

HADFIELD ÇELİĞİNE ELEKTRO EROZYON İLE İŞLEME YÖNTEMİYLE MİKRO DERİN DELİKLERİN DELİNMESİNDE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN İNCELENMESİ

*¹Volkan Yılmaz, ¹Hakan Dilipak, ²Mustafa Özdemir ve ¹Gültekin Uzun

¹Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, İmalat Müh. Bölümü, ANKARA, Türkiye

²Bozok Üniversitesi Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, YOZGAT, Türkiye

ÖZET

Bu çalışmada, deformasyon sertleşmesi nedeni ile klasik imalat yöntemleriyle işlenmesi zor olan Hadfield çeliği kullanılmıştır. Elektro erozyon yöntemi kullanılarak, derin mikro deliklerin delinmesi esnasında işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri araştırılmıştır. Bu kapsamda, farklı işleme parametreleri altında deneyler yapılmıştır. Deneyler sonrasında elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin işleme parametrelerine göre değişimi değerlendirilmiştir. Boşalım akımının artması ile yüzey pürüzlülük değerleri artmıştır. Dielektrik püskürtme basıncı ve elektrot takım devir sayısının artması ile yüzey pürüzlülük değerlerinin azalma eğilimine girdiği tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: EEİ derin mikro delik delme, hızlı delik delme, yüzey pürüzlülüğü

EXAMINING THE SURFACE ROUGHNESS WHILE DRILLING MICRO-SIZE DEEP HOLES WITH ELECTRO DISCHARGE TECHNIQUE ON HADFIELD STEEL

ABSTRACT

In the study, which is difficult to process with conventional manufacturing methods Hadfield steel were used. Using electrical discharge machining, of the machining parameters during deep hole drilling of micro have examined the effects surface roughness. In this regard, under different processing parameters were carried out experiments. After experiments, according to processing parameters of the surface roughness resulting was evaluated by the change. With discharge current increasing were increased surface roughness values. With the increase of dielectric spray pressure and electrode rotational speeding were determined tends to decreasing the surface roughness values.

Keywords; EDM Deep micro hole drilling, Fast hole drilling, Surface roughness

1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji ile birlikte, imalat sanayinde kullanılan malzemelerde de çeşitlilik artmakta ve artan bu çeşitliliğe paralel olarak da, bu malzemelerde aranılan yüksek sıcaklık dayanımı, mukavemet, sertlik ve karmaşık geometri gibi özellikler de bu malzemelerin klasik talaşlı imalat yöntemleri ile işlenebilirliğini zor hale getirmekte ve yeni imalat yöntemlerinin kullanımını zorunlu kılmaktadır. Yeni imal yöntemleri arasında en fazla tercih edilenlerden

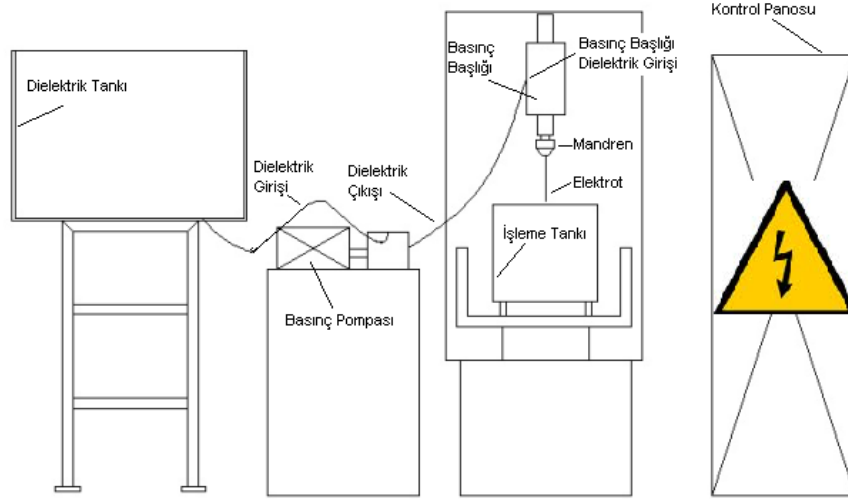
*Corresponding author: Address: Faculty of Tecnology, Department of Manufacturing Engineering, Gazi University, 06200, Ankara/ TURKEY. E-mail address: volkan@gazi.edu.tr, Phone: +90 312 202 86 77 Fax: +90 312 212 00 59

