



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Frezeleme operasyonlarında kesme kuvvetlerinin deneysel ve sonlu elemanlar analizi ile incelenmesi: saf molibdenin işlenmesi üzerine bir çalışma

An investigation into the experimental and finite element analysis of cutting forces in milling: a study on machining of pure molybdenum

Yazarlar (Authors): Hüseyin GÖKÇE¹, İbrahim ÇİFTÇİ², Harun GÖKÇE³

ORCID¹: 0000-0002-2113-1611

ORCID²: 0000-0001-7875-6324

ORCID³: 0000-0002-2702-0111

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Gökçe H., Çiftçi İ. ve Gökçe H. “Frezeleme operasyonlarında kesme kuvvetlerinin deneysel ve sonlu elemanlar analizi ile incelenmesi: saf molibdenin işlenmesi üzerine bir çalışma”, *Politeknik Dergisi*, 22(4): 947-954, (2019).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.482604

Frezeleme Operasyonlarında Kesme Kuvvetlerinin Deneysel ve Sonlu Elemanlar Analizi ile İncelenmesi: Saf Molibdenin İşlenmesi Üzerine Bir Çalışma

Araştırma Makalesi / Research Article

Hüseyin GÖKÇE¹, İbrahim ÇİFTÇİ², Harun GÖKÇE^{3*}

¹Meslek Yüksek Okulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Çankırı Karatekin Üniversitesi, Türkiye

²Mühendislik Fakültesi, Makine Müh. Bölümü, Çankırı Karatekin Üniversitesi, Türkiye

³TÜBİTAK Savunma Sanayii Araştırma ve Geliştirme Enstitüsü Aerodinamik Birimi, Ankara, Türkiye

(Geliş/Received : 14.11.2018 ; Kabul/Accepted : 07.01.2019)

ÖZ

Bu çalışmada, ticari saflıktaki molibden sementit karbür kesici takım kullanılarak farklı işlem değişkenlerinde frezeleme işlemine tabi tutulmuştur. İşleme esnasında oluşan kesme kuvvetleri ölçülmüştür. Ayrıca, kesme kuvvetlerinin sonlu elemanlar analizi (SEA) kullanılarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Sonlu elemanlar analizi için Deform-3D yazılımı kullanılmıştır. Kesici takım, tersine mühendislik teknikleri ile Geomagic Design X yazılımında modellenmiştir. Farklı işlem değişkenleri ve kuru işleme şartları altında yapılan deneyler sonucu elde edilen veriler ile sonlu elemanlar analizi ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucu elde edilen kesme kuvvetleri ile sonlu elemanlar analiz sonucu elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında %10 mertebelerinde bir fark ile sonuçların tutarlı olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Frezeleme, Sonlu Elemanlar Analizi (SEA), deform-3D.

An Investigation into the Experimental and Finite Element Analysis of Cutting Forces in Milling: A Study on Machining of Pure Molybdenum

ABSTRACT

In this study, milling tests were carried out on commercially pure molybdenum. The tests were conducted at various cutting parameters using carbide cutting tools without coolant. The cutting forces acting on the workpiece during the milling tests were measured. In addition, the cutting forces were aimed to be determined through finite element analysis (FEA) method. Deform-3D software was used for finite element analysis. The cutting tool was modelled through reverse engineering approach using Geomagic Design X software. The measured cutting force results were compared with the finite element analysis results and a good correlation (a 10 % difference) was seen between the measured and modelled results.

Keywords: Milling, Finite Element Analysis (FEA), deform-3D.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

İleri mühendislik uygulamalarında kullanılan ve refrakter metallere olan molibden ve molibden esaslı alaşımların üstün mekanik özelliklerinin olduğu bilinmektedir [1]. Molibden yüksek ergime noktası, yüksek ısı iletkenliği, yüksek elastikiyet modülü ve düşük ısı genleşme katsayısı ile karakterize edilir [2].

Ticari saflıktaki molibden savunma ve havacılık sanayileri başta olmak üzere pek çok farklı sektörde kullanılmaktadır. Talaş miktarı düşük olan son işleme operasyonları, kaliteli parça üretimi gerekliliğinden dolayı kritik imalat süreçlerindedir. Yüksek yüzey kalitesi ve boyut tamlığı gereksiniminden dolayı, son işlemeyi etkileyen parametrelerin önceden belirlenmesi ve optimize edilmesi önemlidir. Bu nedenle kesme hızı,

ilerleme miktarı, talaş derinliği ve kesici takım malzemesi ve geometrisi gibi kesme parametrelerinin tespit edilmesi gerekmektedir.

Talaş kaldırma işlemi esnasında oluşan kesme kuvvetleri, işlenen parça boyutları ve yüzey kalitesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Yüksek kesme kuvvetleri, kesme bölgesinde sıcaklığın yükselmesine sebep olarak takım ömrünü ve çalışma performansını etkileyecektir [3]. Ayrıca yüksek kesme kuvvetleri işlem esnasında iş parçasının kırılmasına veya ciddi olarak deforme olmasına da neden olabilir. Bu durum, özellikle molibden gibi çok pahalı malzemelerde ciddi maliyet artışlarına neden olur. Kesme kuvvetleri; iş parçası malzemesi, kesici takım ve kesme parametrelerine bağlı olarak değişir. Dolayısıyla, düşük kesme kuvvetleri sağlayabilmek için kesici takım ve işleme koşullarının belirlenmesi yüksek kaliteli bileşenlerin düşük maliyette üretilmesi için önemlidir [4-6].

