

ELEKTRO EROZYON İLE İŞLEMEDE ELEKTRİK İLETKEN OLMAYAN İŞ PARÇALARININ İŞLENMESİ İÇİN YÖNTEM GELİŞTİRİLMESİ

Gökhan KÜÇÜKTÜRK*
Dr., TUBİTAK Teknoloji ve Yenilik
Destek Programlar Başkanlığı
(TEYDEB), Ankara

Can ÇOĞUN
Prof. Dr., Makina Mühendisliği
Bölümü, Gazi Üniversitesi,
Maltepe 06531, Ankara
e-mail: cogun@gazi.edu.tr

ÖZET

Gerçekleştirilen çalışmada, elektro erozyon ile işleme (EDM) tezgahı ve buna bağlı yardımcı bir sistem kullanılarak elektriksel yalıtkan seramik iş parçalarının işlenebilmesi için bir yöntem geliştirilmiştir. İş parçasının işlenecek yüzeyleri iletken bir tabaka ile kaplanmış ve yardımcı sistem içerisinde dielektrik sıvı ve grafit tozu karışımı kullanılmıştır. Bu yöntem yardımıyla yalıtkan seramiklerden Al_2O_3 , ZrO_2 , Y_2O_3 katkılı ZrO_2 , SiC, TiO_2 ve cam malzemeler delinmiştir. Malzemelerin elektriksel ve ısıl iletkenliğinin, ergime sıcaklığının işleme hızına ve işleme derinliğine etkileri incelenmiştir. İşleme sonrası elde edilen yüzeylerin optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile fotoğrafları çekilmiş ve yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektro erozyon ile işleme, yalıtkan seramik, iletken tabaka, grafit tozu, işleme hızı

A Method For Machining of Electrically Nonconductive Workpieces Using Electric Discharge Machining Technique

ABSTRACT

In this study, a method for machining of insulating ceramic workpieces with an assisting system in EDM was developed. In this study, surfaces of workpieces were covered with an assisting electrode since workpieces were not electrically conductive, and graphite powder and dielectric fluid mixture was used in assisting system. Insulating ceramics, namely Al_2O_3 , ZrO_2 , Y_2O_3 additive ZrO_2 , SiC, TiO_2 and glass workpiece materials were machined by using the method. Effect of electrical conductivity, thermal conductivity and melting point of workpieces on performance outputs such as removal rate and machining depth were investigated. Optical and SEM (Scanning Electron Microscope) surface photographs of sample surfaces taken after machining were discussed.

Keywords : Electric discharge machining; nonconductive ceramic; conductive layer; graphite powder; material removal rate

* İletişim yazarı
Geliş/Received : 26.01.2009
Kabul/Accepted : 01.07.2009

GİRİŞ

Mühendislik seramikleri, üstün özelliklerinden dolayı (yüksek basma dayanımı, ısıl şok direnci, aşınma direnci, sertlik vb.) mühendislik alanlarında yoğun kullanıma sahiptir. Yalıtkan seramiklerin kesilmesi ve işlenmesi için elmas disk, ultrasonik işleme, aşındırıcılı jetle işleme, aşındırıcılı su jeti ile işleme, lazer ile işleme ve iyon ışını ile işleme yöntemleri, elektrik iletken seramiklerin işlenmesi için ise elektro erozyon ile işleme (EEİ) ve elektro kimyasal işleme (EKİ) yöntemleri kullanılmaktadır. Yalıtkan seramik malzemelerin işlenmesi için EEİ ve EKİ yöntemlerinin bir arada kullanıldığı hibrit bir yöntem üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Bu işleme yönteminin, düşük işleme hızı, sınırlı işleme derinliği ve yüzey kalitesi yetersizliği gibi kısıtlamaları mevcuttur [1]. Uygulanabilirlik açısından bakıldığında, geliştirilen bazı hibrit alışılmamış imalat yöntemleri endüstride henüz kullanılamamaktadır [2].

