



Makale / Research Paper

Al2014 Alüminyum Alaşımının Delinmesinde İtme Kuvvetinin Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Analizi

Mehmet Erdi KORKMAZ^a, *, Ramazan ÇAKIROĞLU^b, Nafiz YAŞAR^c, Ramazan ÖZMEN^d, Mustafa GÜNAY^a

^aMakine Mühendisliği Bölümü, Karabük Üniversitesi, Karabük, 78000, Turkey

^bOstim Meslek Yüksek Okulu, Gazi Üniversitesi, Ankara, 06560, Turkey

^cTOBB Meslek Yüksek Okulu, Karabük Üniversitesi, Karabük, 78000, Turkey

^dMekatronik Mühendisliği Bölümü, Karabük Üniversitesi, Karabük, 78000, Turkey

merdikorkmaz@karabuk.edu.tr

Received/Geliş: 31.07.2018

Accepted/Kabul: 14.01.2019

Öz: Bu çalışmanın amacı, Al2014 alüminyum alaşımının kaplamasız sementit karbür takım ile delinmesi sonucunda itme kuvvetinin deneysel ve simülasyon sonuçlarını kıyaslamaktır. Deneysel çalışmada, farklı seviyelerde kesme parametreleri (kesme hızı ve ilerleme miktarı) kullanılarak delme işlemi yapılmıştır. Kesme kuvveti için nümerik analizler, sonlu elemanlar yöntemine dayalı çözümleme yapan ThirdWave Advantedge simülasyon programıyla gerçekleştirilmiştir. 0,1, 0,2 ve 0,3 mm/dev sabit ilerleme miktarlarında kesme hızının %35 artmasıyla itme kuvveti sırasıyla %9,1, %12,8 ve %18,6 düşmüştür. 170, 200 ve 230 sabit kesme hızlarında, ilerleme miktarının 0,1'den 0,3 mm/dev'e çıkarılmasıyla itme kuvveti sırasıyla %23,9, %16,1 ve %11 artmıştır. İtme kuvvetinin kesme hızının artmasıyla azaldığı, ilerleme miktarının artması arttığı belirlenmiştir. Sonlu elemanlar yöntemiyle gerçekleştirilen delme simülasyon sonuçları da deneysel sonuçlar ile benzerlik göstermiştir. Çalışma sonucunda, deneysel olarak ölçülen itme kuvveti ile simülasyon sonucunda elde edilen kuvvet değerleri arasında ortalama %7'lik bir fark olduğu belirlenmiş ve sonlu elemanlar modelinin uygulanabilirliği kanıtlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Al2014, Kesme kuvveti, Sonlu elemanlar yöntemi, Simülasyon.

Finite Element Analysis of Thrust Force in Drilling of Al2014 Aluminum Alloy

Abstract: The purpose of this work is to compare the experimental and simulational results of the thrust force in drilling of the Al2014 aluminum alloy with the uncoated cemented carbide tool. In the experimental study, drilling was performed using cutting parameters (cutting speed and feed rate) at different levels. Numerical analyzes for thrust force were performed using the ThirdWave Advantages simulation program, which is based on the finite element method. With constant feed rates of 0,1, 0,2 and 0,3 mm / rev, the thrust force decreased by 9,1%, 12,8% and 18,6%, respectively, with the cutting speed increased by 35%. At constant cutting speeds of 170, 200 and 230, the thrust force increased by 23,9%, 16,1% and 11%, respectively, by increasing the feed rate from 0,1 to 0,3 mm / rev. It has been determined that the thrust force decreases with increasing the cutting speed and increases with the increasing feed rate. The results of drilling simulation performed by finite element method were similar to experimental results. As a result of the study, it was determined that there was an average difference of 7% between the experimentally measured thrust force and the force values obtained as a result of the simulation. Finally, the applicability of the finite element model was proved.

Keywords: Al2014, Thrust force, Finite element method, Simulation.

Bu makaleye atf yapmak için

Korkmaz M.E., Çakiroğlu R., Yaşar N, Özmen R, Günay M., "Al2014 Alüminyum Alaşımının Delinmesinde İtme Kuvvetinin Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Analizi" El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2019, 6(1); 193-199.

