



AISI 1040 ÇELİĞİNİN AŞINDIRICI SU JETİ İLETORNALAMA İŞLEMİNDE İŞLEME PAREMETRELERİNİN TALAŞ KALDIRMA HACMİNE VE KESME DERİNLİĞİNE ETKİSİ

THE EFFECT OF PROCESS PARAMETERS ON MACHINING VOLUME AND DEPTH OF CUT IN TURNING OPERATION OF AISI 1040 STEEL WITH ABRASIVE WATER JET

Fuat KARTAL^{1*}, Hasan GÖKKAYA²

¹Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Kastamonu Meslek Yüksek Okulu, Kastamonu Üniversitesi, 37100, Kastamonu.
fuatkartal81@hotmail.com

²Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Karabük Üniversitesi, 78050, Karabük.
hgokkaya@karabuk.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 09.06.2013, Kabul Tarihi/Accepted: 02.09.2013

doi: 10.5505/pajes.2014.29494

*Yazışılan yazar/Correspondingauthor

Özet

Bu çalışmada, AISI 1040 çeliğinin aşındırıcı su jeti ile tornalanması esnasında işleme parametrelerinin kaldırılan talaş hacmine ve kesme derinliğine etkisi araştırılmıştır. Yapılan çalışmada deney sayısının en az olması için literatürde yapılmış olan çalışmalar göz önüne alınmış ve ön deneyler sonucu elde edilen tecrübelerle en uygun işleme parametre değerleriyle deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalarda pompa basıncı (350 MPa), aşındırıcı boyutu (Garnet formunda ve boyutu 80 mesh) ve nozul çapı (1.2 mm) sabit tutulmuştur. Ø 30 ve 240 mm ebatlarında 1040 çeliği, dört farklı aşındırıcı akış oranı (50, 150, 250 ve 350 gr/dak.), nozul mesafesi (2, 5, 8 ve 11 mm), nozul ilerleme miktarı (5, 15, 25 ve 35 mm/dak.) ve torna aynası deviri (25, 50, 75 ve 100 dev/dak.) işleme parametreleri değerlerinde işlenmiştir. Elde edilen bulgulara göre en yüksek talaş hacmi 5 mm/dak nozul ilerleme miktarında 1387,25 mm³ elde edilmiştir. En yüksek kesme derinliği ise 0,94 mm olarak 100 dev/dak torna aynası devrinde elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Aşındırıcı su jeti, Tornalama, AISI 1040, Talaş hacmi, Kesme derinliği.

Abstract

In this study the effect of processing parameters during turning of AISI 1040 steel with abrasive water jet on machining volume and depth of cut. In the study, in order to keep the experiment quantity low, former studies in literature were taken into consideration and therefore experiments were realized with processing parameters and experiences that are most suitable to pre-experiments. In experimental studies pump pressure (350 MPa), abrader dimensions (in garnet form and dimension 80 mesh) and nozzle diameter (1.2 mm) were kept constant. 1040 steel with dimensions of Ø 30 and 240 mm were processed at four different abrader flow rate (50, 150, 250 and 350 gr/min), nozzle distance (2, 5, 8 and 11 mm), nozzle feed rate (5, 15, 25 and 35 mm/min) and lathe chuck revolutions (25, 50, 75 and 100 rpm). According to the findings the most highly material removal rate of 5 mm / min nozzle feed rate 1387.25 mm³ in the amount has been achieved. The maximum depths of cut 0.94 mm spindle speed of 100 rpm were obtained.

Keywords: Abrasive water jet cutting, Turning, AISI 1040, Chip volume, Depth of cut.

1 Giriş

Aşındırıcı su jeti (ASJ) ile işleme, çok çeşitli endüstriyel ihtiyaçlar için kullanılabilen, esnek olduğu kadar verimli bir kesme ve temizleme yöntemidir [1-5]. İlk aşındırıcı su jeti ile işleme 1979 yılında Hashish tarafından flow firmasında su jeti içerisine aşındırıcı kum katılmak suretiyle cam, çelik ve beton malzemelerin kesilmesi üzerine yapılmıştır. [6-13]. Aşındırıcı su jeti ile kesme işleminde, geleneksel imalat yöntemlerinde meydana gelen işleme ısısından kaynaklı takım aşınması, zehirli gaz oluşumu, bozulmuş yüzey kaliteleri, yüzey sertleşmesi ve termal gerilmeler meydana gelmemektedir [14-17]. Modern imalat yöntemlerinden biri olan aşındırıcı su jeti son zamanlarda endüstride yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır [14-17]. Bu yöntem ticari olarak ilk kez 1983 yılında cam malzemelerin kesimlerinde kullanılmıştır [17-20]. ASJ yöntemi, işlenebilmesi zor olan (seramik, kompozit, titanyum vb.) çok sert alaşımların kesiminde yaygın bir şekilde kullanılabilir hale gelmiştir [21-24]. Talaş kaldırma hacmi işlemi, aşındırıcı parçacıkların iş parçası yüzeyine çarpması sonucu erozyona neden olmasıyla meydana gelir [25]. Palleda, aşındırıcı su jeti ile frezeleme çalışmasında, talaş kaldırma

