

FREZEYLE TORNALAMA YÖNTEMİNİN SÜREÇ MODELLEMESİ

Umut KARAGUZEL^a, Mustafa. BAKKAL^a, Erhan BUDAK^b

^a *Makina Fakültesi, İstanbul Teknik Üniversitesi,

karaguzelu@itu.edu.tr , bakkalmu@itu.edu.tr, İstanbul, Türkiye

^b Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Sabancı Üniversitesi

ebudak@sabaciuniv.edu , İstanbul, Türkiye

Özet

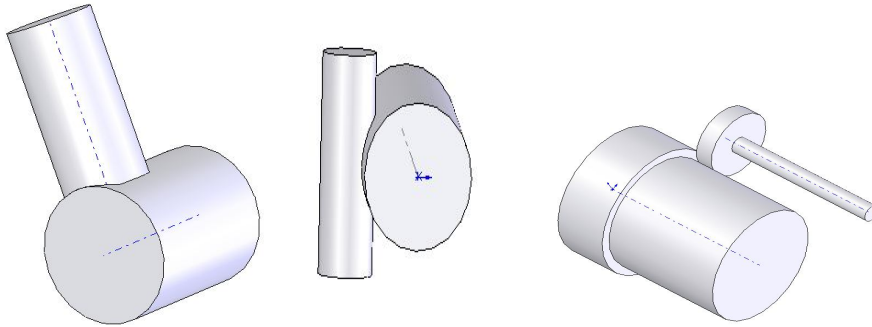
Kesme sırasında ortaya çıkan yüksek sıcaklıklar, takım malzemesinin dayanımını düşürerek takım aşınmasına neden olur ve sonuç olarak takım ömrü düşer. Özellikle torna gibi temasın sürekli olduğu kesme durumlarında sürtünme nedeniyle oluşan sıcaklıklar yüksektir. Bu nedenle son zamanlarda tornalama-frezeleme işlemi giderek yaygınlaşmaktadır. Frezeyle tornalama işleminde klasik tornadaki sabit takım yerine dönen takımlardan faydalanılmaktadır. Böylelikle sürekli temas önlenmiş olur ve kesme sıcaklıkları düşürülerek takım ömrü iyileştirilir. Bu çalışmada işlemin mekaniği modellenerek sürecin nasıl işlediğine dair daha kapsamlı bir anlayış geliştirilmeye çalışılmıştır. Bunun için iki ayrı frezeyle tornalama uygulaması olan dik ve teğetsel kesme koşulları için kesme kuvveti, kesme hızı ve yuvarlaktan sapma modelleri geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Frezeyle tornalama, süreç modellemesi, kesme kuvveti

Giriş

Frezeyle tornalama işlemi imalat sektöründe görece yeni bir prosestir. Bu proseste hem iş parçası hem de kesici takım eş zamanlı olarak dönme hareketini yapmaktadırlar. Geleneksel imalat proseslerinin (tornalama ve frezeleme gibi) teknolojik ve ekonomik nedenlerle belirli limitleri vardır. Örneğin tornalama işlemlerinde işlem hızını sınırlayan aynaya etkiyen santrifüj kuvvetlerken frezeleme işlemlerinde bu limit takıma etkiyen santrifüj kuvvetler tarafından belirlenir. Frezeyle tornalama operasyonu bu iki teknolojiyi birleştirerek imalat sektöründe yeni bir uygulama alanı açmaktadır [1].

Frezeyle tornama işlemini üç farklı yolla yapmak mümkündür. Bunlar Dik, Teğetsel ve Eş merkezli Frezeyle tornalama işlemleri olarak adlandırılmaktadır ve Şekil 1 de gösterilmiştir.



Şekil 1 : Frezeyle tornalama değişik durumlar a) dik b)teğetsel c) eş merkezli

Frezeyle tornalama işleminin en büyük avantajı tornalama işleminin freze yöntemi ile gerçekleştirilebilmesidir. Bu sayede sürekli bir kesim yapılmış olur ki bu da takım ucunun soğumasına izin vererek kesme sıcaklığını düşürür. Sonuç olarak takım aşınması azalır ve maliyet düşer.