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : harungokce@yahoo.com

Talaşlı imalatta üretimi; takım tezgâhı, malzeme, kesici takım ve insan gerçekleştirmektedir [7]. Kesme işleminin doğru analiz edilebilmesi için, işlemeden önce, işleme sırasında ve işleme sonrasında gözlemlerin yapılması gerekir [8]. Günümüzde yüksek kapasiteli bilgisayarların mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılması ile gerçekleştirilen gözlemler ve yaklaşık çözümler büyük önem kazanmıştır. Özellikle sonlu elemanlar metodu, yüksek doğrulukta sonuçlar vermesi nedeniyle problemlerin çözümünde yaygın olarak kullanılmaktadır [9-12].

İşleme esnasında kesici takımın maruz kaldığı yükler kesme işleminin ekonomikliği ve gerekli olan gücün belirlenmesi açısından en önemli parametredir. Kesici takım ve kesici takımların kesme esnasında maruz kaldığı yükler kesici takımlarda ki aşınmaların açısından çok önemli bir etmendir. Bu nedenle kesici takımın oluşan gerilmelerin ve şekil değiştirmelerin dikkatli bir şekilde incelenmesi gerekmektedir [13-15].

Talaşlı imalatın sonlu elemanlar metodu kullanılarak modellenmesi yaklaşımının ortaya çıkması 1970'li yıllara kadar dayanmaktadır ve o günden bugüne bu konuda birçok araştırma yapılmıştır [16,17]. Komvopoulos vd. ortogonal kesme esnasında talaş oluşumunu, talaş akışını, takım-talaş ara yüzündeki sürtünme ve takım aşınmasını incelemek için sonlu elemanlar analizini kullanmışlardır [18]. Brinksmeier vd. OFHC bakır, bronz CuZn39Pb3 ve alüminyum AlMg5 malzemelerinin yüksek hızda elmas kesici takımlarla yapılan tornalama ve frezeleme işlemini kesme kuvvetleri, yüzey kalitesi ve takım aşınması açısından sonlu elemanlar analizi kullanarak simülasyonunu gerçekleştirmişlerdir [19]. Cui vd. sertleştirilmiş çeliklerin kesintisiz ve aralıklı olarak seramik kesici takımlarla tornalanması esnasında kesme hızının ve talaş açısının etkisini sonlu elemanlar analizi yardımı ile incelemişlerdir [20]. Gökçe vd. sementit karbür matkapların, delik delme etkinlikleri sırasında oluşan kesme kuvvetlerinin deneysel olarak belirlenmesi ve elde edilen deneysel sonuçların, matkap üzerindeki etkilerinin sonlu elemanlar metodu kullanılarak analiz etmişlerdir [21]. Varlık vd. dönme hareketinin kesici takım üzerindeki etkisi güdümlü ve kendiliğinden hareketli dönel takımlarla karşılaştırmalı olarak sonlu elemanlar analizi ile incelemişlerdir [22]. Laakso ve Niemi sonlu elemanlar analizi AISI 1045 çeliğinin ters analiz ve analitik bir model ve kesme deneyleri ile önerilen kombine ters analiz ile edinilen AISI 1045 için Johnson Cook parametrelerinin beş farklı seti için performans değerlendirmesi yapılmıştır [23]. Pius vd. talaşlı imalat sürecinde sıcaklık dağılımının analitik modellenmesi

sonlu elemanlar analizi ile yapmışlardır [24]. Villumsen ve Fauerholdt sonlu elemanlar analizi ile talaşlı imalatta oluşan kesme kuvvetlerini tahmin etmişlerdir [25]. Aydın düzlemsel gerinim koşulları altında iş parçasında oluşan kalıcı gerilmeleri tahmin etmek için dik kesme sürecinin ısı- mekanik sayısal analizi gerçekleştirmişlerdir [26]. Kurt ve Şeker Al 2007 alüminyum alaşımı malzemenin ortogonal kesme işleminde kullanılan 0,1, 0,2 ve 0,4 mm talaş derinliğinin kesici takım gerilmeleri üzerindeki etkilerini sonlu elemanlar metodu kullanılarak analiz etmişler ve derinliğe bağlı olarak kesme kenarındaki gerilmelerin değişimi incelemişlerdir [27]. Işık talaşlı imalatta kesici takımların kırılma öncesi davranışlarının incelenmesi amacıyla sonlu elemanlar yöntemi ile statik ve dinamik analizler yapmıştır [28].

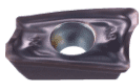
Refrakter malzemelerin işlenmesi üstün özelliklerinden dolayı zordur ve bunların işlenmesi hakkında bilgiler literatürde nadir bulunmaktadır [29, 30]. Saf molibden üzerine yapılmış deneysel çalışmalar son derece sınırlıdır ve SEA kullanılarak molibdenin kesme süreci analiz edilmemiştir. Bu çalışmada ticari saflıktaki molibdenin, sementit karbür kesici takımlarla frezeleme yöntemiyle işlenmesi esnasında oluşan kesme kuvvetlerinin deneysel olarak ölçülmesi ve bir SAE yazılımı kullanılarak belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. KESİCİ TAKIM VE İŞ PARÇASI MALZEMESİ (CUTTING TOOL AND WORKPIECE MATERIAL)

Talaşlı imalat işleminde sonlu elemanlar analizinin doğru yapılabilmesi için en önemli unsurların başında iş parçası malzemesi özelliklerinin doğru girilmesi ve kesici takımın gerçeğe uygun olarak tasarlanabilmesi gerekmektedir. Bu nedenle SEA modelinde iş parçası malzemesi özellikleri Deform-3D programının kütüphanesi referans alınarak elde edilmiştir. Kesici takım tasarımı ise tersine mühendislik teknikleri kullanılarak yapılmıştır. Kesici takım ve takım tutucu özellikleri Çizelge 1'de, iş parçası özellikleri ise Çizelge 2'de verilmiştir.