Bir malzemenin EDM metodu ile işlenebilmesi için yeterli elektriksel iletkenlik 100-300 Ω -cm arasındadır [3, 4]. Son yıllarda yalıtkan seramiklerin EEİ yöntemi ile işlenmesi üzerine Japonya'da bazı ön çalışmalar yapılmıştır. Mohri ve ark. [5] gerçekleştirdiği çalışmada, sialon (seramik)-nikel iş parçası işlenirken sialon (Si-Al-O-N) ve nikel ara yüzeyinin işlenmesi sırasında yalıtkan sialon tarafında da elektriksel boşalmaların oluşturduğu yanma izleri tespit edilmiştir. Mohri ve ark. [6], oksit seramiklerin (Al_2O_3 , ZrO_2 gibi) işleme performansını, silisyum bileşikli seramiklerle kıyaslamıştır. İletken bir malzemenin yalıtkan iş parçası yüzeyine yapıştırılarak yardımcı elektrot (YE) oluşturulması fikrinin doğmasıyla [5] kararlı işleme için çeşitli malzemelerin YE olarak kullanılması gündeme gelmiştir. Muttamara ve ark. [7], yalıtkan Si_3N_4 'ün mikro-işleminde elektrot ve YE malzemelerinin etkisini incelemiştir. YE olarak seçilen fırınlanmış karbon daha önce kullanılan TiN malzemesi ile karşılaştırılmıştır. Literatür çalışmalarının bazılarında takım elektrotun döndürülmesi sayesinde işleme performansının arttığı vurgulanmıştır [5-7].

EEİ yönteminde iletken iş parçalarının işlenmesinde toz karışımı dielektrik sıvı kullanılarak yapılmış çalışmalar mevcuttur. Özerkan ve Çoğun [8] SAE 1040 çeliği iş parçası ile yapılan çalışmada dielektrik sıvı içerisine katılan grafit ve H_3BO_3 tozlarının yüzey pürüzlülüğüne, iş parçası işleme hızına, elektrot aşınma hızına, mikro yapıya ve yüzey sertliğine etkilerini araştırmıştır. H_3BO_3 tozlarının yüzey sertliği dışında işleme hızı ve yüzey pürüzlülüğünde belirgin bir iyileştirme sağlamadığı görülmüştür. Grafit tozlu

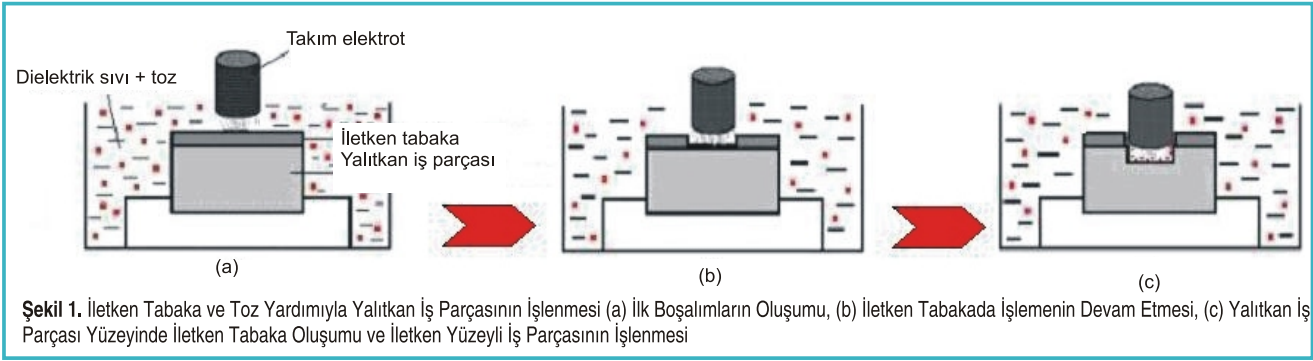
deneylerde ise yüzey pürüzlülüğünde belirgin bir iyileşme ve daha yüksek sertlik değerleri gözlenmiştir. Kansal ve ark. [9] dielektrik sıvı içerisine grafit tozu ilave edildiğinde işleme hızında artış, takım aşınma hızı ve yüzey pürüzlülüğünde ise azalma gözlenmiştir.