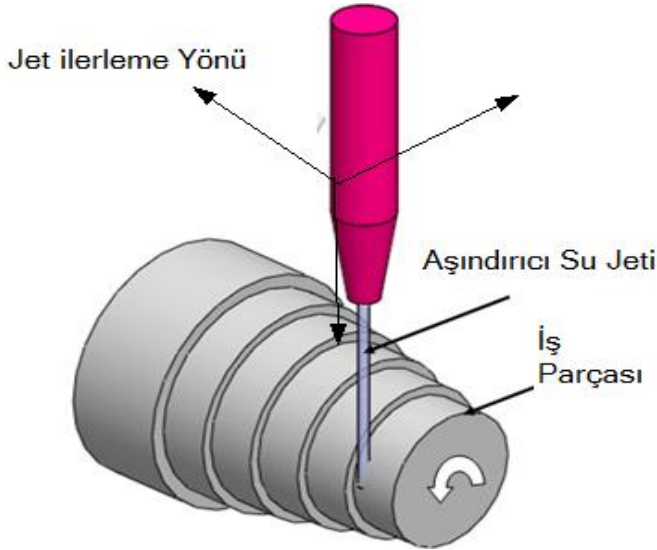
hacmi oranının kontrol edilebilmesi için aşındırıcı su jeti yerine kimyasal sıvılar (aseton, fosforik asit ve sıvı polimer) kullanılarak nozul yaklaşma mesafesini değişken parametre olarak seçmiş ve nozul yaklaşma mesafesinin kesme işleminde kesme derinliği ve buna bağlı olarak kaldırılan talaş hacmine etkilerine araştırmıştır. Maksimum talaş kaldırma oranının normal su kullanılarak ve nozul mesafesi 4.5 mm değerinde elde edildiği belirtilmiştir [26]. Manu ve Babu; aşındırıcı su jeti ile işlemede erozyon modeli oluşturmak için yapmış olduğu çalışmada, finnie'nin erozyon modeli temel alınarak matematiksel model geliştirmişlerdir. Aşındırıcı su jeti ile işlemede aşındırıcı ve suyun iş parçasına çarpma açısının, çap düşmesinin bir fonksiyonu olarak modeli oluşturulmuştur. Deneyler sonucu elde edilen değerler ile matematik model sonucunda tahmin edilen değerlerin bir birine yakın olduğu belirtilmiştir [27]. Ansari ve Hashish; işleme parametrelerinin talaş kaldırma hacmi üzerindeki etkisini belirlemek için AA6061-T6 alaşımını, aşındırıcı su jeti ile tornalama çalışması gerçekleştirmişlerdir. Torna aynası devri tüm deneylerde 360 rpm ve aşındırıcı 60 mesh garnet olarak sabit tutulmuştur. Deneylerinde değişken olarak pompa basıncı, aşındırıcı akış oranı, nozul ilerleme miktarı, aşındırıcı boyutu,

aşındırıcı tipi, nozul çapı değişken olarak kullanılmıştır. Yapılan deneysel çalışma sonucunda pompa basıncı ve nozul ilerleme miktarının artırılması ile kaldırılan talaş hacminde artış olduğunu belirtmişlerdir [28].

Bu çalışmada, AISI 1040 çeliğinin aşındırıcı su jeti ile tormalaması esnasında işleme parametrelerinin kaldırılan talaş hacmine ve kesme derinliğine etkisi araştırılmıştır.