Kesici takım seçiminde üretici firma tavsiyeleri ve daha önce yapılan çalışmalar dikkate alınmıştır. Kesici takım uç yarıçapı 0,8 mm olacak şekilde temin edilmiştir. Deneylerde kullanılan kesici takım Ø12 mm çapında değiştirilebilir uçlu takım tutucuya rijit bir şekilde mekanik olarak bağlanmıştır. Takım tutucu, tek ağızlı (bir adet kesici takımın bağlandığı) olarak seçilmiştir. Kesme esnasında oluşan yüklerden dolayı sehim ve burulmaları minimize edilebilmesi için takım tutucu, pens tutucusundan 40 mm çıkacak şekilde bağlanmıştır.

Çizelge 1. Kesici takım ve takım tutucu özellikleri (Cutting tool and tool holder properties)

No	Takım markası	Takım kodu	Resim	Kalite sınıfı	Tutucu kodu
1	Mitsubishi	AOMT123608PEER-H		VP15TF PVD (Al,Ti)N	KMTAOMT100R 121W16S

İş parçası olarak 50x50x5 mm boyutlarında prizmatik parçalar hazırlanmıştır. Kesme kuvvetleri ölçümü için yapılan deneylerde kesici takım Şekil 1’de görüldüğü gibi alından talaş kaldıracak şekilde bir frezeleme yöntemi kullanılmıştır. Eksenel kesme derinliği 0,5 mm olarak verilmiştir. Takım tutucu eksenine, iş parçalarının 5 mm’lik kısmının ortasına gelecek şekilde konumlandırılmıştır.

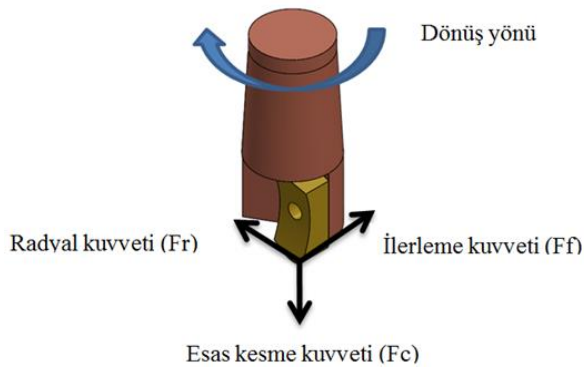
3. DENEY DÜZENEGİ (EXPERIMENTAL SETUP)

Kesme kuvvetleri deneyleri Johnford VMC-550 CNC dik işleme merkezinde yapılmıştır. Molibden ve alaşımlarının işlenmesi esnasında oluşan kesme kuvvetlerinin ölçülmesinde üç kuvvet bileşenini (F_c , F_f , F_r) aynı anda ölçme kapasitesine sahip, Kistler 9272-A tipi piezoelektrik esaslı bir dinamometre kullanılmıştır.

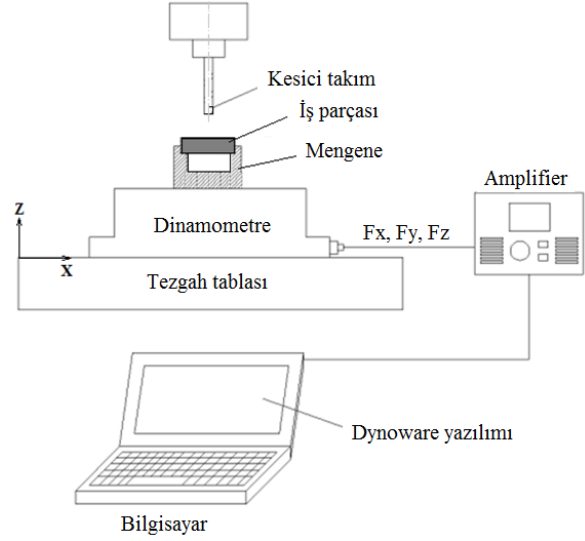
Çizelge 2. İş parçalarının çeşitli özellikleri (Various features of work pieces)

Özellik	Birim	Saf Molibden
Kimyasal Bileşim	%	>99,97 Mo
Yoğunluk (20 °C’de)	g/cm ³	10,22
Ergime noktası	°C	2617
Akma gerilmesi	MPa	600
Çekme gerilmesi	MPa	800
Elastikiyet modülü	GPa	330
Sertlik	BHN	205
Poison oranı		0,38
Isı iletim katsayısı (20 °C’de)	[W/(mK)]	138

Şekil 1’de frezeleme operasyonu sırasında oluşan kesme kuvvetleri gösterilmiştir. İşleme deneylerinde üç kuvvet bileşeni de ölçülmüş ancak analizlerde en büyük olan ilerleme kuvveti (F_f) dikkate alınmıştır. Şekil 2’de deneysel çalışma için kurulan deney düzeneği şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 1. Frezeleme operasyonu sırasında oluşan kesme kuvvetleri (Cutting forces during milling operation)



Şekil 2. Deney düzeneği (Experimental setup)

4. KESİCİ TAKIM MODELLEME (CUTTING TOOL MODELING)

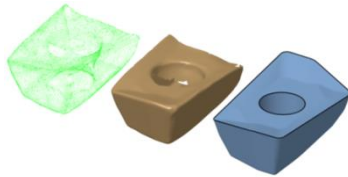
Çalışmada kesici takımlara ait model bilgileri üç boyutlu tarayıcı yardımıyla elde edilmiştir. Kesici takımların taranmasında kullanılan tarayıcı 30 mm küçük, 1500 mm büyük görüş alanına sahip, minyatür projeksiyon tekniği ile çalışan, LED ışık kaynaklı, 0,8 ila 8,0 megapiksel arasında değişen beş farklı çözünürlüğe göre ayarlanabilmektedir. Tarama işlemi AICON Smart Scan marka tarayıcı ile yapılmıştır Şekil 3’te tarama işlemi gösterilmektedir.



