d_c=2.5$ mm

Şekil 8. Farklı kesme ve ilerleme hızlarında Vb ve F'in zamana göre değişimi

Grafikler incelendiğinde kesme kuvvetlerinin serbest yüzey aşınması ile yaklaşık lineer değiştiği, ilerleme ve radyal kuvvetlerin VB'ye daha duyarlı, normal kuvvet bileşenin ise daha az duyarlı olduğu görülmektedir. Yüksek kesme hızlarında daha fazla serbest yüzey aşınması ve daha düşük kesme kuvvetleri meydana gelmektedir. Kesme kuvvetleri üzerinde talaş derinliği daha etkilidir.

3.1.2. Serbest yüzey aşınması ile yüzey pürüzlülüğünün değişimi

Yeni bir takım ile kesmeye başlandığında takım uç kavisinin küçük olması sebebiyle, başlangıçta yüzey pürüzlülüğü değerleri oldukça yüksektir. Ancak takım ucu aşındıkça takım uç kavisini artırır. Böylece Ra takım uç kavisinin bir fonksiyonu olarak değişir. Aşınmaya göre pürüzlülük değişim eğrileri Şekil 9'da görülmektedir.



Şekil 9. Serbest yüzey aşınması-yüzey pürüzlülüğü ilişkisi

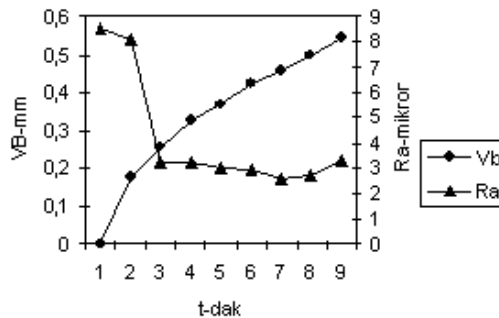
($v=140$ m/dak; $f=315$ mm/dak; $d_c=2.5$ mm)

Yukarıdaki eğrilere göre, takım uç kavisinin artmasıyla aşınmanın belli bir değerine kadar Ra'nın azaldığı, bu değerden sonra yükseldiği ve takım ömrünü tamamladıktan sonra yani üçüncü aşınma bölgesine girdiğinde ise aşırı arttığı görülmektedir. Yüzey kalitesi ilerleme hızı, takım uç kavisini ve takım çapına bağlı olarak şöyle ifade edilebilir [6].

$$R_t = f \cdot r^2 \cdot 1000 / 4 \cdot D$$

3.1.3. Serbest yüzey aşınması ile yüzey pürüzlülüğünün zamana göre değişimi

VB'nin takım ömrünü, Ra'nın ise yüzey kalitesini tayin eden önemli parametreler olması sebebiyle, bunların zamana bağlı değişimleri Şekil 11'de gösterilmiştir. VB üzerinde f ve d'nin birleşik bir etkisi söz konusu olup, d'deki artışlar VB'yi etkilemekte ve dolayısıyla takım ömrünü kısaltmaktadır.

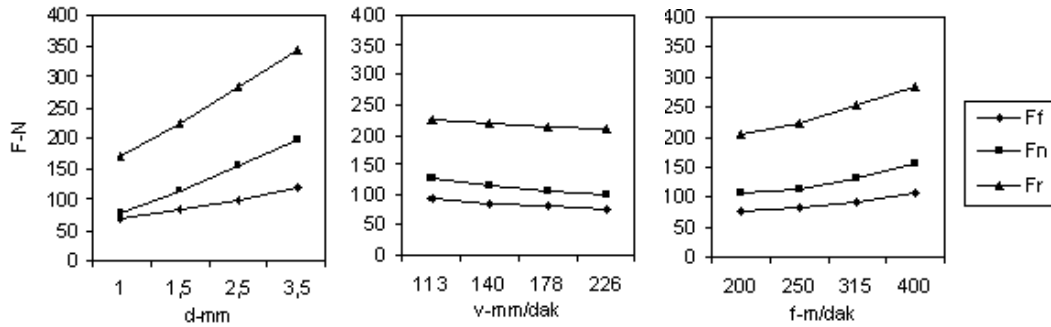


Şekil 10. İşleme zamanı ile serbest yüzey aşınması ve yüzey pürüzlülüğü ilişkisi**($f=400$ mm/dak; $v=226$ m/dak; $d_c=3.5$ mm)**

Bu eğrilerden faydalanarak istenilen yüzey kalitesi için optimum takım ömrü veya müsaade edilen aşınma miktarı tayin edilebilir.