How to cite this article

Korkmaz M.E., Çakiroğlu R., Yaşar N, Özmen R, Günay M., "Finite Element Analysis of Thrust Force in Drilling of Al2014 Aluminum Alloy" El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2019, 6(1); 193-199.

1. Giriş

Teknoloji ve endüstrinin hızla gelişmesi ile yüksek mukavemetli, hafif ve mükemmel aşınma direncine sahip yapısal malzemelere olan talep sürekli artmaktadır [1,2]. Bu malzemelerin üretimden çıkıp son hallerini almaları için bazı plastik deformasyon işlemlerinden geçmeleri gerekmektedir. Bunların en önemleri arasında talaşlı imalat işlemleri gelmektedir. Talaşlı imalat işlemleri genel olarak tornalama, delme ve frezelemeden oluşmaktadır.

Delme işlemi sırasında meydana gelen talaş oluşumu kesme kuvvetlerini, kesme sıcaklığını ve dolaylı olarak deliğin yüzey kalitesini ve ölçü tamlığını etkilemektedir. Ayrıca, delme işlemleri sırasında talaşın atılabilirliği de delik kalitesini doğrudan etkilemekte olup kesme parametrelerine (kesme hızı, ilerleme miktarı vb.) göre değişmektedir. Kesme hızı ve ilerleme miktarı delik delmedeki en önemli parametrelerdir. Bunlar kesme işlemi sırasında meydana gelen sıcaklık ve kesme kuvvetlerini doğrudan etkilemekte olup kesici takımın (matkap ucu) performansını belirleyen unsurlardır [3,4].

Kesici takımın daha uzun süre kullanılabilmesi ve iş parçasının istenilen kalitede üretilerek hammadde israfını önlemeye yönelik olarak, kesme simülasyonları ve modellemeleri ortaya çıkmıştır. Bu modellemeler ile, talaşlı imalatın bir parçası olan delme işleminde yapılan iyileştirmeler imalat maliyetinin düşürülmesi ve rekabet edebilme şansının doğması açısından önemlidir. Yapılan her bir iyileştirme talaşlı imalatta sonuca en kısa yoldan ulaşma anlamına da gelmektedir. Bu da rekabet ortamında üreticilerin rekabet edebilme şanslarını arttıracak ve malzeme israfını önlemiş olacağından ülkemiz ekonomisine katkı sağlamış olacaktır [5].

Bu bağlamda, Yang ve Sun Ti6Al4V alaşımı için delme işleminin üç boyutlu sonlu eleman modelini geliştirmişlerdir. Tahmin edilen kesme kuvvetinin deneysel değerlerle karşılaştırılması sonlu eleman modelinin kullanılabilirliğini göstermektedir. Delme işlemi sırasındaki Von-Mises gerilimi ve sıcaklığı, ilk başta artış gösterip maksimum değere ulaşmış, fakat daha sonra delme işlemi stabil hale geldiğinde, delik delinene kadar kademeli olarak azalmıştır [6]. İşbilir ve Gassamaeh, ABAQUS/Explicit ticari sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak bir 3D model geliştirmişlerdir. Önerilen model, matkap ucu ve iş parçası ile proses parametreleri arasındaki arayüzde bir temas modeli olan iş parçası malzemesinin hasar başlangıcı ve büyümesi dikkate alınarak delme işlemini simüle etmektedir. Simülasyonların sonuçları, işleme parametrelerinin delme üzerindeki etkilerini göstermektedir. Sonuçlar ayrıca delme sürecinin sonlu elemanlar simülasyonunun doğruluğunu ve avantajını doğrulamaktadır [7]. Muhammad ve arkadaşları, AISI 1010 çeliğinin delme işlemi için MSC MARC MENTAT ticari kodu kullanılarak 3 boyutlu termomekanik sonlu elemanlar modeli geliştirmişlerdir [8]. Güncellenmiş Lagrangian yöntem analizi, modeldeki elasto-plastik malzeme için geçici analiz sağlamak adına kullanılmıştır. Johnson-Cook malzeme modeli elasto-plastik iş deformasyonu için kullanılır [9]. Modelde kesme parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme miktarı) itme kuvveti ve tork üzerindeki etkisi incelenmiştir. Düzeltilmiş kayma sürtünme modeli, delme işlemi sırasında yağlama ve itme kuvveti üzerindeki yağlamanın etkisini araştırmak için kullanılmıştır [8]. Ucu çalışmasında, Al7075-T6 alüminyum alaşımının delme işleminde helezon ve 3-oluklu matkapların performanslarını deneysel ve nümerik olarak incelemiştir. Deneysel aşamada, üç farklı ilerleme miktarında (0.05, 0.1, 0.2 mm / dev) ve dört farklı kesme hızında (60, 90, 120, 150 m / dak) helezon ve 3 oluklu matkaplarla delme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Delme işlemleri sırasında meydana gelen itme kuvvetleri Kistler 9257b dinamometresi ile ölçülmüştür. Nümerik olarak, delme işleminin 3D sonlu elemanlar modeli Deform 3D V6.1 yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Delme elemanlarının sonlu elemanlar analizi sırasında, itme kuvvetleri sayısal olarak elde edilmiş ve deneysel itme kuvvetleri ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca delme işleminde meydana gelen tork ve takım gerilmesi nümerik olarak belirlenmiştir. Çalışmanın sonunda, deneysel ve nümerik sonuçlar arasında yüksek oranda benzerlik olduğunu göstermiştir. Buna ek olarak, helezon matkap ile elde edilen itme kuvveti, tork ve takım