Şekil 3. Tarama işlemi görüntüsü (Scan process image)

Geomagic Design X yazılımı içerisine alınan nokta bulutu verisi StereoLithography (STL) formatına dönüştürülmüştür. Kesici takım üzerinden elde edilen nokta sayısı 230077 adettir. Nokta bulutu üzerinden tekrar modelleme yapılabilmesi için noktalar arasında ağ model oluşturulmuştur. Bunun için Mesh Building Wizard yardımı ile ağ boyutları ve noktalar arasındaki en yüksek ve en düşük uzunluk bilgisine göre ağ model oluşturulmuştur. Ağ yapısı, en büyük ağ boyutu 2,5 mm ve noktalar arası en fazla uzaklığı 0,1 mm olacak şekilde

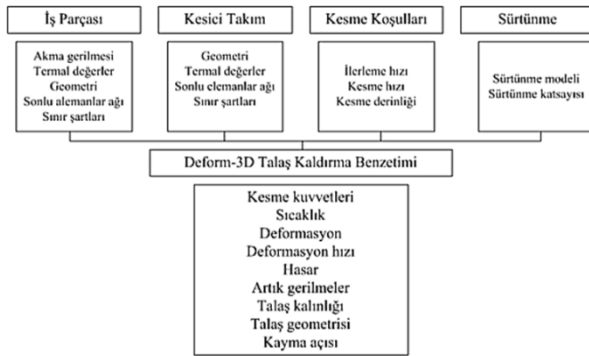
hazırlanmıştır. Ağ modeli, noktaların birbirleri ile uzaklık değişimleri dikkate alınarak eğrisellik ve yarıçap dönüşümlerine göre bölgelere ayrılmıştır. Bölge tanımlaması ile parça üzerinde düzlem ve silindirik yapıların ayrıştırılması sağlanmıştır. Belirlenen bu form yapılarından yararlanılarak, parçanın yan yüzeyine ve ortasına birer düzlemsel yüzey oluşturulmuştur. Bunun için Surface Primitives komutundan ilgili bölge ve oluşturulmak istenen form yapısı seçilmiştir. Elde edilen üç boyutlu kesici takım modeli ile nokta bulutu verisi arasındaki sapma miktarının minimize edilmesi çok önemlidir. Bunun için bölge tanımlamaları ile elde edilen tüm yüzeyler için (Deviation Analysis) sapma analizinin yapılması gerekmektedir. Sapma analizi parça boyutu, çalışma hassasiyeti ve bölgesel kararlılık değişkenleri dikkate alınarak incelenir. Bu kesici takımlar için izin verilen en yüksek sapma miktarı 0,05 mm'dir. Bu nedenle oluşturulan her yüzeyde bu analiz kontrolü yapılmıştır. Şekil 4'te tersine mühendislik sonucu belirlenen kesici takımın üç boyutlu modeli görülmektedir.



Şekil 4. Kesici takım modeli (Cutting tool model)

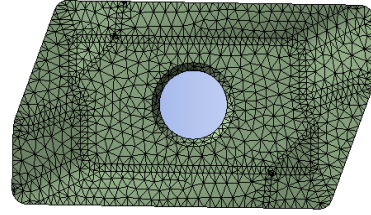
5. SONLU ELEMANLAR PARAMETRELERİ (FINITE ELEMENT PARAMETERS)

Talaşlı imalat işleminin sonlu elemanlar analizini gerçekleştirmek için kullanılan programa, kesici takım ve iş parçasının mekanik ve termal değerleri, kesme parametreleri, sürtünme cinsi ve katsayısı, işlemin mekanik ve termal sınır şartları gibi verilerin girilmesi gerekmektedir. Bu değerler ne kadar doğru olursa, ortaya çıkan analiz sonuçları da deneysel sonuçlara yakın değerlerde olur [21]. Şekil 5'te SEA uygulanabilmesi için gerekli olan giriş ve çıkış parametreleri gösterilmiştir.

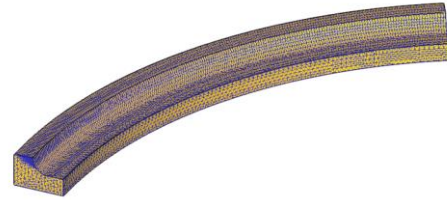


Şekil 5. SEA giriş ve çıkış parametreleri (SEA input and output parameters) [20]

Oluşturulan sayısal modelde iş parçasının sonlu elemanlar ağı 3095 üçkenarlı elemandan ve 3196 düğümünden, takımın sonlu elemanlar ağı ise 1098 üçkenarlı elemandan ve 1164 düğümünden oluşmaktadır. İş parçası kalıcı şekil değişikliğine maruz kalacağından plastik olarak modellenip, işlem sırasında hiç elastik deformasyon göstermediği kabulü yapılmıştır. Takım aşınması dikkate alınmadığında kesici takım rijit olarak modellenmiştir. Şekil 6'da kesici takım ve iş parçasına uygulanan ağ (mesh) yapısı görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 6. Ağ yapısı a) kesici takım ve b) iş parçası (Mesh structure a) cutting tool and b) workpiece)

Sonlu elemanlar ağı oluşturulurken iş parçası üzerinde, deformasyon işleminin gerçekleştiği bölgelerde sonlu elemanlar ağı daha sık, deformasyon bölgesinden uzakta olan bölgelerde ise daha kaba olarak oluşturulmuştur. Sık ağ yapısını içeren bölge kesici takım hareketini izlemektedir.