2 Materyal ve Metod

Büyük ebatlı iş parçalarının geleneksel imalat yöntemlerinden olan klasik torna tezgâhında işlenmesi esnasında torna aynası devrine bağlı olarak büyük momentler, titreşim ve sehim gibi olumsuzluklar meydana gelmektedir. ASJ ile tormalama işlemi ile titreşim ve kuvvetten meydana gelen sapma deformasyonları gibi olumsuzluklar ortadan kalkmaktadır. Ayrıca son paso işlemleri için, kesici takım değiştirme gibi maliyeti artırıcı olumsuzluklar ortadan kalkmaktadır. ASJ ile bir proste değişik formlarda iş parçası tek nozul ile işlenebilmektedir. Alışılmış imalat yöntemlerinden olan klasik torna tezgâhı ile değişik formlarda iş parçasının işlenmesi sırasında her bir form için farklı forma sahip kesici takım gerekli olmaktadır. Alışılmamış imalat yöntemlerinden olan aşındırıcı su jeti ile işlemede ise tüm formların tek bir nozul ile yapılabilmesi aşındırıcı su jeti ile işlemin avantajlarındandır. Şekil 1'de kesme nozul kafası X,Y ve Z koordinatları boyunca hareket edebilmekte ve boyuna tormalama ve kanal açma işlemi sorunsuzca ve ayrıca X ve Y'ye bağlı hareket denklemi ile konik tormalama helis ve vida açma işlemleri yapılabilmektedir [29].

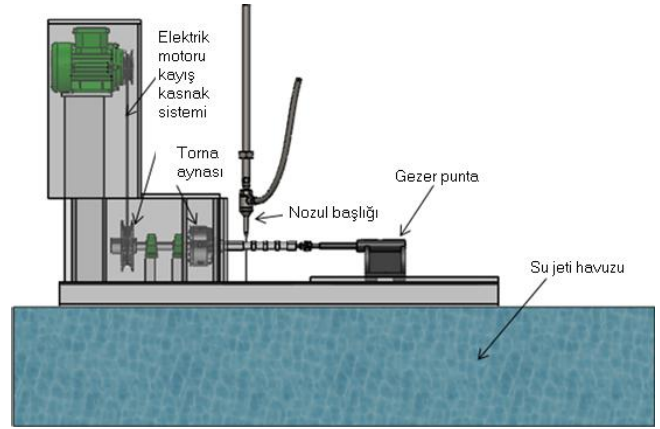


Şekil 1: Aşındırıcı su jeti ile tormalama görüntüsü.

2.1 Aşındırıcı Su jeti ile Tormalama için Geliştirilen Hibrit Torna Düzenegi

Bu çalışmada, aşındırıcı su jeti ile tormalamada kullanılmak üzere geliştirilen hibrit torna tertibatı düzenegini kullanılmıştır. Torna düzeneginde kullanılan elektrik motorunun gücü 0.37 KW seçilmiş, motorun hız kontrolünü sağlamak için ATV 12 380V-220V kontrol kartı kullanılmıştır. Bu kartın özelliği üç fazlı motoru 220 volt elektrik ile kontrol edebilen ve dönüş yönü ve hızı ayarlamalarını yaparak motorun tork değerini sabit tutabilmektir. Ayrıca bu kartın sağladığı bir diğer avantaj ise, motor hızının sabit bir şekilde kalmasıdır. Dönüş yönü, kart üzerinde bulunan ayar düğmesi ile yapılmaktadır. Sistem kayış kasnak ve kamalı mil bağlantısı

kullanılarak oluşturulmuştur. Şekil 2'de aşındırıcı su jeti ile tormalamada kullanılmak üzere geliştirilen hibrit torna deney düzenegi ve elemanları görülmektedir [30].



Şekil 2: Aşındırıcı su jeti ile tormalamada kullanılmak üzere geliştirilen hibrit torna deney düzenegi görüntüsü [29, 30].

2.1.1 İş Parçası, İşleme Parametreleri ve Aşındırıcı Su Jeti Tezgâhı

Deneysel çalışmalarda \varnothing 30 çapında ve 240 mm boyunda AISI 1040 deney numunesi kullanılmıştır. AISI 1040 çeliğine ait mekanik özellikler Tablo 1'de, kimyasal özellikler ise Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1: AISI 1040 çeliğinin mekanik özellikleri.

Akma Gerilmesi (Mpa)	Kopma Gerilmesi (Mpa)	Yüzde Uzama % (5do)	Sertlik (HB)
353	518	26	154

Tablo 2: AISI 1040 çeliğinin kimyasal özellikleri.