EEİ yöntemi ile iletken malzemelerin işlenmesinde ergime ve buharlaşma mekanizmalarının varlığı bilinmektedir. Ancak, yapılan kısıtlı sayıdaki çalışmada, seramik malzemelerin işlenmesinde, ani sıcaklık değişimi ile malzemenin hacimsel genişlemesi veya daralmasından oluşan iç gerilmelerden kaynaklanan mekanik erozyondan da (ısıl soyulma) bahsedilmektedir [4, 10-12]. Petrofes [10] çalışmasında, düşük elektriksel iletkenlik, yüksek ısıl genleşme ve yüksek ergime noktasına sahip malzemelerde yüksek sıcaklıktan dolayı malzemenin ısıl etkiyle mekanik olarak soyulduğunu belirtmiştir. Zhang ve ark. [4] tarafından $Al_2O_3+TiC+WC$ iş parçası kullanılarak yapılan deneylerde ısıl soyulmayla malzemenin kaldırıldığından bahsedilmiştir. Gadalla [11] saf polikristal TiB_2 'yi işlemiş, işlemenin kabaca 5 μm genişlik ve 5 μm kalınlıkta parçacıkların kırılarak kopmasıyla gerçekleştiğini belirtmiştir. Lauwers ve ark. [12], tel erozyon ve dalma EEİ kullanılarak seramik malzemeleri işlemişler ve dalma EEİ ile gerçekleştirilen deneylerin sonucu olarak soyulma mekanizması ile malzemenin işlendiğini belirtmişlerdir. Bu çalışmalarda işleme sonrası fotoğraflarla mekanik erozyonun/soyulmanın varlığı gösterilmeye çalışılmıştır. Çalışmaların çoğunda kullanılan iş parçaları elektriksel iletken veya içerisine iletken bir faz ilave edilmiş seramik malzemelerdir.

DENEYSEL YÖNTEM

İşleme Prensipleri

EEİ yönteminde ilk boşalimler takım elektrot ile iletken tabaka arasında gerçekleşmektedir (Şekil 1.a). İletken tabaka belli bir süre içinde kaldırılmaktadır (Şekil 1.b). İletken boşalım tabakası aşınıp yalıtkan iş parçası yüzeyine ulaştığında dielektrik sıvının içerisine ilave edilmiş tozların işleme yüzeyi ve iletken tabaka arasında bir köprü vazifesi görmesi sayesinde iletkenlik sağlanmaktadır. İşleme aralığında bulunan iletken tozlar, dielektrik sıvının bozunmasından ortaya çıkan karbon parçacıklar ve iletken tabakadan kopan parçacıklar boşalım etkisiyle yalıtkan iş parçası yüzeyine yapışarak ince bir iletken tabaka oluşturmaktadır (Şekil 1.c). Çok yüksek sertlik ve gevreklikle beraber düşük ısıl iletkenliğe sahip elektrik iletken olmayan iş parçasında işleme mekanizması, ergime ve buharlaşmanın yanında ani oluşan sıcaklık değişimi sonucu ortaya çıkan mekanik kırılma ile de gerçekleşmektedir. Mekanik kırılma sonucu ortaya çıkan yalıtkan seramik yüzeyin



Tablo 1. Deneylerde Kullanılan İletken Olmayan Malzemelerin Fiziksel ve Isıl Özellikleri

	Ergime Noktası [°C]	Isıl İletkenlik [W/mK]	Elektriksel Direnç (Ω cm)	Geometri	Kullanım Alanı
Al ₂ O ₃	2050	22	>10 ¹⁴	Prizmatik (40x40x4 mm)	İplik yönlendirici, kesici takım
ZrO ₂	2720	2,9	>10 ¹¹	Silindir (Ød: 8 mm, Øi: 3 mm)	İplik yönlendirici, kesici takım
TiO ₂	1605	10	10 ¹⁰	Makara şekilli	İplik yönlendirici
SiC	2500	84-120	10 ⁵	Bilya (Ø 7 mm)	Öğütücü bilya
Cam	1600	1,31	10 ¹²	Prizmatik (30x30x4 mm)	Yalıtım
Y ₂ O ₃ katkılı ZrO ₂	2590	2,5-2,8	10 ¹⁴	Bilya (Ø 15 mm)	Öğütücü bilya