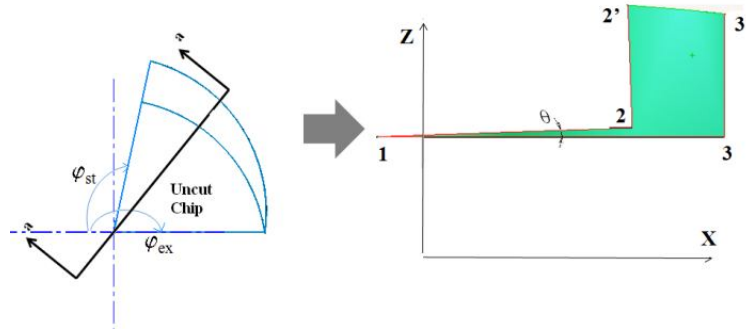
Frezeyle tornalama işlemi imalat sektöründe görece yeni bir teknoloji olduğu için literatürde bu konu ile ilgili yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu konudaki ilk çalışma 1990 yılında Schulz' un yaptığı çalışma olarak kabul edilmektedir [1]. Schulz bu çalışmada işlemi tanımlamış ve kategorilere bölmüştür ayrıca kimi malzemeler ile deney yaparak takım aşınmasına bakmıştır. Literatürdeki çalışmaların çoğunluğu dik frezeyle tornalama işlemi üzerinedir. Choudhury dik frezeyle tornalama işleminde yüzey pürüzlülüğü üzerinde durmuş ve çeşitli malzemeler için işlem sonrası yüzey pürüzlülüğü ölçerek bunların optimizasyonunu yapmıştır [2, 3]. Yüzey pürüzlülüğü üzerine diğer bir çalışma ise teğetsel frezeyle tornalama işlemi üzerine olmuştur, bu çalışma sonunda elde edilen yüzeyin taşlama ile elde edilen yüzey ile karşılaştırılabilecek düzeyde olduğu sonucuna ulaşılmıştır [4]. Yine dik frezeyle tornalama işlemi için Naegu işlemin kinematik analizini yapmıştır [5]. Son olarak yeni bir çalışma olarak Filho dik frezeyle tornalama işlemi için kuvvet modelini oluşturmuştur bu modelin doğruluğunu sınamak için ise köşesi yuvarlatılmış bir parça 5 eksenli tezgahda işlenerek işlem simule edilmiştir [6].

Bu çalışmada dik ve teğetsel frezeyle tornalama işlemi için kuvvet, kesme hızı, ve yuvarlaklık modelleri oluşturulmuştur.

Süreç Modellemesi

2.1 Talaş Geometrisi ve Kesme Kuvveti

2.1.1 Dik Frezeyle Tornalama İşlemi



Şekil 2 Dik frezeyle tornalama işleminde talaş kesiti

Dik frezeyle tornalama işleminde elde edilen talaşın kesiti Şekil 2 de görüldüğü gibidir. Bu kesit üzerinden gerekli geometrik ifadeler ile talaş kalınlığı bulunabilir. Bu ifadeler aşağıda denklemler yardımı ile anlatılmıştır. Geometrik ilişkilerden Şekil 2 deki 1-2 doğrusu şu şekilde ifade edilebilir:

$$z(x) = \tan \theta \cdot x + \frac{(R_w - a_p)}{\cos \theta} \quad (1)$$

Burada R_w parçanın yarıçapı, a_p kesme derinliği, θ parçanın, takımın dönmesi ile gerçekleştirdiği açısal hareket ve son olarak x, X ekseninde orijine olan uzaklıktır. Aynı şekilde 1-3 doğrusu:

$$z(x) = (R_w - a_p) \quad (2)$$

Yukarıdaki benzeri şekilde 2-3 doğrusunu ifade etmek için aşağıdaki denklem kullanılır.

$$z(x) = \sqrt{(R_w + y * \tan\varphi) * (R_w - y * \tan\varphi)} \quad (3)$$

Burada y , Y ekseninde orijinden olan uzaklık, φ ise takımın dönme açısıdır.

$$x_1 = (R_w - a_p) \left(\frac{1}{\cos\theta} - 1 \right) \left(\frac{1}{\tan\theta} \right)$$

$$x_2 = R_c - ((R_w - a_p) \tan\theta) \cos\theta \quad (4)$$

$$x_3 = R_c$$

Yukarıdaki denklemler Şekil 2 de görülen 1,2 ve 3 noktalarının geometrik yerlerini belirtmektedir. Burada R_c takımın yarıçapını belirtmektedir.