Kesici takım her üç ekseninde de (X, Y ve Z) sınırlandırılmış (sabitlenmiş) ve sadece dönme hareketi verilmiştir. İş parçasına ise sadece X ekseninde hareket verilmiştir. İş parçası, takıma doğru Vc kesme hızı ile X ekseninde hareket etmekte, kesici takım ise dönme hareketini (devir) gerçekleştirmektedir. Çizelge 3'te deneyler ve SEA için kullanılan işlem parametrelerini göstermektedir.

Çizelge 3. Deneylerde ve SEA için kullanılan işlem parametreleri (Process parameters used for experiments and FEA)

Analiz seviyesi	Kesme hızı (m/dak)	Kesme hızı (m/s)	İlerleme miktarı (mm/diş)	Devir (dev/dak)	Devir (dev/s)
Analiz 1	75	1,250	0,05	1990	33,16
Analiz 2	100	1,666	0,1	2654	44,23
Analiz 3	125	2,083	0,15	3317	55,28
Analiz 4	150	2,50	0,2	3981	66,35

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Kesme esnasında kesici takım üzerinde meydana gelen kuvvetler, kurulan sonlu elemanlar modeli üzerinden tespit edilmiştir. Deneysel çalışma ve SEA ile elde edilen kesme kuvvetleri Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. Deneysel çalışma ve SEA ile elde edilen kesme kuvvetleri (Experimental work and cutting forces obtained by FEA)

Deney no	Kesme hızı (V_c)	İlerleme miktarı (f)	Devir sayısı (N)	Kesme kuvveti (F_f) deneysel	Kesme kuvveti (F_f) SEA
	m/dak	mm/diş	dev/dak	N	N
1	75	0,05	1990	256	223
2	100	0,1	2654	330	309
3	125	0,15	3317	360	333
4	150	0,2	3981	441	426

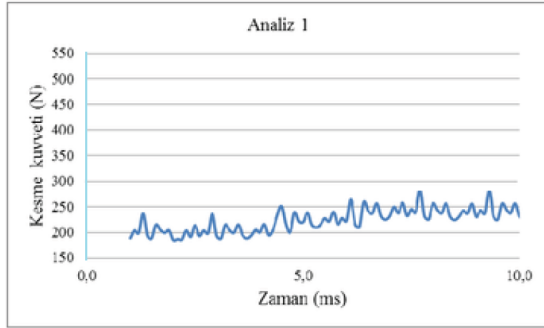
İlerleme miktarının artması ile kesme kuvvetlerin artması, talaşlı imalatta beklenen bir durumdur. Bu durumu; ilerleme hızının artışı sonucunda artan talaş kesiti ile ilişkilendirmek mümkündür [31]. Talaş kesitinin artması sonucu, talaş kaldırmak için gerekli olan enerjinin de artması demektir. Enerjinin artması da eksenel kuvvetlerin artmasına sebep olmaktadır [32]. Benzer durumu kesme hızları açısından da söylemek mümkündür. Kesme hızının artması ile kesme kuvvetlerinde artışların gözlemlendiği çeşitli çalışmalar

literatürde yer almaktadır. Çalışmalarda, kesme kuvvetlerindeki artışın kesme derinliğinden, kesici takım kaplamasından ve işlenen malzeme tipinden etkilenerek arttığı görülmektedir [33-36]. Tablo 4'te deneysel çalışma ve SEA ile elde edilen kesme kuvvetleri verilmiştir. 75 m/dak kesme hızında oluşan kesme kuvveti (deneysel:256N, analiz:223N), kesme hızının 150 m/dak çıkmasıyla artmıştır (deneysel:441N, analiz:426N).

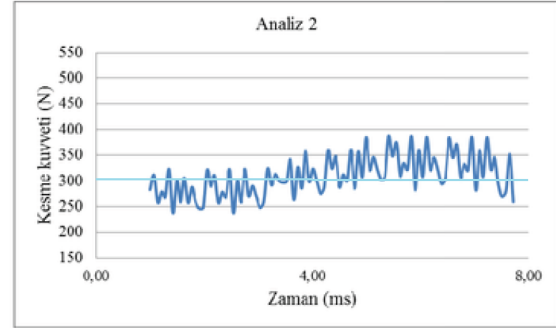
SEA sonucu elde edilen veriler Şekil 7'deki grafikler yardımıyla elde edilmiştir. Deneysel kesme kuvvetleri ise dinamometre ile Dynoware yazılımı yardımıyla elde edilen grafiklerin (Şekil 8) kararlı bölgelerinden alınan değerlerin ortalamaları hesaplanarak bulunmuştur.

Şekil 9'da deneysel çalışma ve SEA sonucu elde edilen kesme kuvvetlerinin karşılaştırması grafikte gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar birbirine oldukça yakın ve grafik sonucu elde edilen eğriler birbiri ile oldukça tutarlıdır. SEA sonucu elde edilen kesme kuvvetleri, deneysel çalışma sonucu elde edilen kesme kuvveti değerlerinden düşük çıkmıştır.