3.1.4. Kesme parametreleri ile kesme kuvvetlerinin değişimi

Değişik kesme parametreleri ile yapılan alın frezeleme işlemleri sonucu elde edilen verilere göre kesme parametreleri ile kesme kuvvetlerinin değişim grafikleri Şekil 11a-c'de görülmektedir.



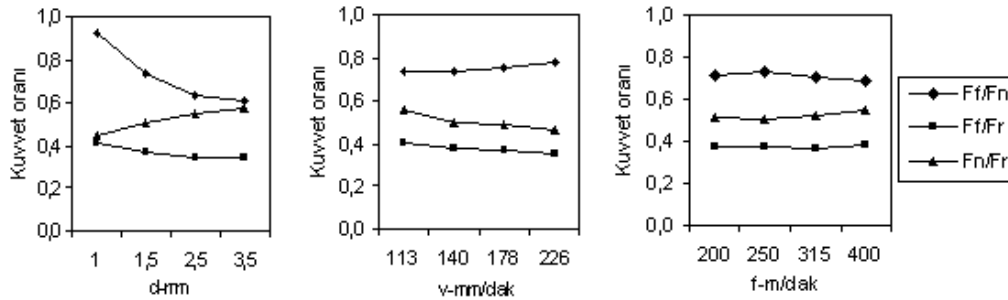
a) $v=140$ m/dak; $f=250$ mm/dak b) $d_c=1.5$ mm; $f=250$ mm/dak c) $d_c=1.5$ mm; $v=140$ m/dak

Şekil 11. Kesme parametreleri ile kesme kuvvetlerinin değişimi

Grafikler incelendiğinde, kesme kuvvetlerinin ortalama değerlerinin daha çok talaş derinliği ve ilerleme hızına bağlı olarak değiştiği (talaş kesiti talaş derinliği ve ilerlemenin bir fonksiyonudur) ve kesme hızının kuvvet elemanları üzerinde önemli bir etkisi olmadığı çizilen grafiklerde görülmektedir. Normal kuvvet (F_n) takım aşınmasına ve ilerlemeye karşı daha yüksek duyarlılık göstermektedir.

3.1.5. Kesme parametreleri ile kuvvet oranlarının değişimi

Deney verilerine dayanılarak çizilen talaş derinliği, kesme hızı ve ilerlemenin üç kuvvet oranı ile değişim eğrileri Şekil 12'de verilmiştir.



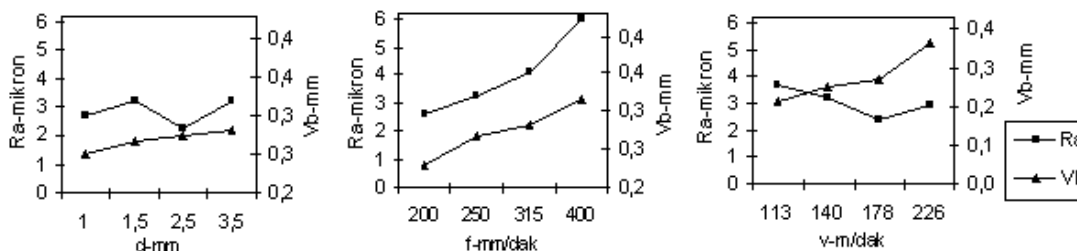
a) $v=140$ m/dak; $f=250$ m/dak b) $d=1,5$ mm; $f=250$ m/dak c) $d=1.5$ mm; $v=140$ m/dak

Şekil 12. Kesme parametreleri ile kesme kuvveti oranlarının değişimi

Kesme parametrelerinin kuvvet oranları üzerindeki etkilerini incelemek için F_f/F_n , F_f/F_r ve F_n/F_r şeklinde üç kuvvet oranı tespit edilmiş ve etki seviyeleri grafik olarak gösterilmiştir. Buna göre F_f/F_n ve F_n/F_r 'nin kesme parametrelerinden daha çok etkilendiği, F_f/F_r 'nin ise önemli derecede etkilenmediği görülmektedir.