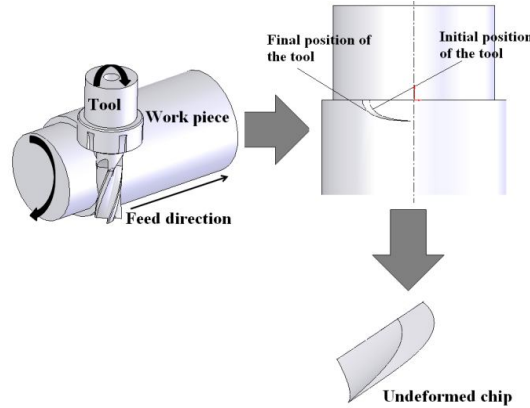
Son olarak takımın parça ile temas halinde olduğu giriş ve çıkış açıları şu şekilde tanımlanabilir:

$$\varphi_{st} = \frac{\pi}{2} + \arcsin \frac{R_c - f}{R_c}$$

$$\varphi_{ex} = \pi \quad (5)$$

Burada f takımın, parçanın bir devrine karşılık ilerlemesidir.

2.1.2. Teğetsel Frezeyle Tornalama İşlemi



Şekil 3. Teğetsel frezeyle tornalama uygulaması ve kesilmemiş talaş geometrisi

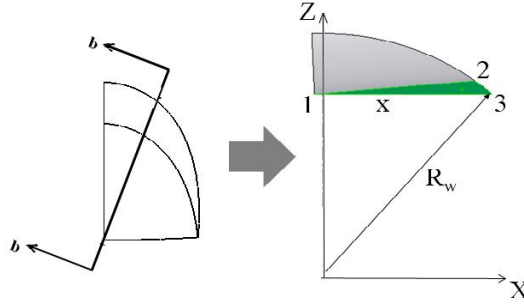
Her ne kadar işlemin doğası gereği takımın parça üzerinde izlediği yol bir trokoid olsa da diş başına ilerleme takım çapına göre oldukça küçük olduğundan bu yol doğru olarak kabul edilebilir. Bunun sonucunda takımın parça üzerindeki açısal hareketi şu şekilde tanımlanır:

$$\theta = \frac{2\pi n_w}{z n_c} \quad (6)$$

Yukarıdaki denklemde n_w parçanın dönme hızı, n_c takımın dönme hızı, z takım üzerindeki diş sayısıdır.

Dik durumdan farklı olarak teğetsel durumda kesilen yüzey tamamen takımın yan yüzeyleri tarafından oluşturulmaktadır.

Kesilmemiş talaş geometrisinin $y=0$ 'da (takım merkezinden geçen eksen) kesiti aşağıda Şekil 4 te görülmektedir.



Şekil 4 Kesilmemiş talaşın $y=0$ da XZ düzlemindeki kesiti

Dik durumda olduğu gibi geometrik ilişkilerden 1-3 doğrusu şu şekilde ifade edilebilir:

$$z(x) = (R_w - [\sqrt{R_t^2 - y^2} - (R_t - a_p)]) \quad (7)$$

Aynı şekilde 2-3 ve 1-2 doğrularının ifadeleri aşağıda görülmektedir.

$$z(x) = \sqrt{R_w^2 - x^2} \quad (8)$$

$$z(x) = \tan\theta \cdot x + \frac{(R_w - [\sqrt{R_t^2 - y^2} - (R_t - a_p)])}{\cos\theta} \quad (9)$$

Kesilmemiş talaşın sınırlarını belirleyen 1, 2 ve 3 doğrularının ifadeleri aşağıda verilmiştir.