bir tanesi de elektro erozyon ile işleme (EEİ) yöntemidir. Özellikle çok sert malzemelerin ve karmaşık geometrilerin kolaylıkla işlenebilmesi bu yöntemi en fazla tercih edilen alışılmamış imalat yöntemlerinden birisi yapmıştır. EEİ yöntemi enerjinin belli bir alana odaklanarak o bölgede ergime ve buharlaşma yardımı ile iş parçasından o alanın koparılması esasına dayanır. Kullanılan bu yeni yöntemde iş parçası ile elektrot takım arasında doğrudan fiziksel bir temas olmaması nedeni ile birçok avantaj sağlanmaktadır [1]. Bu yöntem delik delme uygulamaları için de iyi performans vermektedir [2-4]. EEİ özellikle küçük parçalar, mikro bileşenler ve mikro takımların üretimi için önemli bir işlem olmuştur ve mikro EEİ sayesinde iyi yüzey kalitesi ve yüksek tamlık elde edilmektedir [5]. Bu yöntemde genellikle boru tip takım elektrotlar kullanılmaktadır ve silindirik takıma yörüngesel hareket verilerek numunelere delikler delinebilmekte ve dönme hareketi verilmeyen takımla yapılan işlemlere göre daha düzgün delik geometrileri ile delik yüzeylerinde düşük pürüzlülük değerleri elde edilmektedir [6]. Elektrotun dönme hareketi ile dalma işleminin daha kolay gerçekleştiği ve bu dalma hareketi ile birlikte yüzey pürüzlülüğü değerlerinin de iyileştiği belirtilmektedir [7]. EEİ yöntemi ile delik delme uygulamalarında farklı elektrot takımları ile de delik delme işlemi yapılmaktadır ve kutuplama durumlarının değiştirilmesiyle delik yüzey pürüzlülüğü değerleri düşürülebilmektedir [8]. EEİ yöntemiyle delik delme uygulamaları esnasında sisteme ilave edilen ekipmanlar sayesinde de performans çıktılarının iyileştiği ve bu duruma paralel olarak yüzey kalitesinde de önemli miktarda iyileşmeler sağlandığı belirtilmektedir [9]. Taşlama ile etkileşimli hale getirilen EEİ uygulamalarında da (HFDG (high-frequency dither grinding (yüksek frekanslı titreşimle taşlama)) deliklerin yüzey pürüzlülüğü değerlerinde önemli miktarlarda iyileşmeler sağlanmaktadır [10]. Ayrıca EEİ sistemleri ile delik delme performansının iyileştirilmesi için sistem diğer yöntemlerle hibrit hale getirilmekte ve böylelikle delik delme süreleri ve delik kalitesi konusunda önemli miktarlarda iyileşmeler sağlanmaktadır [11].

Yapılan bu çalışmanın amacı; deformasyon sertleşmesine bağlı olarak klasik talaş kaldırma yöntemleri ile işlenmesi zor olan Hadfield çeliğinin, kurulan EEİ delik delme sistemi ile delinmesinde elde edilen mikro deliklerin yüzey pürüzlülüğü değerlerinin işleme parametrelerine bağlı olarak değişiminin incelenmesidir. Bu kapsamda yapılan deneylerde 3 farklı boşalım akımı (6, 12 ve 24 A), 3 farklı elektrot takım devir sayısı (200, 400 ve 600 dev/dak), 3 farklı dielektrik püskürtme basıncı (40, 80 ve 120 P) değişken parametreler olarak alınmış, vuruş süresi (12 μ s) ve vuruş aralığı (3 μ s) sabit tutulmuştur.

2. MATERYAL VE METOT

Deneylerde kullanılan sistemin şematik görünümü Şekil 1’de sunulmuştur.