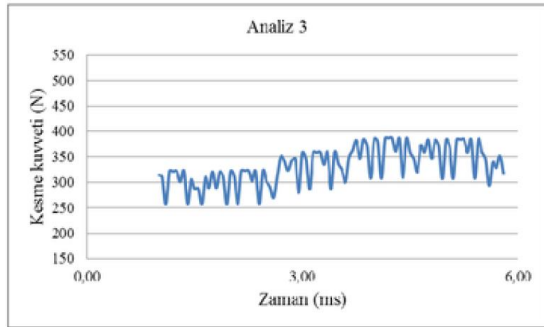
Şekil 9'da deneysel çalışma ve SEA sonucu elde edilen kesme kuvvetlerinin karşılaştırması grafikte gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar birbirine oldukça yakın ve grafik sonucu elde edilen eğriler birbiri ile oldukça tutarlıdır. SEA sonucu elde edilen kesme kuvvetleri, deneysel çalışma sonucu elde edilen kesme kuvveti değerlerinden düşük çıkmıştır.



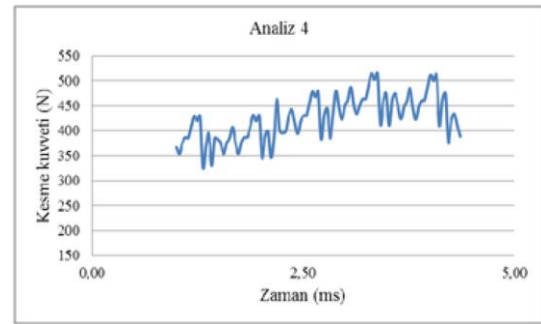
a) V_c :75 m/dak, f :0,05 mm/diş



b) V_c :100 m/dak, f :0,1 mm/diş

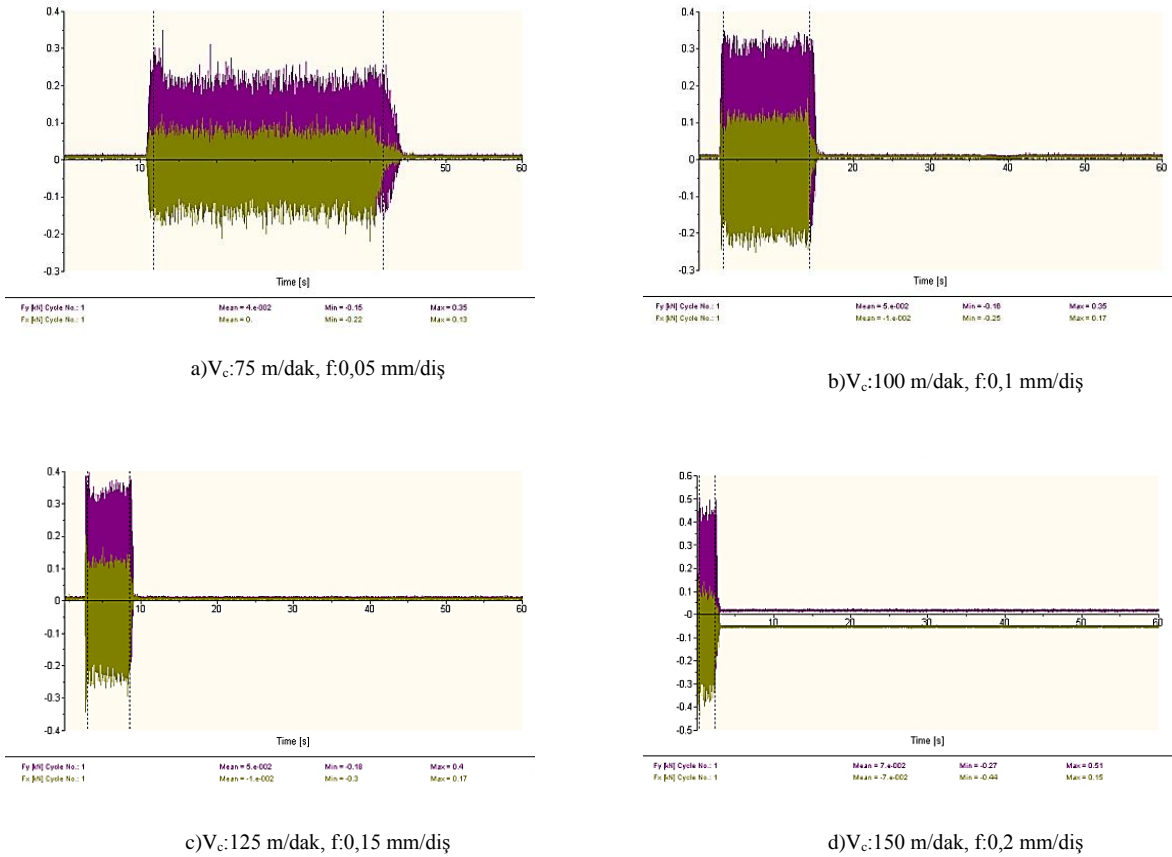


c) V_c :125 m/dak, f :0,15 mm/diş



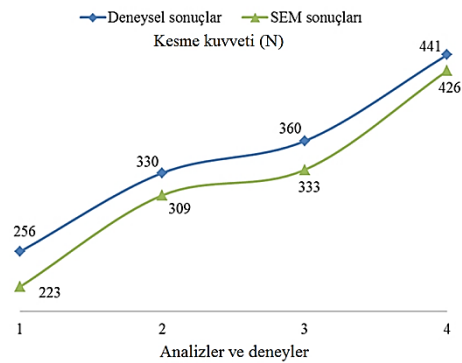
d) V_c :150 m/dak, f :0,2 mm/diş

Şekil 7. SEA sonucu elde edilen kesme kuvvetleri (Cutting forces resulting from FEA)