$$x_1 = -\left(\frac{\sin\theta (R_w - [\sqrt{R_t^2 - y^2} - (R_t - a_p)])}{\cos\theta + 1}\right)$$

$$x_2 = \sqrt{R_w^2 - (R_w - [\sqrt{R_t^2 - y^2} - (R_t - a_p)])^2} \quad (10)$$

$$x_2 = \cos\theta \sqrt{R_w^2 - (R_w - [\sqrt{R_t^2 - y^2} - (R_t - a_p)])^2} - \left(\frac{\sin\theta (R_w - [\sqrt{R_t^2 - y^2} - (R_t - a_p)])}{\cos\theta - 1}\right) (\cos\theta + 1)$$

Son olarak dik durumda olduğu gibi teğetsel durum için takımın parça ile temas halinde olduğu giriş ve çıkış açıları aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$\phi_{st} = \frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{f/2}{R_t}$$

$$\phi_{ex} = \pi - \arcsin \frac{R_t - a_p}{R_t} \quad (11)$$

Takımın dönme açısına göre radyal düzlemlerinde talaş kalınlıkları hesaplanmak istenirse, bu kalınlık daha önceki hesaplamalar kullanılarak bulunabilir. Daha önceki hesaplamalarda bulunarlara normal büyüklükler denilerek “n” indisi ile gösterilecektir. Radyal düzlemlerdeki kalınlıklar ise “i” indisi ile tanımlanacaktır.

Bu durumda

$$h_i = \frac{R_{Tj}}{c_{\alpha s} \left(\frac{R_{Tj}}{r} - \varphi \right)} \quad (12)$$

Yukarıda anlatıldığı üzere dik ve teğetsel durum için talaş geometrisi elde edilmiştir. Bu geometri kullanılarak kesme kuvveti hesaplanabilir. Kesme kuvveti hesabında mekanistik modelden faydalanılmıştır. Bunun için öncelikle olarak aşağıdaki denklemler yardımı ile diferansiyel kuvvetler hesaplanmış ardından bunlar kesme derinliği boyunca integre edilmiştir.

$$dF_{T,j}(\varphi, z) = [K_{Tc} h_j(\varphi_j(z)) + K_{Te}] dz$$

$$dF_{r,j}(\varphi, z) = [K_{rc} h_j(\varphi_j(z)) + K_{re}] dz \quad (13)$$

$$dF_{a,j}(\varphi, z) = [K_{ac} h_j(\varphi_j(z)) + K_{ae}] dz$$

Burada K_{Tc} , K_{Te} , K_{rc} , K_{re} , K_{ac} ve K_{ae} kesme sabitleri olarak adlandırılmaktadır. Bunlar kesme derinliği boyunca aşağıdaki denklemler vasıtasıyla integre edilir ise:

$$F_T(\varphi_j(z)) = \int_{z_{j,1}}^{z_{j,2}} dF_T(\varphi_j(z)) dz$$

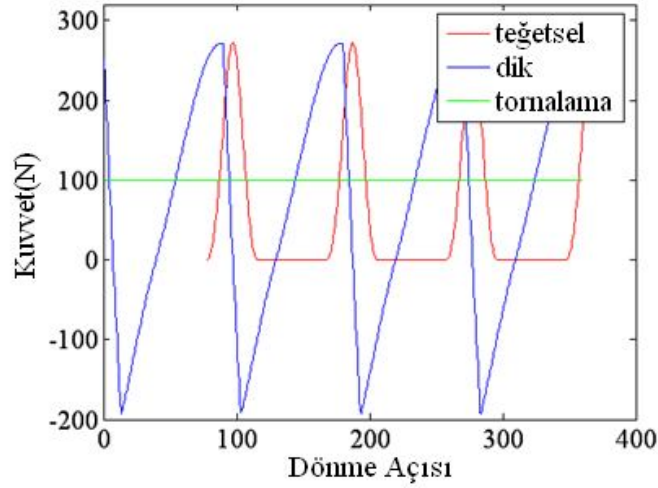
$$F_r(\varphi_j(z)) = \int_{z_{j,1}}^{z_{j,2}} dF_r(\varphi_j(z)) dz \quad (14)$$

$$F_a(\varphi_j(z)) = \int_{z_{j,1}}^{z_{j,2}} dF_a(\varphi_j(z)) dz$$

Burada $z_{j,1}(\varphi_j(z))$ ve $z_{j,2}(\varphi_j(z))$ j dişi için temas limitlerini temsil etmektedir. Şekil 5 te dik, teğetsel frezeyle tormalama ve klasik tormalama işlemleri için kesme kuvvetleri görülmektedir. Çizelge 1 de karşılaştırma için seçilen parametreler görülmektedir.