3.1.6. Kesme parametreleri ile yüzey pürüzlülüğü ve serbest yüzey aşınmasının değişimi

Kesme parametrelerinin çıktı değerleri olan takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü ile değişim eğrileri Şekil 13'te verilmiştir.



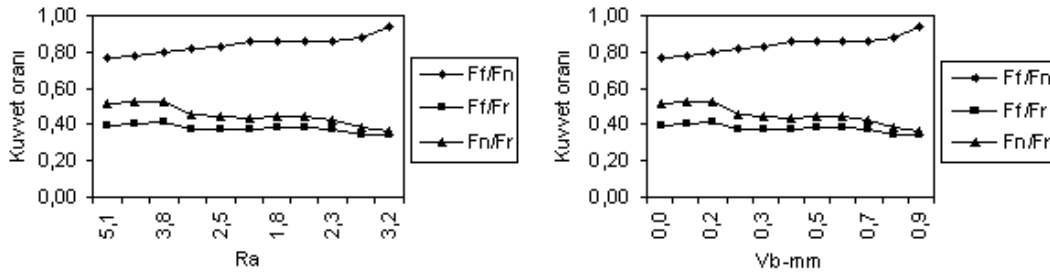
a) $v=140$ m/dak; $f=250$ m/dak b) $v=140$ m/dak; $d=1.5$ mm c) $f=250$ m/dak; $d=1.5$ mm

Şekil 13. Kesme parametreleri ile Vb ve Ra'nın değişimi

Çıktı değeri olan yüzey pürüzlülüğünün özellikle ilerleme ile pozitif ve üssel olarak, kesme hızı ile negatif olarak değiştiği, talaş derinliğinden önemli derecede etkilenmediği görülmektedir. Serbest yüzey aşınmasının ise en çok sırasıyla kesme ve ilerleme hızından, en az talaş derinliğinden pozitif olarak etkilendiği görülmektedir. İlerleme ve aşınma Ra üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Buradan Ra ilerleme hızı ile kontrol edilirken Vb kesme hızı ile kontrol edilebilir.

3.1.7. Yüzey pürüzlülüğü ve serbest yüzey aşınmasının kuvvet oranları ile değişimi

Ra ve Vb'nin ortalama değerleri ile kuvvet oranları arasındaki ilişki incelendiğinde, F_f/F_n ile F_n/F_r oranlarının Ra ve Vb'deki değişimlere daha duyarlı olduğu, F_f/F_r oranının ise bu değişimlere duyarlı olmadığı görülmektedir. Ra ve Vb'nin kuvvet oranları ile etkileşimleri Şekil 14'te görülmektedir.



Şekil 14. Ra ve Vb'nin kuvvet oranları ile değişimi

($v = 226\text{m/dak}$; $f = 315\text{m/dak}$; $d = 1.5\text{mm}$)

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Frezeleme işlemine etki eden birçok parametre olması sebebiyle ekonomik talaş kaldırmak için kontrol edilen kesme parametreleri ve kesme şartlarının optimum tayini gerekir. İşlem çıktıları olan takım aşınması ve yüzey kalitesi gibi değerlerin işlem sırasında ölçümü yerine, bunların giriş parametreleri ile ilişkileri incelenerek, aralarındaki korelasyon en yüksek olan faktörün dolaylı olarak izlenmesi üretimde gereken hız ve kaliteyi sağlayacaktır.