Şekil 1. Deney düzeneği

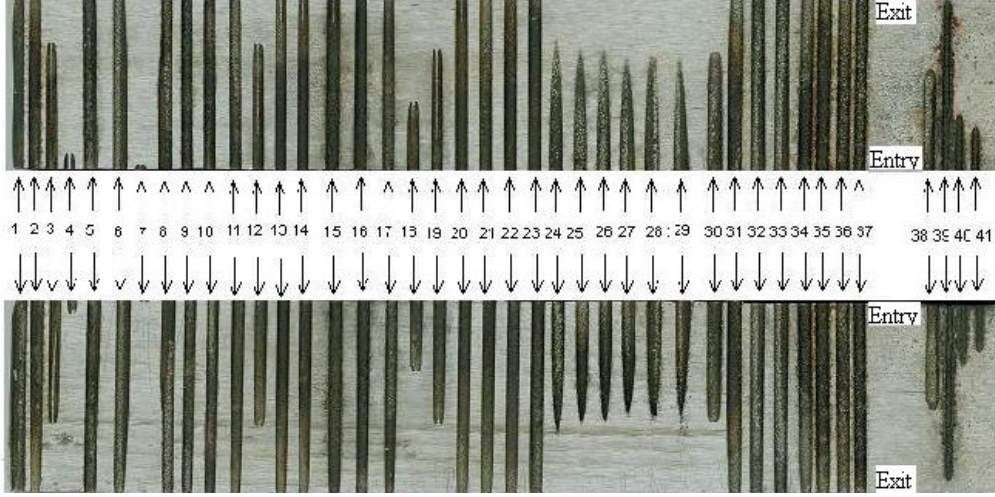
Deneylerde elektrot takım olarak boyu 400 mm, iç çapı 0,18 mm ve dış çapı 0,8 mm olan pirinç elektrotlar, deney numunesi olarak ise Hadfield çeliği kullanılmıştır. Deney numuneleri 10x20x200 mm ebatlarında hazırlanmıştır. Hadfield malzemesinin kimyasal bileşimi Çizelge 1’de, deneylerde kullanılan elektrot ile işparçasının sabitlenmiş hali Resim 1 ve Resim 2’de sunulmuştur. Deneyler sonrasında elde edilen deliklerin yüzey pürüzlülük değerleri Mitutoyo SJ 210 yüzey pürüzlülük ölçme cihazı ile ölçülmüştür.

Çizelge 1. Hadfield çeliği iş parçası malzemesinin kimyasal bileşimi

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
1,08	0,621	13,6	0,0152	0,0004	0,721	0,263
Ni	Al	Co	Cu	V	Fe	
0,286	0,00391	0,0229	0,183	0,0003	83,2	

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada EEİ yöntemiyle üç farklı boşalım akımı (6, 12 ve 24 A), üç farklı elektrot takım devir sayısı (200, 400 ve 600 dev/dak), 3 farklı dielektrik sıvı püskürtme basıncı (40, 80 ve 120 P), sabit vuruş süresi (12 μ s) ve sabit bekleme süresi (3 μ s) altında deneyler yapılmış ve işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri incelenmiştir. Deneyler sonrasında elde edilen örnek delik görünümleri Resim 3’de, deney sonuçları ise Çizelge 2’de sunulmuştur. Deney sonuçlarının daha kolay ve karşılaştırmalı olarak tartışılabilmesi için sonuçlar grafiksel olarak ifade edilmiştir.



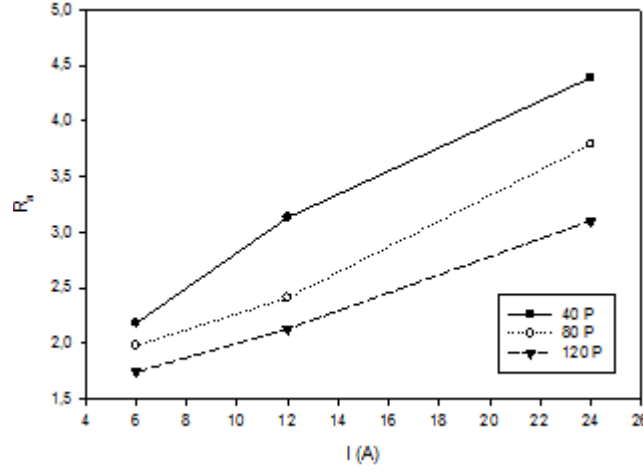
Resim 3. Deneyler sonrasında elde edilen delik görünümleri