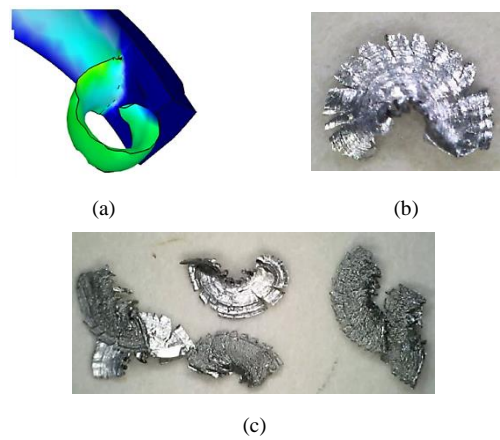
Şekil 8. Deneysel kesme kuvvetleri (Experimental cutting forces)

Deney sonuçları ve analiz sonuçları arasında %10 mertebelerinde farklılıklar görülmüştür. Bunun muhtemel sebebi iş parçası malzeme modeli için girilen Johnson Cook parametrelerindeki katsayıların literatürden elde edilmesi ve gerçek malzeme modelinin elde edilememesinden kaynaklandığı şeklinde değerlendirilmektedir. Ayrıca, iş parçası ve kesici takım arasında oluşan ısı transfer katsayısının, deneysel ortam şartlarına göre farklılık göstermesi şeklinde de değerlendirilebilir.



Şekil 9. Deneysel ve SEA sonucu elde edilen kesme kuvvetlerinin karşılaştırması (Comparison of experimental and FEA results)

Şekil 10'da analizin 0 – 0,5 ms arasında oluşan talaş formu (a) ve deneysel çalışma sonucu oluşan talaş şekilleri (b ve c) gösterilmiştir. Deneysel çalışma sonucu oluşan talaşın ve SEA sonucu oluşan talaş formunun birbiri ile tutarlı olduğu görülmektedir. Elde ettiğimiz talaş tipleri, sünek malzemelerin işlenmesi sonucu oluşan talaş tiplerine benzerlik gösterdiği gözlemlenmiştir.



Şekil 10. a) Analiz sonucu oluşan talaş geometrisi b) - c) saf molibden talaşları (a) Chip geometry resulting from analysis b) - c) pure molybdenum chips)

7. SONUÇ (CONCLUSION)

Yapılan bu çalışmada ticari saflıktaki molibdenin frezeleme yöntemiyle işlenmesi esnasında oluşan kuvvetlerin belirlenmesi için deneysel ve sonlu elemanlar analizi çalışması yapılmıştır. Yapılan sonlu elemanlar analizinin doğruluğunun belirlenmesi için, ticari saflıktaki bir molibden iş parçası malzemesinden farklı kesme parametreleri ile talaş kaldırma operasyonu deneysel olarak gerçekleştirilmiştir. Farklı kesme parametreleri ile elde edilen deneysel veriler, sonlu elemanlar modeli ile elde edilen sonuçlarla doğrulanmıştır. Çıkan sonuçlardan elde edilen başlıca çıkarımlar şu şekilde özetlenebilir:

- Deneysel çalışmalardan elde edilen kesme kuvvetleri ile sonlu elemanlar analiz sonuçlarının %90 oranlarında tutarlı olduğu görülmüştür.
- Deneysel çalışma sonucu oluşan talaşın ve SEA sonucu oluşan talaş formunun birbiri ile tutarlı olduğu görülmektedir. Elde ettiğimiz talaş tipleri, sünek malzemelerin işlenmesi sonucu oluşan talaş tiplerine benzerlik gösterdiği gözlemlenmiştir.
- Analiz sonucu hesaplanan kesme kuvvetleri ile deneysel sonuçlardan elde edilen kesme kuvvetlerinden nispeten düşük bulunmuştur. Bunun nedenleri arasında, takımın rijit olarak modellenmesi (takım aşınması), sıcaklığın etkisi gibi faktörler sayılabilir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Birimi (KBÜ-BAP-15/2-DR-002) tarafından desteklenmiştir. Kuruma desteklerinden ötürü teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Pöhl, C., Schatte, J., Leitner, H., "Metallographic characterization of the molybdenum based alloy MHC by a color etching technique" *Materials Characterization*, 77: 63-69, 2013
- [2] Fan, J., Lu, M., Cheng, H., Tian, J., Huang, B., "Effect of alloying elements Ti, Zr on the property and microstructure of molybdenum" *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 27: 78-82, 2009
- [3] Tekaüt, İ., Demir, H., "AISI H13 ve AISI D2 çeliklerinin delinmesi esnasında kesme bölgesinde oluşan sıcaklığa kesici takım kaplamasının ve işleme parametrelerinin etkisi" *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 30(2): 289-296, 2015.
- [4] Kalpakjian, S., Schmid, S.R., "Manufacturing Engineering and Technology" 6th Edition, *Pearson Education*, 2009
- [5] Trent, E.M., Wright, P.K. "Metal Cutting, 4th Edition" *Butterworth Heinemann*, 2000
- [6] Wang, W., Kweon, S.H., Yang, S.H., "A study on roughness of the micro-end-milled surface produced by miniaturized machine tool" *Journal of Materials Processing Technology*, 162-163: 702-708, 2005
- [7] Işık, Y., "Talaşlı İmalatta Kesici Takımların Kırılma Öncesi Davranışlarının Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Analizi" *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 9(1): 2004
- [8] Akkurt, M., "Talaş kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları", 67-71, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 1991.
- [9] Günay, D., "Mühendisler İçin Sonlu Elemanlar Metodunun Temelleri", *Sakarya Üniversitesi Yayınları*, Adapazarı, 1993.
- [10] Kocacıçak, Ü., Çalışkan, M., "Makine Tasarımında Sonlu Elemanlar Yöntemi", *Sakarya Üniversitesi Yayınları*, Adapazarı, 1996.
- [11] Hinton, E., Owen, D., R., J., "An Introduction to Finite Element Computations", *Pineridge Press Limited*, Swansea, U.K., 1985.
- [12] Ulaş, H. B., Özkan, M. T. and Malkoç, Y., "Vibration prediction in drilling processes with HSS and carbide drill bit by means of artificial neural networks", *Neural Computing and Applications*, 1-16, (Article in Press). DOI:https://doi.org/10.1007/s00521-018-3379-3
- [13] Çakıroğlu R., "Delik Delme İşlemlerinde Kesme Parametrelerine Bağlı Olarak Oluşan Sıcaklığın Modellenmesi" Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, *Yüksek Lisans Tezi*, 2011.
- [14] Yağmur S., "Delik Delme İşlemlerinde Kesme Parametrelerine Bağlı Olarak Oluşan Sıcaklığın Deneysel Olarak İncelenmesi" Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, *Yüksek Lisans Tezi*, 2011.
- [15] Özkan, M. T., "Experimental and Artificial Neural Network Study of Heat Formation Values of Drilling and Boring Operations on Al 7075 T6 Workpiece", *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*, 20: 259-268, 2013.
- [16] Karagüzel, U., "Zirkonyum Esaslı Kalın Camsı Metalin Frezelenmesinin Sonlu Elemanlar Analizi" *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2010.
- [17] Mackerle J., "Finite Element Analysis And Simulation Of Machining: An Addendum A Bibliography" *Machine Tools And Manufacture*, Sweden, 2003.
- [18] K. Komvopoulos and S. A. Erpenbeck., "Finite Element Modeling of Orthogonal Metal Cutting" *J. Eng. Ind* 113(3): 253-267, 1991. doi:10.1115/1.2899695