Çizelge 1. Karşılaştırma için seçilen kesme koşulları

Kesme koşulları	Değer
Rw (mm)	40
Rt (mm)	5
f (mm/dev)	0.1
nw (dev/min)	5
nt (dev/min)	500
ap (mm)	0.6
Kt (MPa)	536
z	4



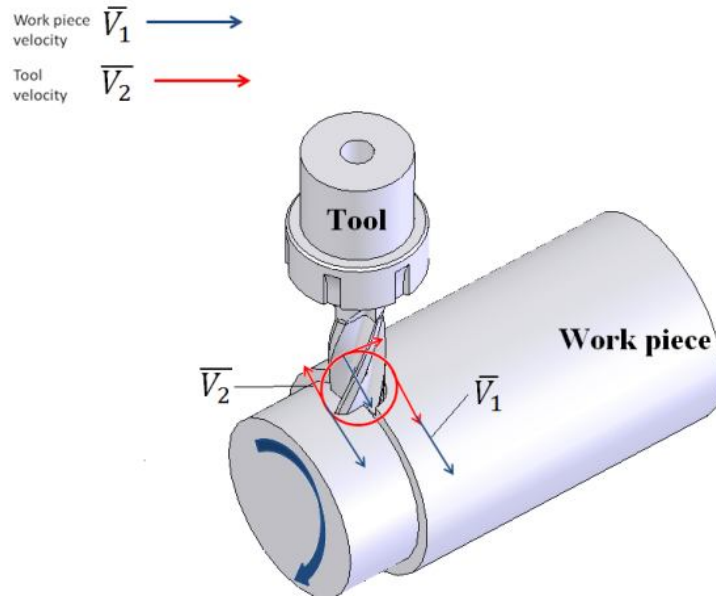
Şekil 5 Frezeyle tornalama işleminde oluşan kuvvetler ve tornalama işlemi ile karşılaştırma

Şekil 5 te dik ve teğetsel frezeyle tornalama işleminde oluşan kuvvetlerin modellenmesi sonucunda elde edilen sonuç görülmektedir. Ayrıca bunların aynı durum için geleneksel tornalama işlemi ile karşılaştırması da verilmiştir. Burada göze çarpan geleneksel tornada sabit bir kesme kuvveti elde edilirken frezeyle tornalama işleminde artan azalan bir eğilime sahip olmasıdır.

Kesme Hızı Modeli

2.2.1 Dik Frezeyle Tornalama İşlemi

Frezeyle tornalama işleminde, takım iş parçası aynı anda döndüğünden yüksek hızlı kesme işlemi mümkün olmaktadır. Kesici takımın oryantasyonu nedeniyle kesme hızı, kesici takımın dönme açısı ile değişmektedir. Dik frezeyle tornalama işleminde, kesici takımın ve iş parçasının çevresel hızları aynı düzlemindedir.



Şekil 6. Dik frezeyle tornalama işleminin şematik gösterimi

Şekil 6 dik frezeyle tornalama işleminin şematik temsilini ve kesici takım ile iş parçasının çevresel hızlarının yönünü göstermektedir. Bu durumda kesme hızı aşağıdaki ifade ile bulunabilir:

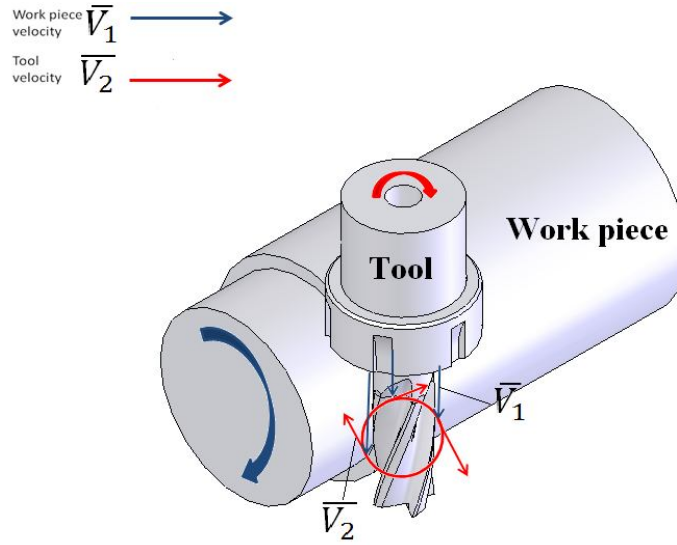
$$\begin{aligned} \text{Bağıl Hız} &= \vec{V}_2 - \vec{V}_1 \\ &= V_2 + V_1 \cos(90 - \varphi) \end{aligned} \quad (15)$$