Çizelge 2. Deney sonuçları

Deney no	Vurum aralığı	Vurum süresi	Boşalım akım	Püskürtme basıncı	Devir sayısı	Yüzey pürüzlülüğü
1	3	12	6	40	200	2,183
2					400	2,06
3					600	1,95
4				80	200	1,98
5					400	1,875
6					600	1,707
7			120	200	1,743	
8				400	1,7295	
9				600	1,695	
10			12	40	200	3,134
11					400	2,983
12					600	2,773
13				80	200	2,412
14					400	2,058
15					600	1,987
16			24	120	200	2,133
17					400	2,105
18					600	1,778
19				40	200	4,39
20					400	4,12
21					600	3,362
22			80	200	3,79	
23				400	3,18	
24				600	2,78	
25			120	200	3,104	
26				400	2,73	
27				600	2,24	

Hadfield çeliği genellikle hafriyat araçlarında, tren rayı makaslarında, hapishane parmaklıklarında yani aşınmaya karşı yüksek direnç gerektiren yerlerde kullanılmaktadır. Hadfield çeliği su verilmiş halde 220 HB sertliğe sahip olmasına rağmen, deformasyon sertleşmesi nedeni ile deformasyon esnasında yaklaşık 500 HB sertliğe sahip olmaktadır ve dolayısı ile klasik talaşlı imalat yöntemleri ile işlenmesi zorlaşmaktadır. EEİ yönteminde kullanılan malzemenin mekanik özelliklerinin bir önemi yoktur ve malzemenin işlenebilirliği ısıl ve elektriksel özelliklerine bağlıdır [1]. Yapılan deneysel çalışmada bu duruma paralel bir sonuç elde edilmiştir ve Hadfield çeliği malzemeler EEİ yöntemi ile rahatlıkla delinmiştir. Deneyler sonrasında elde edilen yüzey pürüzlülüğü değeri (R_a) imalat işlemleri arasında

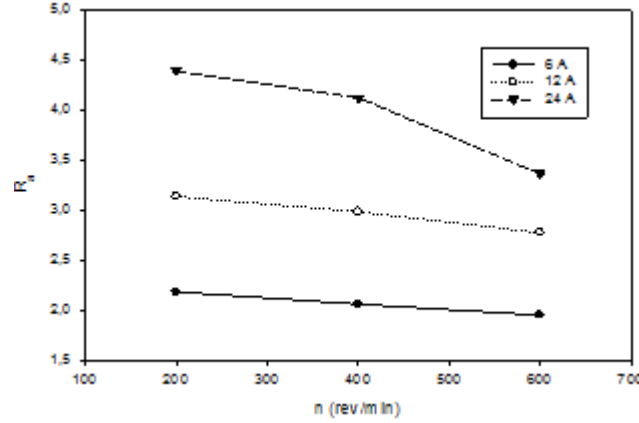
önemli bir çıktı parametresidir ve genellikle bu değerin düşük olması beklenmektedir. Deneyle elde edilen R_a -I değişimi Şekil 2’de sunulmuştur.