gerilmesinin 3-oluklu matkabınkinden daha az olduğu gösterilmiştir [10]. Gök ve arkadaşları, distal femurun Salter-Harris (SH) tip-3 epifiz kırıklarının azaltılmasından sonra stabilizasyon için Kirschner teli (K-teli) ile delme işlemi yapmışlardır. Çalışma hem deneysel hem de nümerik olarak incelenmiştir. Sayısal analizler DEFORM-3D yazılımı kullanılarak sonlu elemanlar yöntemi (FEM) ile yapılmıştır. Deney sonuçları ve sonlu elemanlar analizi (FEA) sonuçları arasında iyi bir tutarlılık elde edilmiştir. Bu, yazılımın ve sonlu eleman modelinin geçerliliğini vurgulamaktadır. Bu durum, bu modelin delme işlemlerinde güvenilir bir şekilde kullanılabileceğini kanıtlamıştır [11]. Kara ve arkadaşları, 316L paslanmaz çeliğinin kaplamalı (TiCN + Al₂O₃ + TiN ve Al₂O₃) ve kaplanmamış sementit karbür ile tornalanması sırasında kesme kuvvetlerini incelemişlerdir. DEFORM 2D yazılımı kullanılarak tornalama işleminin simülasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Deneysel ve simülasyon sonuçlarının yüksek oranda benzerliği, simülasyon sırasında kullanılan sınır şartlarının ve modelin uygunluğunu kanıtlamaktadır [12]. Bu bağlamda bu çalışmada, Al₂O₃ alüminyum alaşımının kaplamasız sementit karbür takım ile delinmesi sonucunda itme kuvvetinin deneysel ve simülasyon sonuçlarını kıyaslanmıştır. Bu sayede çalışmanın amacı, deneyler sonucunda elde edilecek verilen düşük sapmalar ile simülasyonla da elde edilebileceğini göstermektir.

2.2. Malzeme ve Yöntem

Talaş kaldırma deneyleri Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Talaşlı Üretim Anabilim Dalında bulunan Johnford VMC-550 marka CNC dik işleme merkezinde yapılmıştır. Bu tezgâhın özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Deneylerde kullanılan tezgâhın teknik özellikleri

Tezgâhın Gücü	5 KW
En Yüksek Devir Sayısı	8000 dev/dak
Sırayla x, y, z ekseninde kurs	600, 500, 600 mm
Ölçü Hassasiyeti	0,001 mm
İşletim Sistemi	Fanuc

Bu çalışmada, yekpare (solid) helisel karbür matkaplar kullanılmıştır. Matkapların çapı 14 mm olarak seçilmiştir. Karar verilen Ø14 mm matkap, kesici ucundaki sıcaklığın ısı çifti ile ölçülebilmesi için ısı çiftinin soğutma kanallarından geçebilecek minimum şartları sağlamaktadır. Kullanılan matkapların standardı DIN 6537 K’dır. İtme kuvvetini deneysel olarak belirlemek için Kistler 9272 tipi dinamometre ve Kistler Type 5070 amplifier kullanılmıştır.