DeneySEL çalışmada belirlenen kesme parametreleri ile yapılan frezeleme işlemleri sonucu kaydedilen kuvvet ve ölçülen Ra ve Vb değerlerinin grafikleri çizilerek aralarındaki ilişkiler ortaya konmuştur. Buna göre Vb ile kesme kuvvetlerinin yaklaşık lineer olarak değiştiği, Vb'ye bağlı olarak Ra'nın belli bir minimuma kadar azalma gösterdiği ve takımdaki tahribata bağlı olarak sonra artış gösterdiği, kesme kuvvetleri üzerinde talaş derinliği ve ilerlemenin daha etkili olduğu, kesme kuvvetlerine bir alternatif olarak Ra ve Vb'nin F_f/F_n ve F_n/F_r kuvvet oranlarına daha duyarlı olduğu görülmüştür. Böylece bu kuvvet oranlarının takım aşınmasını ve dolayısıyla takım ömrünü ve belirlenen yüzey kalitesini tayin etmede bir gösterge olarak kullanılabilceği gösterilmiştir.

Sonuç olarak matematiksel veya ampirik modeller yerine, takım aşınması veya takım ömrüne karar vermede, bunlara duyarlı bazı değişkenlerin kesme esnasında değişimlerinin sürekli izlenmesi ve elde edilen bu verilerin uygun değerlendirme teknikleri ile işlenmesi sonucu daha hassas neticeler elde edilebilir. Adaptif kontrol gereği verilen karar tezgahın kontrol mekanizmasına yöneltilmek suretiyle, kesme parametrelerinin otomatik ayarlanması gerçekleştirilebilir. Belli bir takım ömrü ile çalışırken, takım ömrü tamamlanmadan takımın kırılması hesapta olmayan bir husustur. Oysa bu veri işleme teknikleri ile takım kırılmadan önce müdahale edilerek işlem durdurulabilir ve iş parçasının bozulması engellenerek, kalitede süreklilik sağlanabilir.

KAYNAKLAR

1. Sukvittayawong, S. ve Inasaki, I., "Optimization of Turning Process by Cutting Force Measurement", JSME Int. J., Series III, Vol. 34, No. 4, (1991).
2. Akkurt, M., Talaş Kaldırma Yöntemleri Ve Takım Tezgahları, Birsen Yayınevi, İstanbul, (1992).
3. Kato, S., Fujii, H. ve Yamada, T., Characteristics of Cutting Force in Up-milling and Down milling Processes, Vol. 67-PROD-13, p.1, ASME, New York, 1967.
4. Ippolito, R., Nicheleetti, G. ve Vilenchich, R., "Experimental Analysis of the Correlation Between Cutting Force Variation with Time and Cutting Data", Machinability, CIRP Ann., Vol. 20, No. 2, p. 741, (1972).
5. Mackinnon, R., Wilson, G., ve Wilkinson, A., "Tool Condition Monitoring Using Multi-Component Force Measurements", Proc. Int. MTDR Conf., p. 317, 1986
6. Sandvik, "Modern Metal Cutting, Part: Milling, Chap. X", Sandvik Coromant, Sweden, (1994).
7. Lissaman, A.J., Martin, S.J. Principles of Engineering Production", pp.228-262, ELBS Edit, (1988).

8.Schlesinger, G., "Testing Machine Tools", 7th Edit., Machinery Public. Corp, (1970).

9.Shaw, M.C., "Metal Cutting Principles", Oxford Science Publications, (1984).

10.Gygax, P.E., "Experimental Full Cut Milling Dynamics". Annals of the CIRP, Vol. 29/1, pp. 61-66, (1980).

11.Sağlam, H., "Frezelemede Yapay Sinir Ağlarını Kullanarak Çok-Elementli Kuvvet Ölçümlerine Dayalı Takım Durumu İzleme", Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bil. Ens., Makine Mühendisliği, Konya, (2000).

12.Taguchi, G., Clausing, E.A., Hsiang, T.. Quality Engineering in Production Systems, McGraw-Hill, Singapore, (1989).