Şekil 2. Boşalım akımı-Yüzey pürüzlülüğü ilişkisi

Yapılan deneylerde uygulanan I değerlerinin artması ile tüm deneylerde istisnasız R_a olarak değerleri de artmıştır. Bu durumun nedeni boşalım akımının artması ile artan vurum enerjisidir. Artan vurum enerjisi ile oluşan kıvılcıklar, daha geniş ve daha derin kraterler oluşturmuş ve bu derin ve geniş kraterler işparçası yüzey pürüzlülüğü değerlerinin artmasına neden olmuştur. 40 bar dielektrik sıvı basıncı ve 200 dev/dak elektrot takım devir sayısı sabit deneylerde boşalım akımının 12 A olması ile yüzey pürüzlülüğü değerleri yaklaşık %43, boşalım akımı değerinin 24 A olması ile de yüzey pürüzlülüğü değerleri %40 artmıştır. Bu artış elektrot takım devir sayısının 400 dev/dak olması durumunda %44 ve %38 olmuştur. Yine benzer şekilde elektrot devir sayısının 600 dev/dak olması ile yüzey pürüzlülüğü değerleri de %42 ve %21 artış göstermiştir. EEİ yönteminin çalışma prensibi gereği oluşan yüzeylerin kratersi yapıda olduğu bilinmektedir ve bu nedenle krater büyüklükleri ve dolayısıyla yüzey pürüzlülüğü değeri boşalım akımı değerleri ile doğrudan ilişkilidir. Bu ilişki değerlendirilecek olursa; oluşmuş bir kraterin en yüksek noktası ile en düşük noktası arasında kalan kısım, o kraterin derinliği olarak düşünüldüğünde, boşalım akımının artırılması bu derinlik değerini arttırmakta ve bu durumun neticesinde yüzey pürüzlülüğü olumsuz etkilenmektedir [12-15]. Dolayısı ile boşalım akımı şiddeti arttığında her bir kıvılcım iş parçası malzemesi üzerinden daha büyük bir krateri boşaltmakta yani yüzey pürüzlülüğü değerini arttırmaktadır.

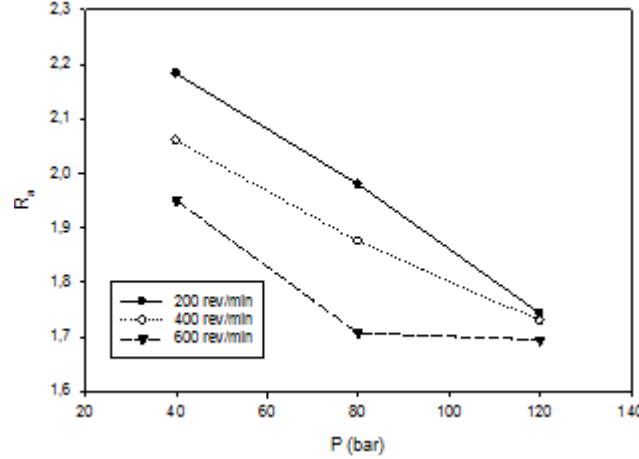
EEİ tezgâhına monte edilen basınç başlığı sayesinde elektrot takıma istenilen devir sayılarında dönme yeteneğinin kazandırıldığı bu çalışmada; uygulanan 3 farklı (200 dev/dak, 400 dev/dak, 600 dev/dak) elektrot takım devir sayısı sayesinde elektrot takım devir sayısının yüzey pürüzlülüğü üzerinde olumlu bir etki yaptığı tespit edilmiştir. Yapılan deneylerde elde edilen yüzey pürüzlülüğü ve elektrot takım devir sayısı arasındaki ilişki Şekil 4’te sunulmuştur.



Şekil 3. Elektrot takım devir sayısı-Yüzey pürüzlülüğü ilişkisi

Elektrot takım devir sayılarının artışıyla yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerleri azalmıştır. Bu durum takımın dönme hızına bağlı olarak kıvılcımın işparçası yüzeyine çarpma kuvveti nedeniyle oluşmaktadır. Yani elektrot takımın yüksek devirlerde dönmesi ile kıvılcımın işparçası yüzeyine çarpma şiddeti azalmakta ve her bir kıvılcım iş parçasından daha küçük bir alanı koparmaktadır. Çünkü statik dönmesiz işlemlerde her bir kıvılcım boşalım enerjisi şiddeti kadar çarpma kuvvetiyle işparçasına etki etmektedir. Ancak dönme hareketi ile birlikte kıvılcımın elektrot takımdan çıktığı nokta ve işparçası yüzeyine boşaldığı nokta sabit takım ile (dönme hareketi olmayan) işlemlerde olduğu gibi yüz yüze gelmemektedir. Bu durum literatürde “impactforce” olarak isimlendirilen nedenle, kıvılcımın çarpma kuvveti şiddetini azaltmaktadır [16-19]. Yapılan deneylerde dielektrik sıvı basıncının 40 bar sabit olması durumunda, 6 A’lik boşalım akımı değerlerinde elektrot takım devir sayısının 200 dev/dak değerinden 400 dev/dak değerine ulaşılması ile yüzey pürüzlülüğü değerleri %6 ve elektrot takım devir sayısının 600 dev/dak olması ile de yüzey pürüzlülüğü değerleri %6 azalmıştır. 12 A ve 24 A boşalım akımı değerlerinde de bu duruma benzer sonuçlar elde edilmiştir ve yüzey pürüzlülüğü değerleri sırasıyla %5 ve %8 ile %7 ve %19 azalmıştır. Dolayısı ile elektrot takımın devir sayısı arttıkça yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerleri azalmaktadır. Sonuç olarak yapılan deneysel çalışmalarda devir sayısının yüzey pürüzlülüğü üzerinde olumlu bir etkisi olduğu gözlenmiştir.