Deneyler ve delme simülasyonlarında ilerleme miktarı ve kesme hızının üç farklı seviyeleri kullanılmıştır. İşleme simülasyonları için yaygın olarak kullanılan [13] Johnson-Cook malzeme modeli Eşitlik 1’de verilmektedir. Malzeme modeli ağırlıklı olarak yüksek gerilme oranı metallere deformasyon davranışı için uygundur. Genellikle plastik deformasyon süreçlerinin adyabatik geçici dinamik analizinde kullanılmaktadır. Bu modele göre sertleşme, akma gerilmesinin σ^0 olarak kabul edildiği belirli bir izotropik sertleşme türüdür [14]:

$$\sigma^0 = (A + B(\epsilon^p)^n) \left(1 + C \log \left(\frac{\dot{\epsilon}^p}{\dot{\epsilon}_0} \right) \right) \left(1 - \left(\frac{T - T_r}{T_m - T_r} \right)^m \right) \quad (1)$$

Eşitlik 1’de A, B, C, n ve m olan mekanik testler yardımıyla elde edilen malzeme parametreleri sırasıyla oda sıcaklığının altında akma gerilmesi, gerinim sertleşmesi, gerinim hızı sabiti, gerinim sertleşme sabiti ve ısı yumuşama sabitidir. Diğer parametreler, sırasıyla eşdeğer plastik gerinim, plastik gerinme oranı, referans gerinim oranı, oda sıcaklığı, erime sıcaklığı ve referans sıcaklığı olan ϵ^p , $\dot{\epsilon}^p$, $\dot{\epsilon}_0$, T_r , T_m ve T ’dir. Al₂O₃ alaşımı için Johnson-Cook parametreleri ve diğer malzeme

parametreleri Advantedge yazılımında hazır bulunmakta olup sırasıyla Tablo 2 ve Tablo 3'te verilmektedir.

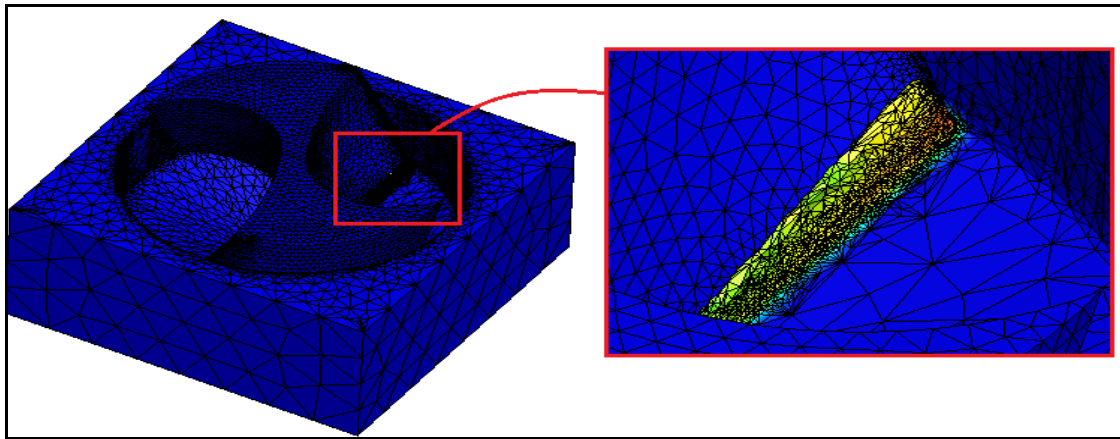
Tablo 2. Al2014 alaşımının Johnson-Cook parametreleri

A (MPa)	B (MPa)	C	n	m	Tr (°C)	Tm (°C)	$\dot{\epsilon}_0$
345	780	0,0083	0.17	1,7	27	638	1

Tablo 3. Al2014 alaşımı için diğer malzeme parametreleri

Yoğunluk (g/cm ³)	Poisson oranı	Elastik Modulus (GPa)	Termal İletkenlik (W/m.K)	Özgül Isı (J/kg°C)	Termal Genleşme (10 ⁻⁶ °C)
2,8	0,33	73.1	121	875	24,7

Kesme kuvveti için sonlu elemanlar analizleri Advantedge yazılımı ile sonlu elemanlar yöntemine dayalı olarak gerçekleştirilmiştir. Simülasyonun ilk aşamasında, iş parçası malzemesinin uzunluğu (17mm), genişliği (17 mm) ve yüksekliği (6 mm) belirlenmektedir.