C	Mn	Si	P(max)	S(max)
0,35	0,60	0,01	0,04	0,05

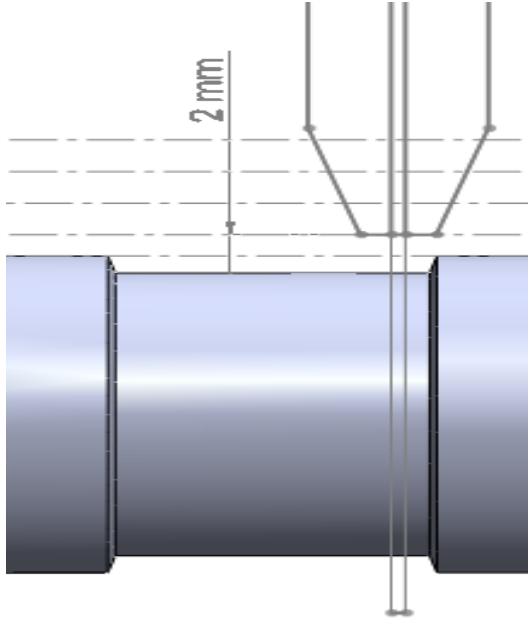
AISI 1040 çelik numunelerinin aşındırıcı su jeti ile talaş kaldırma parametreleri olarak; nozul ilerleme miktarı (NİM), aşındırıcı akış oranı (AAO), torna aynası dönüş hızı ve nozul yaklaşma mesafesi (NYM) değerleri kullanılmıştır (Tablo 3).

Tablo 3. Aşındırıcı su jeti ile tormalamada kullanılan işleme parametreleri ve seviyeleri.

Parametreler	Seviye			
NİM, mm/dak	5	15	25	35
AAO, gram/dak	50	150	250	350
TD, dev/dak	25	50	75	100
NYM, mm	2	5	8	11

Bu çalışma kapsamında seçilen işleme parametrelerinden olan nozulun iş parçasına yaklaşma mesafesi Şekil 3'de verilmiştir. Şekil 4'te aşındırıcı su jeti ile tormalama için geliştirilen özel torna tezgâhının aşındırıcı su jeti tezgâhı ile kullanımı gösterilmiştir. Özel torna tertibatı aşındırıcı su jeti tezgâhı üzerinde bulunan ızgaralar üzerine sökülebilir olarak monte edilmiştir.

Talaş kaldırma işleminde 0.01 hassasiyetli, 4150 bar SL-V 50 KMT pompa basıncına sahip dik işleme özelliğine sahip CNC aşındırıcı su jeti makinesi kullanılmıştır.



Şekil 3. Nozulun iş parçasına yaklaşma mesafesi görüntüsü.



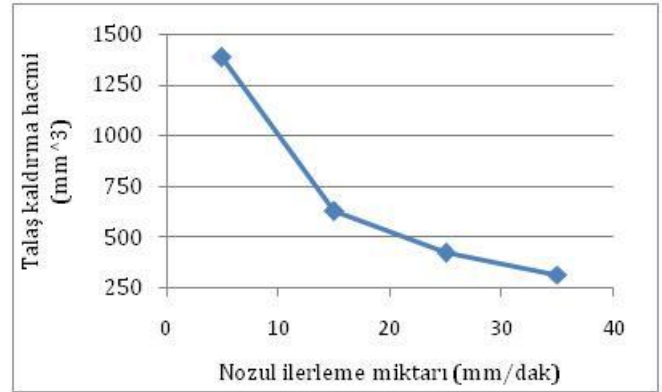
Şekil 4: Aşındırıcı su jeti ile tormalama.

3 Bulgular ve Tartışma

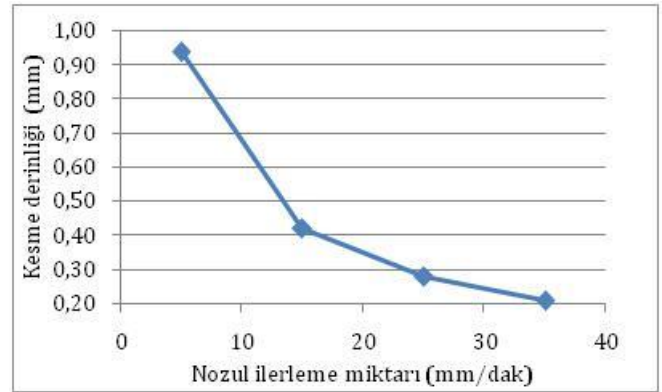
Aşındırıcı su jeti ile tormalama yöntemi yeni bir imalat yöntemi olması nedeniyle işleme parametrelerinin belirlenmesinde katalog değeri bulunmamasından dolayı katalog değerlerinden faydalanılamamıştır. Yapılan çalışmada deney sayısının en az olması için literatürde yapılmış olan çalışmalar göz önüne alınmış ve ön deneyler sonucu elde edilen tecrübelerle en uygun işleme parametre değerleriyle deneyler gerçekleştirilmiştir.