Deneylerde uygulanan üç farklı dielektrik püskürtme basıncı (P) ile elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri (R_a) arasındaki ilişki Şekil 4’de sunulmuştur.



Şekil 4. Dielektrik püskürtme basıncı-Yüzey pürüzlülüğü ilişkisi

Dielektrik sıvı basınçlarının artmasıyla yüzey pürüzlülüğü değerleri azalış eğilimine girmiştir. Çünkü etkin bir şekilde yapılan yıkama ile işleme bölgesi daha hızlı temizlenmiş ve böylelikle istenmeyen, rastgele kıvılcım boşalımının önüne geçilmiştir. Böylelikle yapılan deneylerde, artan dielektrik püskürtme basınçlarının yüzey pürüzlülüğü değerlerini azalttığı tespit edilmiştir. 6 A boşalım akımı ve 200 dev/dak elektrot takım devir sayısı sabit deneylerde dielektrik püskürtme basıncının 40 bardan 80 bara yükselmesi ile yüzey pürüzlülüğü değerleri %10 ve püskürtme basıncının 80 bardan 120 bara yükselmesi ile de yüzey pürüzlülüğü değerleri %13 azalmıştır. Yine 200 dev/dak elektrot takım devir sayısı sabit 12 A ve 24 A boşalım akımı deneylerinde de benzer bir durum söz konusudur ve yüzey pürüzlülük değerleri sırasıyla %24 ve %12 ile %14 ve %19 azalmıştır. Yıkama, dielektrik sıvının elektrot ve iş parçası arasındaki doğru dolaşımıdır. Elektro erozyonla delik delmede, yıkama çok önemli bir faktördür. EEİ işlemlerinde yanıl, elektrot içinden püskürtme, elektrot içinden emme, statik vb. olmak üzere çeşitli yıkama yöntemleri mevcuttur. Bu yöntemler işleme bölgesini rahatlatmak ve işlenen atıkları işleme bölgesinden daha rahat uzaklaştırmak için geliştirilmiştir. Yetersiz yıkama, işleme hızında düşmeye ve işlenen yüzeyde kötü yüzey pürüzlülüğüne neden olmaktadır. EEİ ile delik delme işlemlerinde en yüksek verimi alabilmek için bazı yıkama şartlarının yerine getirilmesi gereklidir [19-21]. Deneysel sonuçlar göz önüne alındığında, dönme devir sayısı ve dielektrik sıvı püskürtme basıncı işleme bölgesinin etkin olarak yıkanması için oldukça katkı sağlamıştır. Bunun en temel sebebi takımın dönüşüyle birlikte o bölgedeki akışkan dielektrik sıvının daha hızlı hareket etmesindedir. Bu hızlı hareket ile dielektrik sıvı, elektrot takım ile iş parçası malzemesi arasındaki yanıl boşluklardan daha hızlı uzaklaşmakta ve delik delme işlemi kesintisiz olarak devam etmektedir. Yıkama yapılmaksızın elektro erozyon işlemi yapılması halinde, kıvılcım aralığında başlangıçta sıvı temizdir ve erozyonla koparılmış parçacıklar, işleme sıvısının iyonlaşması ile kırılması sonucu oluşmuş karbon atıkları yoktur. Temiz sıvının yalıtma direnci parçacıklar ve iyonlar içeren sıvınıninkine göre daha yüksektir. Bu nedenle ilk birkaç kıvılcımın oluşması sırasında gecikme süresi çok uzun olacaktır. İlk kıvılcımlar sonucunda oluşan parçacıklar ve iyonlar dielektrik kuvvetini azaltarak yeni kıvılcımların oluşmasını kolaylaştıracaklardır. Kıvılcım aralığında bazı noktalarda işleme ürünlerinin yoğunluğunun çok artması halinde iletken köprüler oluşur. Bu iletken köprüler anormal ve rastgele dağıntık kıvılcımların oluşmasına sebep olur. Bu tip kıvılcımlar ark oluşturarak elektrot ve iş parçasında istenilmeyen boşalım meydana getireceği için tahribata yol açabilmektedirler. Etkin bir şekilde sağlanan dielektrik sıvı sirkülasyonu ile işleme ürünlerinin işleme bölgesinde birikmesi önlenmiştir [13, 14, 20-25]. Deneylerde elde edilen verilere göre, dielektrik sıvı basınçlarının artması ile erozyon işlemi kesintisiz devam etmiş, rastgele kıvılcımların önüne geçilmiş ve işleme esnasında kopan parçacıkların daha hızlı bir şekilde işleme ortamından uzaklaştırılması sağlanarak yüzey pürüzlülüğü değerlerinde iyileşmelerin sağlandığı tespit edilmiştir.