Şekil 1. Kesici takım ağ yapısı

İkinci aşamada, takım geometrisi (helis açısı, uç açısı ve kesme ağzı sayısı) ve takım malzemesi parametreleri tanımlanmaktadır. Son aşamada, ilerleme miktarı, kesme uzunluğu ve kesme hızı gibi gerekli delme simülasyon parametreleri ve sürtünme katsayısı tanımlanarak delme simülasyonu gerçekleştirilmektedir. Takım ve iş parçası arasındaki arayüzey durumu için Coulomb modeli kullanılmış olup, sürtünme katsayısı 0,6 olarak seçilmiştir.

Tablo 4. Kesme parametreleri

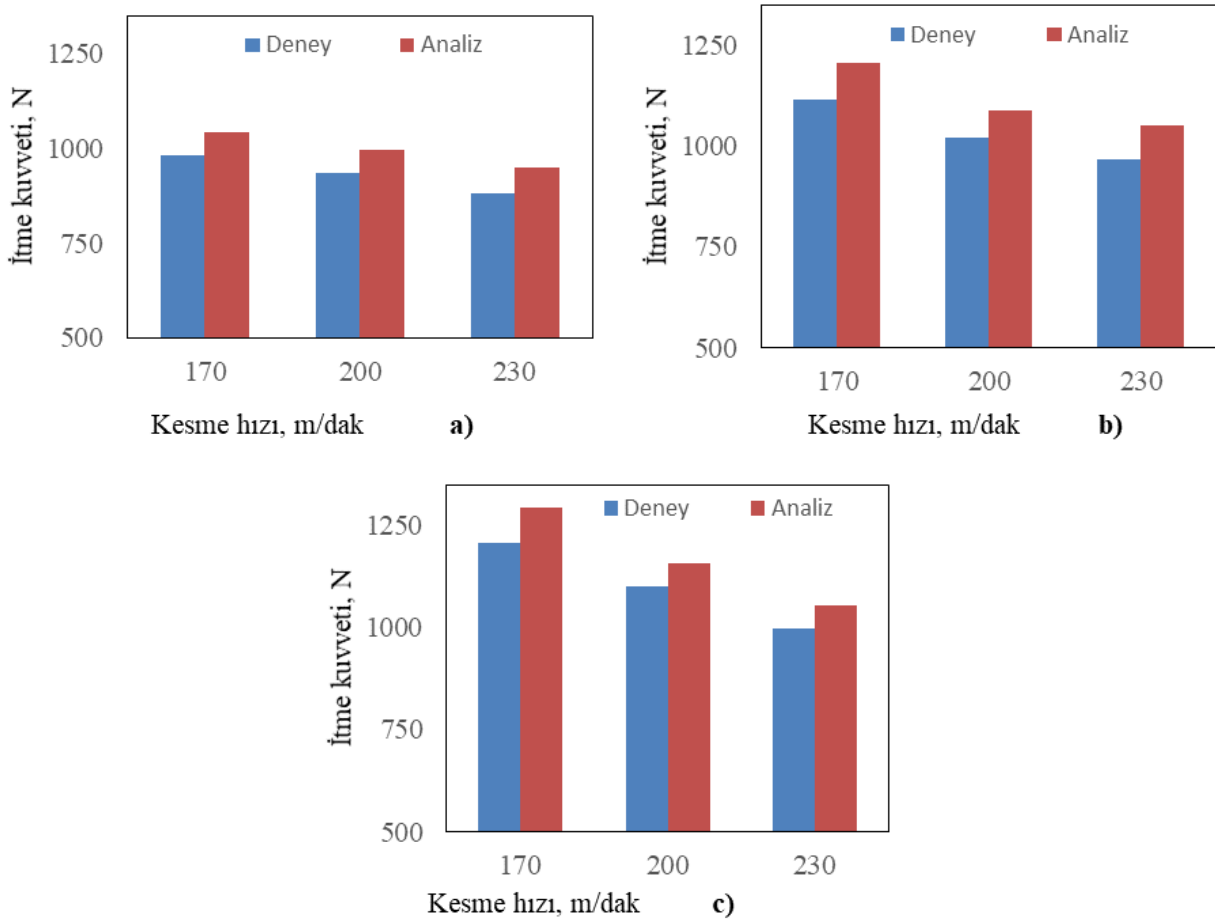
Faktörler	Seviye		
	1	2	3
İlerleme miktarı, f (mm/dev)	0,1	0,2	0,3
Kesme hızı, V (m/dak)	170	200	230