$$V_1 = 2\pi(R_w - a_p)n_w$$

$$V_2 = 2\pi R_f n_f$$

Teğetsel Frezeyle Tornalama İşlemi

Şekil 7 de teğetsel frezeyle tornalama ve kesici takım, iş parçası çevresel hızları görülmektedir. Teğetsel frezeyle tornalama işleminde kesici takım ve iş parçası çevresel hızları aynı düzlemde değildir, birbirlerine dik düzlemlerdir. Bu nedenle kesici takımın dönme açısı ile kesme hızı değişmez. Sonuç olarak kesme hızı şu şekilde ifade edilebilir:

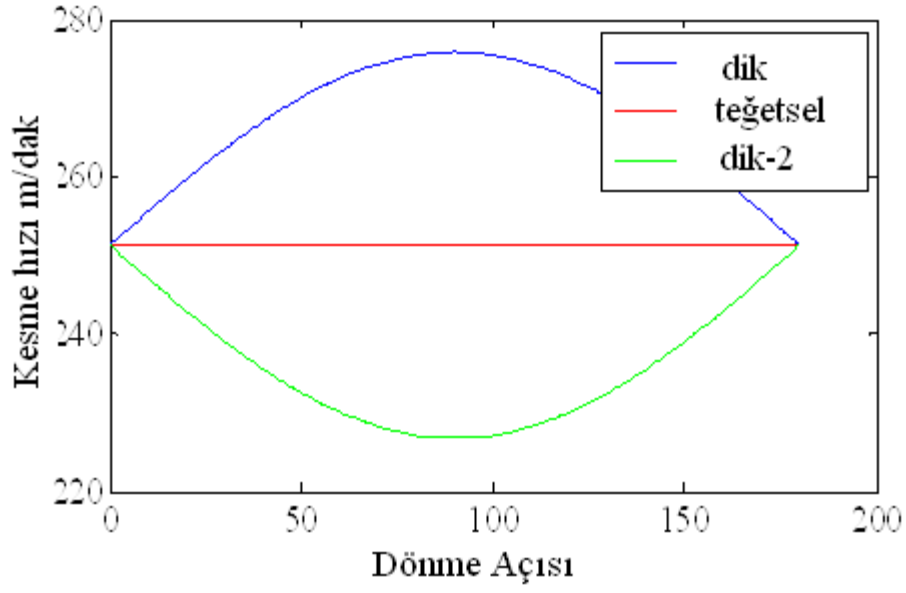


Şekil 7 Teğetsel frezeyle tornalamanın şematik gösterimi

$$V = 2\pi R_f n_f \quad (16)$$

Yukarıdaki denklemde parça hızının etkisi yoktur çünkü parçanın çevresel hızının kesme hızına katkısı yoktur. Ancak bu helisel olmayan bir takım için geçerlidir. Helisel takımda parça hızının da etkisi olacaktır.