4. Sonuç

Bu çalışmada deformasyon sertleşmesi nedeni ile klasik talaş kaldırma yöntemleriyle işlenmesi güç olan Hadfield çeliğine mikro derin deliklerin delinmesi için yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntem ile farklı işleme parametreleri altında mikro derin delik delme çalışmaları esnasında işleme parametrelerine bağlı olarak değişen yüzey pürüzlülük değerleri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

Geliştirilen yöntem sayesinde 0.8 mm çapında ve 20 mm boyunda mikro delikler işleme parametrelerine bağlı olarak 8-30 dak arasında delinmiştir. Mikro derin delik delme işlemleri

esnasında en etkili işleme parametresinin boşalım akımı olduğu tespit edilmiştir. Boşalım akımı değerlerinin artması ile yüzey pürüzlülük değerleri de artmıştır. Deneylede uygulanan farklı elektrot takım devir sayısı ve farklı dielektrik sıvı püskürtme basıncı değerleri sayesinde artan elektrot takım devir sayısı ve dielektrik püskürtme basınçları ile yüzey pürüzlülüğü değerlerinin iyileştiği tespit edilmiştir. Sonuç olarak yapılan deneysel çalışma ile; mikro derin delik delme uygulamalarında düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri için boşalım akımı değerlerinin düşük aralıklarda, elektrot takım devir sayısı ve dielektrik püskürtme basıncı değerlerinin ise yüksek değerlerde seçilmesinin uygun olacağı tespit edilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde katkılarından dolayı **BAP 41/2012-08** nolu proje ile Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