Mesh parametreleri sırasıyla maksimum ve minimum eleman boyutları için 0,1 mm ve 0,02 mm olarak kullanılmıştır (Şekil 1). Kesme simülasyonlarında kullanılan kesme parametreleri Tablo 4'te verilmiştir. Al2014 alaşımının delinmesinde oluşan itme kuvvetlerini tahmin edebilmek için FE simülasyonlarında takım 60° döndürülerek iş parçası 7,33 mm kesilmiştir.

3. 3. Bulgular ve Tartışma

Belirlenen delme parametreleri ışığında gerçekleştirilen deneyler ile FEM'e dayalı analizler

karşılaştırıldığında, itme kuvvetleri arasında ortalama %7'lik bir fark belirlenmiştir. Şekil 2'deki grafiklerde, deneyler ve simülasyonlar sonucunda elde edilen kesme kuvvetlerinin kesme hızı ve ilerleme miktarına göre değişimleri verilmiştir. Şekil 2a'da görüldüğü üzere, ilerleme miktarı 0,1 mm/dev iken, kesme hızının 170'ten 230 m/dak'ya çıkarılmasıyla kesme kuvveti %9,1 düşmüştür. Benzer durum Şekil 2a ve 2b'de de görülmüş, ilerleme miktarı 0,2 ve 0,3 mm/dev'de sabit tutulduğunda kesme hızları 170'den 230 m/dak'ya çıkarıldığında kesme kuvvetleri sırasıyla %12,8 ve %18,6 düşmüştür. Şekil 2a-c, kesme hızının kesme kuvveti üzerinde azaltıcı bir etkisi olduğunu göstermiştir. Bu grafikler ilerleme miktarının etkisi düşünülüp tekrar incelendiğinde, 170 m/dak sabit kesme hızında ilerleme miktarının 0,1'den 0,3 mm/dev'e artırılmasıyla kesme kuvveti %23,9 artmıştır. Aynı durumda 200 ve 230 m/dak kesme hızlarında ilerleme miktarı 0,1'den 0,3 mm/dev'e artırılmasıyla kesme kuvveti sırasıyla %16,1 ve %11 artmıştır. Şekil 2a-c, ilerleme miktarının kesme kuvveti üzerinde artırıcı bir etkisi olduğunu göstermiştir.



Şekil 2. İtme Kuvvetlerinin (N) Karşılaştırılması, a) $f= 0,1$ mm/rev, b) $f= 0,2$ mm/rev, c) $f= 0,3$ mm/rev.

İlerleme miktarının (f) artması ile hem deneysel hem de nümerik analiz sonuçlarında itme kuvvetinin (F_z) arttığı gözlenirken, kesme hızının artması ile itme kuvvetinin (F_z) azaldığı belirlenmiştir. Bu sonuçlar literatür ile doğru orantılı olup nümerik modelleme çalışmalarının geçerli olduğunu göstermiştir [15-17]. Deneysel ve simülasyon sonuçları arasında ortalama %7 kabul edilebilir sınırlar içerisinde sapma olduğu tespit edilmiştir. Böylece delme işleminden elde edilen değerlerin, sonlu elemanlar yöntemine dayalı kesme simülasyonları ile tahmin edilebileceği kanıtlanmıştır.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, Al2014 alüminyum alaşımının kaplamasız sementit karbür takım ile delinmesi sonucunda itme kuvvetinin deneysel ve simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar maddeler halinde özetlenmiştir.