Tablo 2. Deneylerde Kullanılan İşleme Parametreleri

Dielektrik sıvı	Gazyağı
Toz	Grafit (tane boyutu 30 µm (ort.))
Takım elektrot	Bakır boru (Ø 3,5 mm dış çap)
Dielektrik ve toz püskürtme	Elektrot İçinden sürekli
Boşalım akımı, i _b (A)	1,5
Vurum süresi, t _i (µs)	50
Gerilim, V _o , (V)	100

kısa sürede yukarıda bahsedilen oluşumla tekrar iletken bir tabaka ile kaplanmasıyla işleme devam etmektedir.

Deneyel Yöntem

Bu çalışmada EEİ yöntemi ile yalıtkan seramik iş parçalarının yüzeyleri iletken bir tabaka ile kaplanarak ve dielektrik sıvı

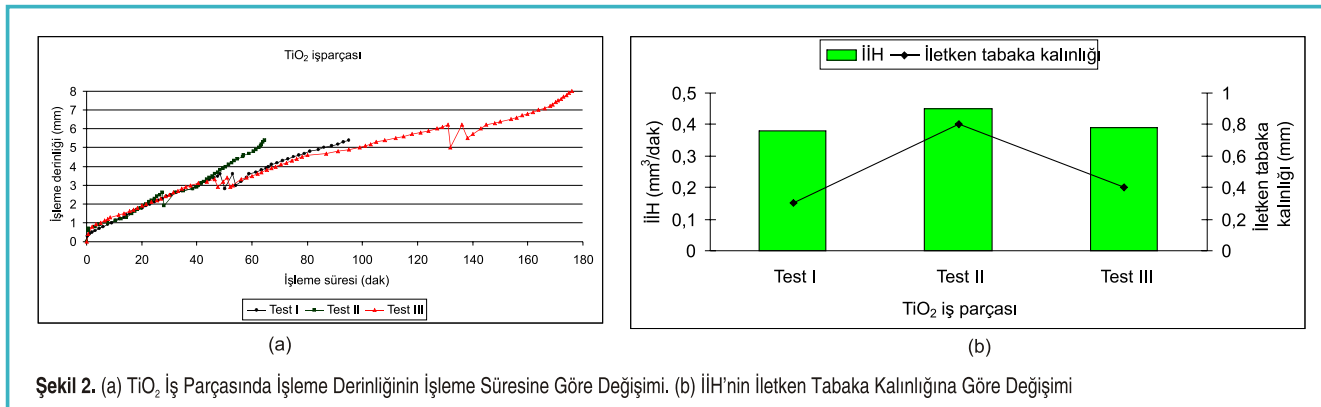
içerisine iletken toz parçacıkları ilave edilerek iş parçalarının işlenmesi gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan seramik iş parçalarına ait özellikler Tablo 1'de verilmiştir. Çalışmada kullanılan işleme parametreleri Tablo 2'de verilmiştir. Deneylerde bakır boru takım elektrot olarak kullanılmıştır. Dielektrik sıvı olarak kullanılan gazyağı içerisine grafit tozu karıştırılmıştır.

Dielektrik sıvı içerisinde bulunan grafit tozunun çökelmeden işleme ortamına taşınması için karıştırıcı bir sistem tasarlanmış ve imal edilmiştir.

DENEYSEL SONUÇLAR

İletken Tabaka

İş parçası yüzeyine uygulanan iletken tabaka kalınlığının iş



parçası işleme hızına (İİH) olumlu etkisi görülmüştür. TiO_2 ile yapılan çalışmalar, iletken tabaka kalınlığı arttıkça İİH'de bir artış olduğunu göstermiştir (Şekil 2). Deney sonuçları, işleme parametrelerinin değiştirilmesinin ve iletken tabaka uygulama şeklinin işlemeyi etkilediğini göstermiştir.