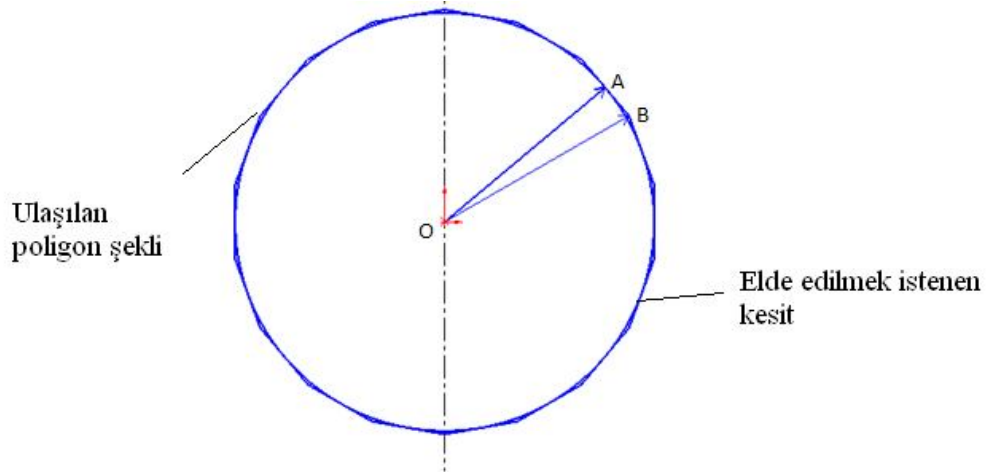
Son durumda dik ve teğetsel frezeyle tornalama işlemleri için kesme hızlarının karşılaştırması aşağıda Şekil 8'dedir. Burada mavi renkli eğri dik durumda parçanın saat yönünde döndüğü durumu yeşil ise saat yönünün tersine döndüğü durumu ifade etmektedir.



Şekil 8. Dik ve Teğetsel frezeyle tornalama işleminde kesme hızının takımın dönme açısına göre değişimi

Yuvarlaklık

Frezeyle tornalama işleminde işlenen parçanın kesimine bakıldığında, kesitin bir silindir değil Şekil 9 da görüldüğü gibi bir poligon olduğu anlaşılacaktır. Bu poligonun ulaşılmak istenen silindirden farkı "OB-OA" aşağıdaki ifade ile bulunabilir.



Şekil 9. Frezeyle tornalama işleminde yuvarlaklık

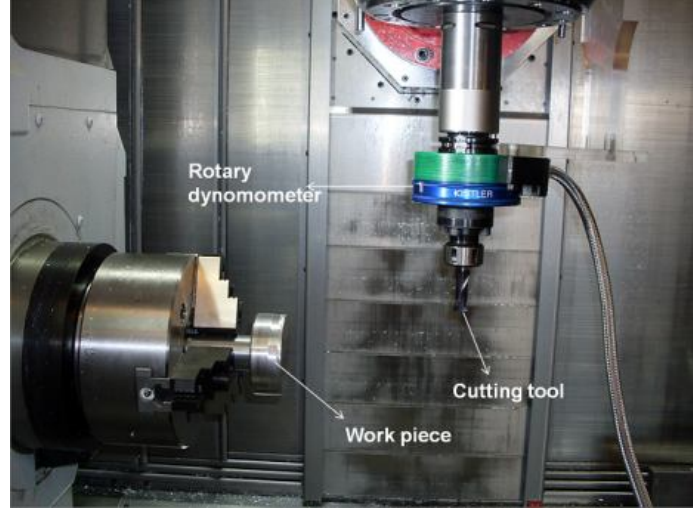
$$OA = (R_w - a_p)$$

$$OB = \frac{(R_w - a_p)}{\cos \theta}$$

$$OB - OA = (R_w - a_p) \left(\frac{1}{\cos \frac{\theta}{2}} - 1 \right) \quad (17)$$

Deneysel Çalışma

Elde edilen kuvvet modelinin doğrulanması için kesme testleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan testler sırasında [Mori Seiki NTX2000] marka CNC tezgah kullanılmıştır. Deney düzeneği Şekil 10 da görülmektedir. Deneylerde 4 ağızlı 10 mm çaplı WC takım kullanılmıştır. Kesme kuvvetleri Kistler marka dönel dinamometre ile ölçülmüştür.