AISI 1040 çeliğinin 5, 15, 25 ve 35 mm/ dev de, nozul ilerleme değerlerinde tormalamasında nozul ilerleme miktarının talaş kaldırma hacmine (Şekil 5) ve kesme derinliğine (Şekil 6) değişimleri gösterilmiştir. Nozul ilerleme miktarı arttıkça kaldırılan talaş hacmi ve kesme derinliği miktarlarında azalış tespit edilmiştir. Nozul ilerleme miktarı arttıkça kaldırılan talaş hacmi ve kesme derinliğinde düşüşün nedeni, birim zamanda aşındırıcı jetin iş parçası birim yüzeyinde aşındırma etki süresi ile orantılı olduğuna bağlanabilir. Çünkü aşındırıcı jetin ilerleme miktarının artışı aşındırıcı jetin birim yüzeyde aşındırma süresini azaltmaktadır [28]. Bu nedenle, nozul ilerleme miktarı arttıkça kaldırılan talaş hacmi ve kesme

derinliği değerlerinde azalma tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular literatür ile benzerlik göstermiştir [27, 28, 30].

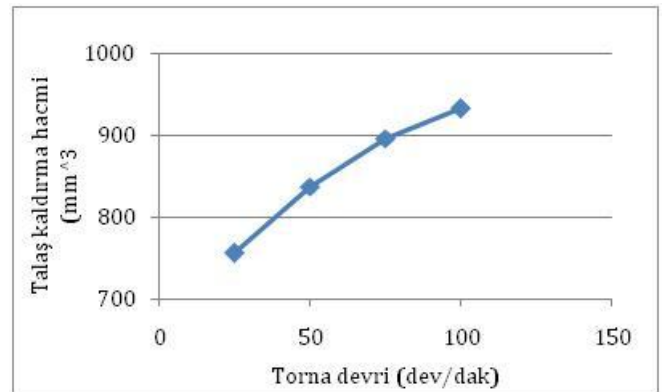


Şekil 5. Nozul ilerleme miktarının kaldırılan talaş hacmine etkisi.

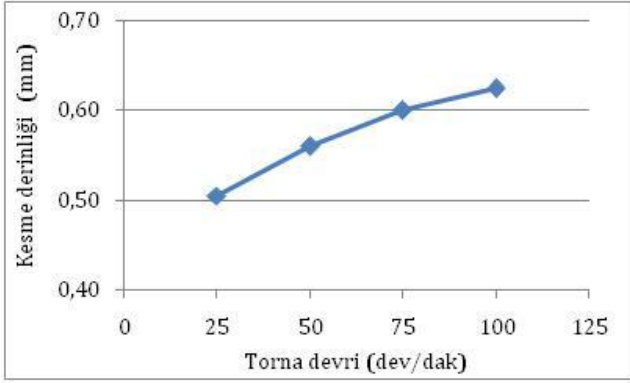


Şekil 6. Nozul ilerleme miktarının kesme derinliğine etkisi.

Torna aynası devri arttıkça iş parçasından kaldırılan talaş hacmi (Şekil 7) ve kesme derinliği miktarlarında (Şekil 8) artış tespit edilmiştir. En yüksek talaş hacmi (1387,25 mm³) ve kesme derinliği (0,94 mm) 100 rpm torna aynası devrinde elde edilmiştir. Torna aynası devrinin artışına bağlı olarak talaş hacmi oranı ve kesme derinliğinin artmasının nedeni, birim yüzeye temas eden aşındırıcı jetin birim zamanda yüzeye temas süresinin artmasına bağlanabilir. Aşındırıcı jetin birim zamanda iş parçası yüzeyine temas süresinin artmasının sonucu olarak erozyon süresi azalmıştır ve böylelikle yüksek torna aynası devrinde düşük devire göre daha çok talaş kaldırılmıştır. Elde edilen bulgular literatür ile örtüşmektedir [27, 28, 30].