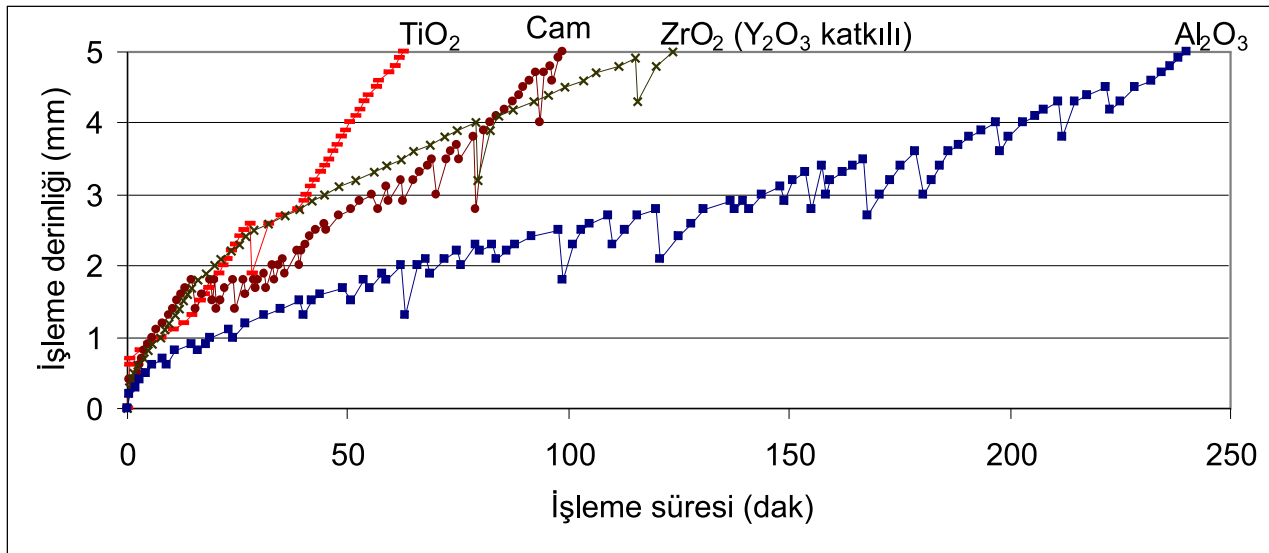
İş Parçası İşleme Performansı

İş parçası malzemesinin fiziksel özelliklerinin işleme sürecindeki etkilerini açıklamak için yedi farklı iletken olmayan iş parçası kullanılarak deneyler yürütülmüştür. Deney numuneleri endüstride yaygın kullanılan seramik ürünlerden seçilmiştir (Tablo 1). Şekil 3, deneylerde kullanılan bazı seramik malzemelerin işleme süresine karşı işleme derinliği değişimini göstermektedir. Deneylerde kararsız işlemler (işlemenin sıklıkla kesilmesi) en çok Al_2O_3 , seramik ve cam malzemesinde görülmüştür. Y_2O_3 katkılı ZrO_2

oluşan ısıl gerilmeler, yüzeyden büyük parçacıkların kopmasına neden olmuş, ortaya çıkan yalıtkan seramik yüzey işleme bölgesinde elektriksel iletkenliğin kaybına yol açmıştır. İletken komşu bölgelerde gerçekleşen boşalmalar, grafit tozlarının yardımıyla iletkenliğini kaybetmiş bu alanda yeniden iletken bir tabaka oluşturmuştur.

TiO_2 iş parçasında (Şekil 5.b), boydan delinmiş delik yüzeyinde kratersi bir yapı meydana gelmiştir. Bu kraterlerin çapları yaklaşık olarak $100 \mu m$ 'dir. SEM fotoğrafında daha büyük kraterlerin de olduğu görülmektedir (Şekil 8.b). Diğer iş parçalarındaki kraterlerle kıyaslandığında oluşan kraterlerin daha geniş çaplı ve sığ oldukları görülmektedir. Delik kenarlarında yanma ve kararma izleri yoktur.