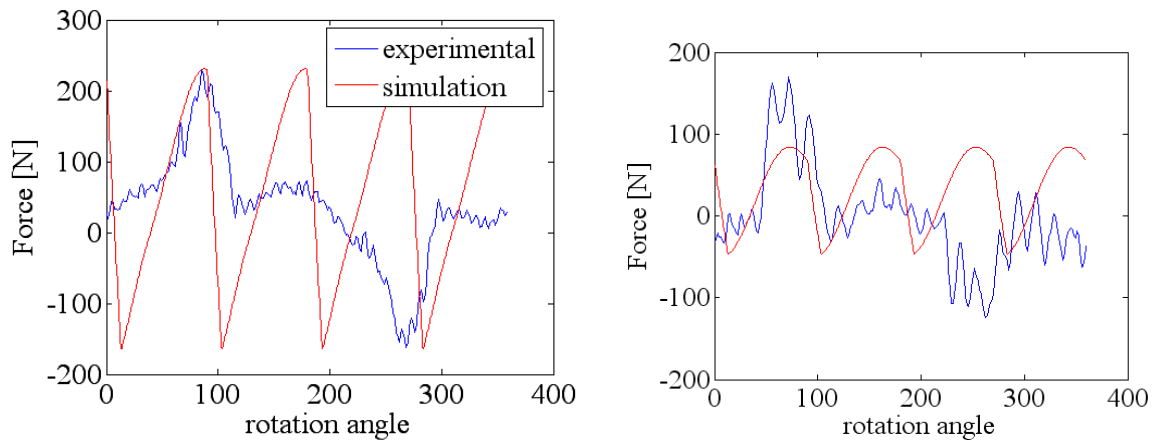


Şekil 10 Deney düzeneği

Deney ve model sonuçlarını karşılaştırmak için yapılan deneylerdeki kesme koşulları Çizelge 2 de verilmiştir.

Çizelge 2. Kesme deneylerinde kullanılan koşullar

Kesme koşulları	Değer
Konfigürasyon	Dik
R_w (mm)	45
R_t (mm)	5
f (mm/dev)	0.2
n_w (dev/dak)	50
Diş sayısı	4



Şekil 11 Kesme kuvvetleri karşılaştırması

Şekil 11 de dik durum için kesme kuvvetleri karŐılaŐtırılması verilmiştir. Őekilden de görüleceği üzere kesme deneyleri sırasında oldukça fazla salėı vardır. Sonuçlar arasındaki farklar bu Şekilde açıklanabilir. İleride gerçekleŐtirilecek deneylerde bu problem aŐılarak çok daha iyi sonuçlar elde edilebilecektir.

Sonuç

Sonuç olarak bu çalışmada günümüzde geleneksel talaŐlı imalat yöntemlerine bir alternatif olarak sunulan frezeyle tornalama işlemi için bir takım analitik ifadeler geliştirilmiştir. Bu geliŐtirilen ifadeler görece yeni bir üretim tekniği olan frezeyle tornalama işlemini detaylıca anlamada yardımcı olmaktadır. Böylelikle bu süreç dahilinde kesme kuvveti, kesme hızı ve yuvarlaklıktan sapma ifadeleri dik ve teğetsel durum için elde edilmiştir.

Bundan sonraki aŐamada bu ifadeler deneyler yardımı ile doğrulanacak ve işlem parametreleri optimize edilecektir. Böylelikle frezeyle tornalama işlemi için süreç modellemesi tamamlanacak ve işlemin sanayide verimli bir Şekilde kullanılmasının n açılacaktır.

Kaynaklar

[1] Schulz G, Spur G, High speed turn-milling a new precision manufacturing technology for the machining of rotationally symmetrical workpieces. CIRP Ann Manuf Technol 39(1), 1990, 107–109

[2] Choudhury SK, Mangrulkar KS ,Investigation of orthogonal turn-milling for the machining of rotationally symmetrical work pieces. J Mater Process Technol 99 , 2000, 120–128

[3] Choudhury SK, Bajpai J. B. , Investigation in orthogonal turn-milling towards better surface finish. J Mater Process Technol 170 , 2004, 487-493

[4] Savas V, Ozay C , Analysis of the surface roughness of tangential turn-milling for machining with end milling cutter. J Mater Process Technol 186 , 2007, 279–283

[5] Neagu C, Gheorghe M, Dumitrescu A , Fundamentals on face milling processing of straight shafts. J Mater Process Technol 166, 2005, 337–344

[6] Filho J , Prediction of cutting forces in mill turning through process simulation using a five-axis machining center. Int J Adv Manuf Technology, 2011