- [19] Brinksmeier, E., Preuss, W., Riemer, O., Rentsch, R., “Cutting Forces, Tool Wear And Surface Finish İn High Speed Diamond Machining” *Precision Engineering*, 204-293, 2017.
- [20] Cui, X., Wang, D., Guo, J., “Influences of Tool Rake Angle and Cutting Speed on Ceramic Tool Failure in Continuous and Intermittent Turning of Hardened Steel” *Ceramics International*, 42(10): 12390-12400, 2016.
- [21] Gökçe, H., Yavuz, M., Gökçe, H., Şeker, U., “Orijinal Matkap Geometrisinde Delme Performansının Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Doğrulanması” *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 3: 1-8, 2017.
- [22] Varlık, T., Özdemir, K., Çakır, M., C., “Dönel Takımlar İle Tornalama İşleminin Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Analizi” *5. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu*, Bursa, 2014.
- [23] Laakso, S., V.A, Niemi, E., “Using FEM Simulations of Cutting for Evaluating the Performance of Different Johnson Cook Parameter Sets Acquired with Inverse Methods” *Flexible Automation and Intelligent Manufacturing*, 47: 95-101, 2015.
- [24] Pius, O., Benjamin, O., Nnaemeka, O., “Analytical Modeling of Temperature Distribution in Metal Cutting: Finite Element Approach” *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, (2-4): 17-33, 2013.
- [25] Villumsen, M., F., Fauerholdt, T., G. “Prediction Of Cutting Forces İn Metal Cutting, Using The Finite Element Method, Alagrangian Approach” *LS-DYNA anwenderforum*, C-III-1, Bamberg, 2008.
- [26] Aydın, M., “Dik Kesme İşleminde Kalıcı Gerilmelerin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Modellenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 19(3) : 297-304, 2016.
- [27] Kurt, A., Şeker, U., “Kesici Takım Gerilmelerinin Sonlu Elemanlar Metodu Kullanılarak İncelenmesi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 20(4): 491-497, 2005.
- [28] Işık, Y., “Talaşlı İmalatta Kesici Takımların Kırılma Öncesi Davranışlarının Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Analizi” *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 9(1): 2004.
- [29] Sortino, M., Totis, G., Proserpi, F., “Dry Turning Of Sintered Molybdenum” *Journal of Materials Processing Technology*, 213: 1179-1190, 2013.
- [30] Gökçe, H., Çiftçi, İ., “Molibden Alaşımlarının İşlenmesinde Kesici Takım ve Kesme Parametrelerinin Taguchi Metodu ile Optimizasyonu” *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, doi: 10.17341/gazimmfd.416482, 2018.
- [31] Çakıroğlu, R., “Delik delme işlemlerinde kesme parametrelerine bağlı olarak oluşan sıcaklığın modellenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2011.
- [32] Yağmur, S., Acır, A., Şeker, U. ve Günay, M., “Delik delme işlemlerinde kesme parametrelerinin kesme bölgesindeki sıcaklığa etkisinin deneysel incelenmesi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(1): 1-6, 2013.
- [33] Wayal, V., Ambhore, N., Chinchankar, S. and Bhokse, V., “Investigation on Cutting Force and Vibration Signals in Turning: Mathematical Modeling Using Response Surface Methodology” *Journal of Mechanical Engineering and Automation*, 5-3B: 64-68, 2015.
- [34] Ojolo, S.J., Armuda, M.O.H., Orgunmola, O.Y. and Ononiwu, C.U., “Experimental determination of the effect of some straight biological oils on cutting force during cylindrical turning”, *Matéria* (Rio de Janeiro), 13-4, 2008.
- [35] Hou, J., Zhou, W., Duan, H., Yang, G., Xu, H and Zhao, N. “Influence of cutting speed on cutting force, flank temperature, and tool wear in end milling of Ti-6Al-4V alloy” *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 70: 9-12, 2014.
- [36] Turgut, Y., Çinici, H., Şahin, İ. ve Fındık, T., “Study of cutting force and surface roughness in milling of Al/Sic metal matrix composites”, *Scientific Research and Essays*, 6-10: 2056-2062, 2011.