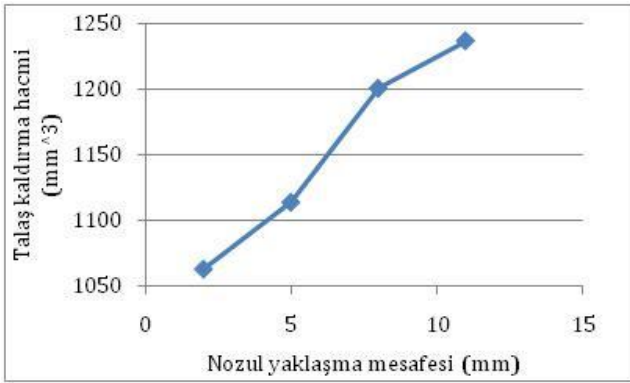


Şekil 7. Torna aynası devrinin kaldırılan talaş hacmine etkisi.

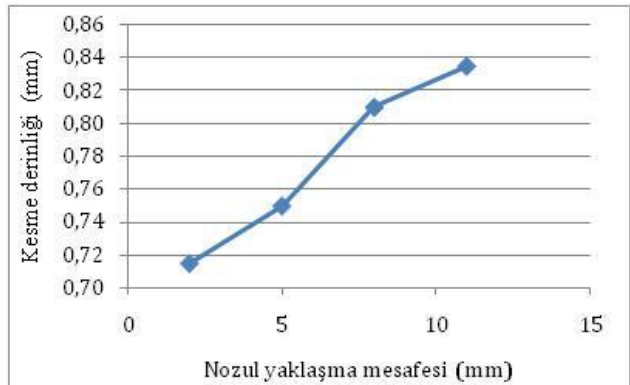


Şekil 8. Torna aynası devrinin kesme derinliğine etkisi.

AISI 1040 çeliğinin, dört farklı nozul yaklaşma mesafesinde işlenmesiyle elde edilen talaş kaldırma hacim oranları Şekil 9'da kesme derinliği miktarları ise Şekil 10'da verilmiştir. Şekil 9 ve Şekil 10 incelendiğinde aşındırıcı su jeti ile tornalama işleminde nozul yaklaşma mesafesinin artışı kaldırılan talaş hacmini ve kesme derinliğini arttırmıştır. Fakat talaş kaldırma bölgesinde iş parçasının bitmiş yanıl kenarlarında geometrik bozulmalar ve pah oluşumu gözlemlenmiştir. Nozul yaklaşma mesafesinin artışına bağlı olarak yanıl kenarlarda geometrik bozulmaların nedeni; nozuldan çıkan aşındırıcı jetin 7°'lik açı ile kemse işlemi yapmasına bağlanabilir. Aşındırıcı jetin 7°'lik açı ile talaş kaldırması aşındırıcı jetin daha geniş bir etki alanı oluşturarak nozulun ilerleme yönünde erozyon oluşturmaya neden olmuştur. Elde edilen bulgular literatür ile benzerlik göstermektedir [27, 28, 30].

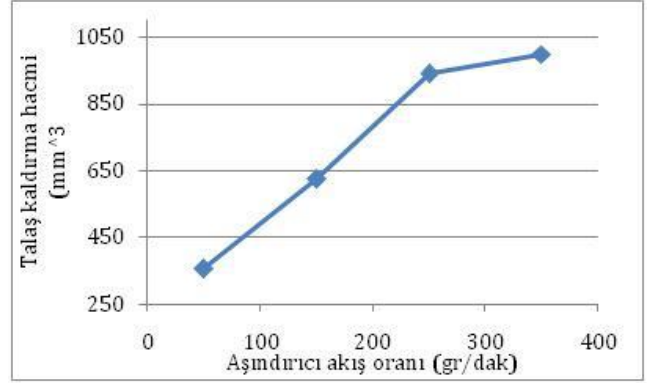


Şekil 9. Nozul yaklaşma mesafesinin kaldırılan talaş hacmine etkisi.