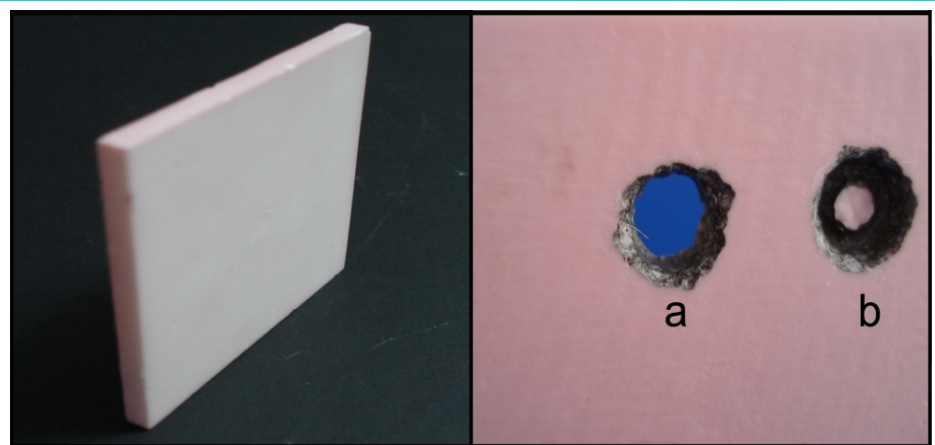
Diğer bir deneyde cam iş parçasına boydan delik delinmiştir



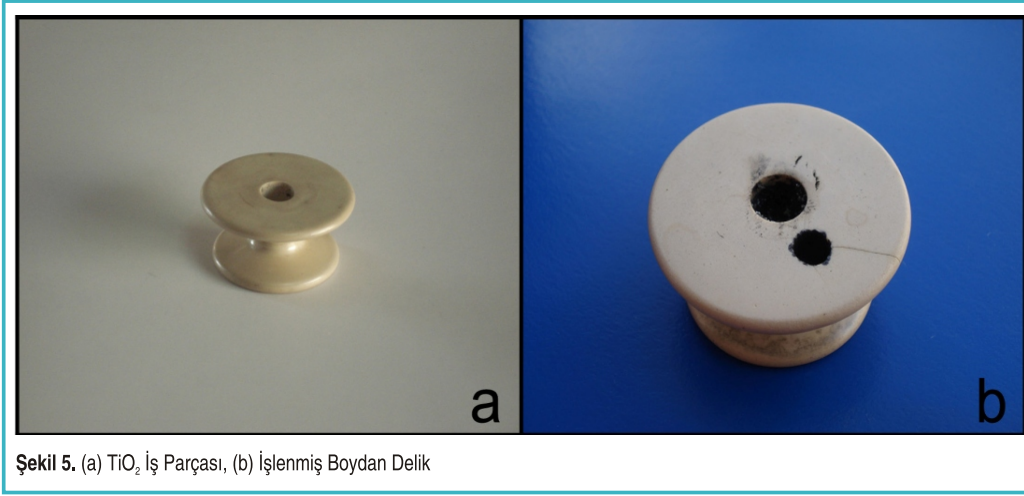
Şekil 3. İşleme Derinliğinin İşleme Süresine Bağlı Değişimi (TiO_2 , Cam, ZrO_2 (Y_2O_3 katkılı), Al_2O_3)

iş parçasının işlenmesinde ise kararlı bir değişim elde edilmiştir (Şekil 3).