- İlerleme miktarının (f) artması ile hem deneysel hem de nümerik analiz sonuçlarında itme kuvvetinin (F_z) arttığı gözlenirken, kesme hızının artması ile itme kuvvetinin (F_z) azaldığı belirlenmiştir.
- 0,1, 0,2 ve 0,3 mm/dev sabit ilerleme miktarlarında, kesme hızının %35 artmasıyla itme kuvveti sırasıyla %9,1, %12,8 ve %18,6 düşmüştür.
- 170, 200 ve 230 sabit kesme hızlarında, ilerleme miktarının 0,1'den 0,3 mm/dev'e çıkarılmasıyla itme kuvveti sırasıyla %23,9, %16,1 ve %11 artmıştır.
- Sonlu elemanlar yöntemiyle gerçekleştirilen delme simülasyon sonuçları da deneysel sonuçlar ile benzerlik göstermiştir.
- Deneysel ve simülasyon sonuçları arasında ortalama %7 kabul edilebilir sınırlar içerisinde sapma olduğu tespit edilmiştir.

Bu sonuçlar ışığında, deneyler sonucunda elde edilecek verilerin düşük sapmalar ile simülasyonla da elde edilebileceği kanıtlanmıştır.

Kaynaklar

- [1] Prasad SV., Asthana R., "Aluminum metal-matrix composites for automotive applications: tribological considerations", Tribology Letters, 2004, 17: 445-453.
- [2] Raghubanshi H., Dikio ED., Naidoo EB., "The properties and applications of helical carbon fibers and related materials: a review", Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 2016, 44: 23-42.
- [3] Sandvik Coromant, "Modern Metal Cutting", Sweden 1994, s. 2-61
- [4] Kalidas S., DeVor R.E., Kapoor S.G., "Experimental investigation of the effect of drill coating on hole quality under dry and wet drilling conditions" Surface and Coatings Technology, 2001, 117-128.
- [5] Arafat M., "CNC delme işleminde delme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü açısından optimizasyonu", Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 2009.
- [6] Yang Y., Sun J., "Finite Element Modelling and Simulating of Drilling of Titanium Alloy", 2nd International Conference on Information and Computing Science, Manchester, UK, 21-22 May, 2009.
- [7] Isbilir O., Ghassemieh E., "Finite Element Analysis of Drilling of Titanium Alloy", Procedia Engineering, 2011, 10: 1877-1882.
- [8] Muhammad R., Ahmed N., Sharif Y.M., Silberschmidt V., "3D Finite Element Modelling of Drilling Process", 20th IWCM, Loughborough University, Loughborough, 2010.
- [9] Korkmaz M.E., Günay M., "Finite Element Modelling of Cutting Forces and Power Consumption in Turning of AISI 420 Martensitic Stainless Steel", Arab J Sci Eng, 2018. doi:10.1007/s13369-018-3204-4.
- [10] Ucuñ İ., "3D finite element modelling of drilling process of Al7075-T6 alloy and experimental validation", Journal of Mechanical Science and Technology, 2016, 30 (4): 1843-1850.
- [11] Gok A., Gok K., Bilgin M.B., "Three-dimensional finite element model of the drilling process used for fixation of Salter-Harris type-3 fractures by using a K-wire", Mech. Sci., 2015, 6, 147-154.

- [12] Kara F., Aslantař K., Çiçek A., “Prediction of cutting temperature in orthogonal machining of AISI 316L using artificial neural network”, *Appl. Soft Comput.*, 2016, 38, 64-74.
- [13] Johnson G.J., Cook W.H., “A constitutive model and data for metals subjected to large strains, high strain rates and high temperatures”. *Proceedings of the Seventh International Symposium on Ballistics, The Hague*, 541–547, 1983.
- [14] Ishida T., Moriguchi H., Ikegaya A., “Development of Cemented Carbide Tool of Reduced Rare Metal Usage”, *SEI Technical Review*, 2011, 73: 52-56.
- [15] Uzun G., Gokmen U., Cinici H., Turker M., “Effect of Cutting Parameters in The Drilling Of AISi7 Metallic Foams”, *Materials and technology*, 2017, 51(1): 19-24.
- [16] Yaşar N., Korkmaz M.E., Günay M., “Investigation on hole quality of cutting conditions in drilling of CFRP composite”, *MATEC Web of Conferences*, 2017, 112: 1-7.
- [17] Kıvak T., Samtař G., Cicek A., “Taguchi method based optimisation of drilling parameters in drilling of AISI 316 steel with PVD monolayer and multilayer coated HSS drills”, *Measurement*, 2012, 45 (6), 1547-1557