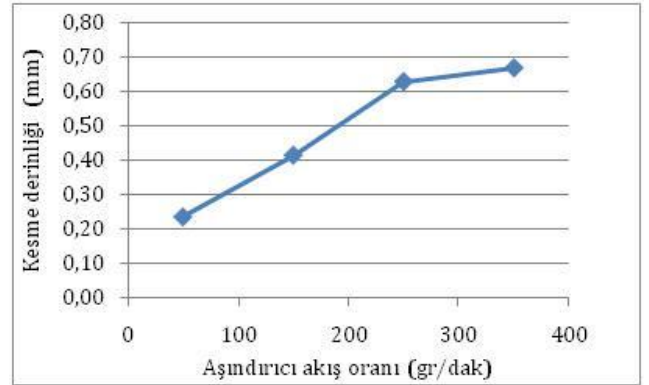


Şekil 10. Nozul yaklaşma mesafesinin kesme derinliğine etkisi.

Deney numunesinin dört farklı aşındırıcı akış oranlarında, işlenmesinde, aşındırıcı akış oranıyla kaldırılan talaş hacmi ve kesme arasındaki ilişkiyi gösteren grafik Şekil 11 ve Şekil 12'de gösterilmiştir. Aşındırıcı akış oranındaki artışa bağlı olarak kaldırılan talaş hacmi oranında (Şekil 11) ve kesme derinliği miktarında (Şekil 12) artış tespit edilmiştir. Talaş hacmi ve kesme derinliğinin artması nedeni, aşındırıcı su jetinin içinde bulunan aşındırıcı partiküllerin iş parçasına yüksek hızda çarpması ile erozyon oluşturmaya ve bu aşındırıcı partiküllerin su jeti içinde bulunma yüzdesi ve yoğunluğuna bağlı olarak kadar talaş kaldırma oranını arttırmaktadır. Elde edilen sonuçlar literatür ile örtüşmektedir [27, 28, 30].



Şekil 11. Aşındırıcı akış oranının kaldırılan talaş hacmine etkisi.



Şekil 12. Aşındırıcı akış oranının kesme derinliğine etkisi.

4 Sonuçlar

Denenen sınırlar içerisinde deneme bulgularına göre elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- Aşındırıcı su jetiyle tornalamada talaş kaldırma hacmi ve kesme derinliği etki olarak devir sayısı, nozul ilerleme miktarı, aşındırıcı akış oranı ve nozul yaklaşma mesafesi etkili olduğu görülmüştür,
- Torna aynası devir sayısı arttıkça kaldırılan talaş hacmi miktarı artmıştır,
- Nozul ilerleme miktarı arttıkça kaldırılan talaş hacmi ve kesme derinliği artmıştır,
- Aşındırıcı akış oranı arttıkça talaş hacmi ve kesme derinliği artmıştır,
- Nozul yaklaşma mesafesi arttıkça talaş hacmi ve kesme derinliği artmıştır.

5 Teşekkür

Bu çalışma kapsamında kullanılan malzemeler ve deney düzeneği kurulumu Kastamonu Üniversitesi BAP Proje No KÜBAP-04/2012-01 ile yapılmıştır. Yazarlar desteğinden ötürü Kastamonu Üniversitesi, BAP projesi koordinatörlüğüne teşekkür eder.