1. Yılmaz, V., “Experimental Investigation Of Drillability Of Micro Holes Using Electro Discharge Machining”, Ph. D. Thesis., *Gazi University Graduate School Of Naturel And Applied Sciences*, Ankara (2013).
2. Leao, F. N., “Optimisation of EDM fast holedrilling through evaluation of dielectric and electrode materials”, Proceedings of COBEM 2005, *18th International Congress of Mechanical Engineering*, November 6-11, Ouro Preto, MG, (2005).
3. Kuppan, P., Rajadurai, A., Narayanan, S., “Influence of EDM process parameters in deep hole drilling of Inconel 718”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2008;38/1-2;74-84.
4. Asokan, T., Reddy, S. S., Costa, P. D. E., “Electrical discharge drilling of titanium alloys for aerospace applications”, *Proceedings of 19th AIMTDR conference, IIT Madras, Chennai*; E-Publishing Inc; 2000, p. 161-165.
5. D.T. Pham., S.S. Dimov., S. Bigot., A. Ivanov, K. Popov., “Micro-EDM—recent developments and research issues”, *Journal of Materials Processing Technology*, 2004;149:50–57.
6. Bamberg, E., Heamawatanachai, S., “Orbital electrode actuation to improve efficiency of drilling micro-holes by micro-EDM”, *Journal of Materials Processing Technology*, 2009;209;1826–1834.
7. Egashira, K., Tanuguchi, T., Hanajima, S., Tsuchiya, H., Miyazaki, M., “Plenary EDM of Micro Holes”, *Kyoto Institute of Technology*, Sakyo, Kyoto, Japan, 2005;606;8585.
8. S. Bigot, J. Valentin, O. Blatnik, M. Junkar, “Micro EDM parameters optimisation”, *Multi-Material Micro Manufacture*, 2006;195-198.
9. Endo, T., Tsujimoto, T., Mitsui, K., “Study of vibration-assisted micro-EDM—The effect of vibration on machining time and stability of discharge”, *Precision Engineering*, 2008;32;269–277.
10. Liu., H. S., Yan., B. H., Chen., C. L., Huang., F. Y., “Application of micro-EDM combined with high-frequency dither grinding to micro-hole machining”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 2006;46,80–87.
11. Lin Li., C. Diver., J. Atkinson, R., Giedl-Wagner., H. J. Helml., “Sequential Laser and EDM Micro-drilling for Next Generation Fuel Injection Nozzle Manufacture”, *Annals of the CIRP*, 2006;55;179-182.
12. Zilonga, P., Zhenlonga, W., Yinghuaia, D., Huia, C., “Development of a reversible machining method for fabrication of microstructures by using micro-EDM”, *Journal of Materials Processing Technology*, 2010;210;129–136.
13. Ergün, Z, E., Çoğun, C., “Elektro Erozyon İle İşleme (EEİ) İş Parçası Yüzey Karakteristiklerinin Deneysel İncelenmesi”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.* 2006; 21;427-441.
14. Özgedik, A., Çoğun, C., “Elektro-Erozyon İle İşlemede İşleme Haznesine Uygulanan Titreşimlerin İşleme Performansına Etkilerinin İncelenmesi”, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi* , 2011, p. 13-25.
15. Y.H. Guu., “AFM surface imaging of AISI D2 tool steel machined by the EDM process”, *Applied Surface Science*, 2005;242;245–250.
16. Chen, S.L., Yan, B.H., Huang, F.Y., “Influence of kerosene and distilled water as dielectrics on the electric discharge machining characteristics of Ti-6Al-4V”, *Journal of Materials Processing Technology*, 1999;87;107-111.
17. Wong, Y.S., Lim, L.C., Rahuman, I., Tee, W.M., “Near-mirror-finish phenomenon in EDM using powder-mixed dielectric”, *Journal of Materials Processing Technology*, 1998;79;30-40.
18. Bayramoğlu, M., “Dalma elektro erozyon tezgahları ve nümerik kontrol”, *Makine & Metal Teknolojisi*, Ankara, E-Publishing Inc; 1995, p. 157-160.
19. Masuzawa, T., Heuveiman, C.J., “A self flushing method with spark erosion machining”, *Annals of the CIRP*, 1983;32;109-111.
20. Benedict, G. F., “Nontraditional Manufacturing Processes”, *Marcel Dekker Inc.*, USA, 1987, p. 1-250.
21. McGeough, J. A., “Advanced Methods of Machining”, *Chapman and Hall Ltd.*, England, (1988).
22. Çoğun, C., Akaslan, Ş., “The effect of machining parameters on tool electrode wear and machining performance in electric discharge machining”, *KSME International Journal*, 2002;16 ;46-59.
23. Tzeng, Y. F., Lee, C. Y., “Effects of powder characteristics on electrodischarge machining efficiency”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2001;17;586-592.
24. Crookall, J. R., Fereday, R.J., “An experimental determination of the degeneration of electrode shape in EDM”, *Microtecnica*, 1973;17;97-99.
25. Jeswani, M. L., “Dimensional analysis of tool wear in electrical discharge machining”, *Wear*, 1979;55;153-161.