6 Kaynaklar

- [1] Hashish, M., "Optimization Factors in Abrasive Waterjet Machining", Journal of Engineering for Industry, 113, 29-37, 1991.
- [2] Zeng, J., Kim, T. J., "Development of an Abrasive Waterjet Kerf Cutting Model for Brittle Materials", Proceedings of 11th Int. Conference on Jet Cutting Technology, 43-47, 1992.
- [3] Franz, N. C., "Fluid Additives for Improving High Velocity Jet Cutting", First International Symposium on Jet Cutting Technology, 1972.
- [4] Walstad, O. M., Noecker, P. W., "Development of High Pressure Pumps and Associated Equipment for Fluid Jet Cutting", First International Symposium on Jet Cutting Technology, 1972.
- [5] Davim, J. P., Reis, P. and Antonio, C. C., "Drilling fiber reinforced plastics manufactured by hand lay-up: influence of matrix", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 155-156, pp. 1828-1833, 2004.
- [6] Davim, J. P., Rubio, J. C. and Abrao, A. M., "A novel approach based on digital image analysis to evaluate the delamination factor after drilling composite laminates", Composites Science and Technology, Vol. 67, pp. 1939-1945, 2007.
- [7] Kovacevic, R., Hashish, M., Mohan, R., Ramulu, M., Kim, T. J., Geskin, E. S., "State of the art of research and development in abrasive waterjet machining", J Manuf. Sci Eng, 119, pp. 776-785, 1997.
- [8] Aklint, T. et al., "Abrasive waterjet cutting for micro manufacturing", 7th International Conference on Multi-Material Micro Manufacture, 2010.
- [9] Miller, D. S., "Micro machining with abrasive waterjets", Journal of Materials Processing Technology, 149, 37-42, 2004.
- [10] Paul, S., Hoogstrate, A.M., van Luttermvelt, C.A., Kals H. J. J., "Analytical and experimental modeling of the abrasive water jet cutting of ductile materials", Journal of Materials Processing Technology, 73, pp. 189-199, 1998.
- [11] Kong, C., Axinte, D., "Response of Ti Aluminide alloy to abrasive waterjet cutting: geometrical accuracy and surface integrity issues vs. process parameters", Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture, 223: 19-42, 2009.
- [12] Hashish, M., "Optimization Factors in Abrasive Waterjet Machining", Journal of Engineering for Industry, 113, 29-37, 1991.
- [13] Wang, J., "A machinability study of polymer matrix composites using abrasive waterjet cutting technology", J Mater Process Technol., pp. 30-35, 1999.
- [14] Hoogstrate, A., van Luttermvelt, C. A., "Opportunities in abrasive water-jet machining", CIRP Annals, 46/2: 697-714, 1997.
- [15] Hashish, M., Steele, D. E., Bothell, D. H., "Machining with super-pressure (690 MPa) waterjets", International Journal of Machine Tools and Manufacture, 37/4, 465-479 1997.
- [16] Hoogstrate, A, Susuzlu, T, Karpuschewski, B., "High performance cutting with abrasive waterjets beyond 400 MPa", CIRP Annals, 55, 339-342, 2006.
- [17] Kong, M.C., Axinte, D.A., Voice, W., "Aspects of material removal mechanism in plain waterjet milling on gamma titanium aluminide", Journal of Materials Processing Technology, 210, 573-584, 2010.
- [18] Kong, M.C., Axinte, D., Voice, W., "An innovative method to perform maskless plain water jet milling for pocket generation: a case study in Ti-based super alloys", International Journal of Machine Tools and Manufacture, 51/7-8, 642-648, 2011.
- [19] Fan et al., J.M. Fan, C.M. Fan, J., Wang "Modeling the material removal rate in micro abrasive water jet machining of glasses" Advanced Materials Research, 135, pp. 370-375, 2010.
- [20] Akkurt, A., et al. "Effect of feed rate on surface roughness in abrasive waterjet cutting applications", Journal of Materials Processing Technology, 147 389-396, 2004.
- [21] Fan, J.M., Wang, C.Y., Wang, J., "Development of Micro Abrasive Jet Machining Technology" Diamond and Abrasives Engineering, 145, pp. 25-30, 2005.
- [22] Hashish, M., "Turning, milling, and drilling with abrasive-waterjets" Proc. 9th Int. Symp. on Jet Cutting Technology, 1988.
- [23] El-Hofyand H., Youssef, H., "Environmental Hazards of Nontraditional Machining", Proceedings of the 4th International Conference on Energy& Environment, 474-055-2009.
- [24] Momber, A.W. and Kovacevic, R., "Principles of Abrasive Water Jet Machining", Springer Verlag Ltd, London, 1998.
- [25] Hashish, M., Whalen, J., "Precision drilling of ceramic coated components with abrasive water jets", J. Eng. Gas Turbine Power, (115), pp. 148-154, 1993.
- [26] Palleda, M., "A study of taper angles and material removal rates of drilled holes in the abrasive water jet machining process", Journal of Materials Processing Technology, Volume 189, Issues 1-3, 6, pp. 292-295, 2007.
- [27] Manu, R., Babu, N. R., "An erosion-based model for abrasive waterjet turning of ductile materials", Wear (266), 1091-1097, 2009.
- [28] Ansari, A.I. and Hashish, M., "Effect of abrasive waterjet parameters on volume removal trends in turning", ASME Journal of Engineering for Industry, Vol. 117, pp. 475-484, 1995.
- [29] Kartal, F., Gökkaya, H., "Aşındırıcı Su Jeti ile Tornalama Deney Düzeneği Tasarımı", International Iron& Steel Symposium, Karabük, Türkiye, 2012.
- [30] Kartal, F., Gökkaya, H., Nalbant, M., "Turning of (Cu-Cr-Zr) alloy with abrasive water jet", 21st International Conference on Water Jetting, Ottawa, Canada, 2012.