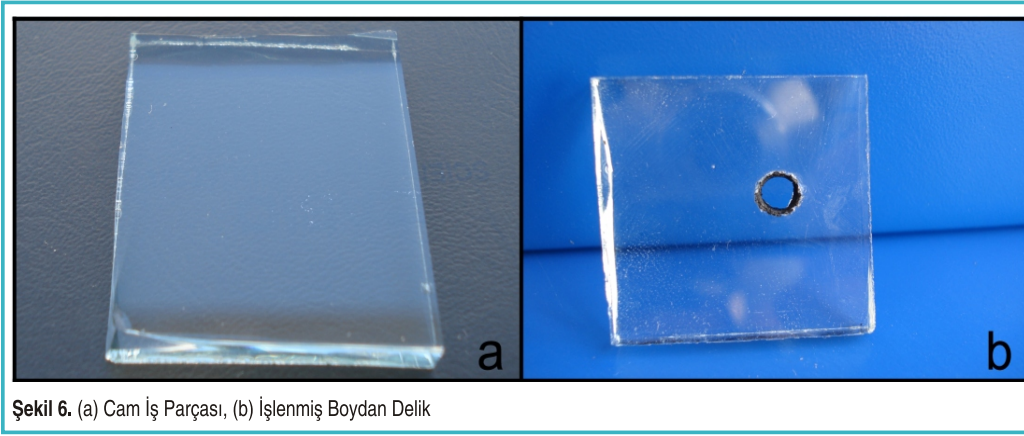
Deneylerde işlenmesi en zor malzeme Al_2O_3 iş parçası olmuştur (Şekil 3). Bu deneylerde boşalım oluşumunun işleme yüzeyinde homojen olarak gerçekleşmediği tespit edilmiştir. Şekil 4.a ve 4.b'de Al_2O_3 iş parçasının işlenmiş yüzeyinde işleme sırasında oluşan koyu renk ince iletken tabaka (delik iç yüzeyine sıvanmış görünümde) görülmektedir. Al_2O_3 iş parçasında



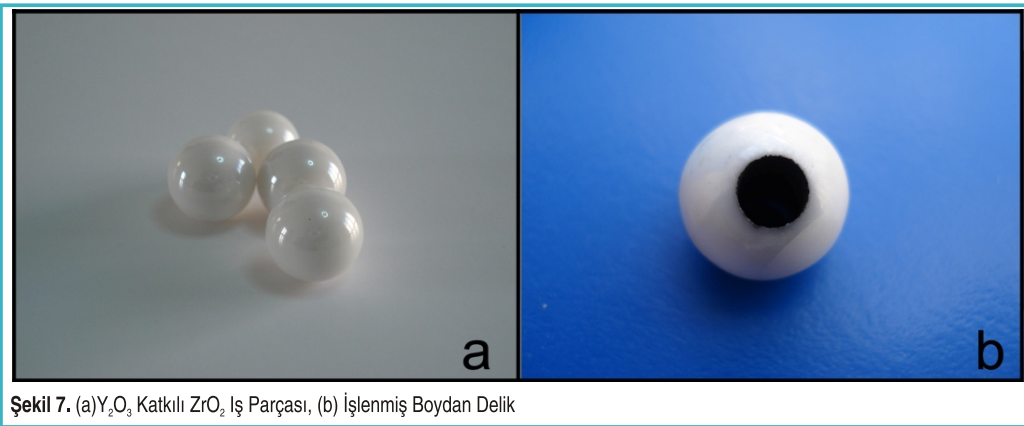
Şekil 4. Al_2O_3 İş Parçası (a) İşlenmiş Boydan Delik, (b) İşlenmiş Kör Delik



Şekil 5. (a) TiO_2 İş Parçası, (b) İşlenmiş Boydan Delik



Şekil 6. (a) Cam İş Parçası, (b) İşlenmiş Boydan Delik

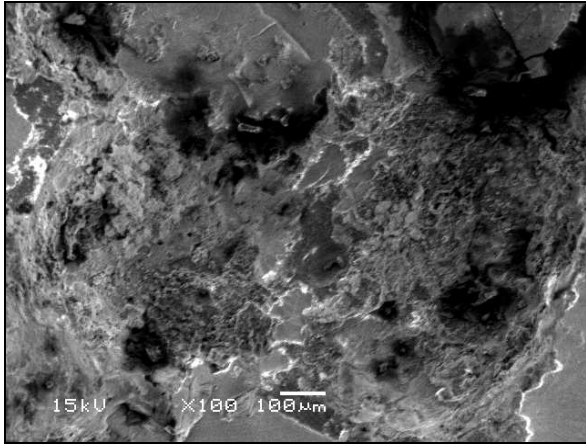
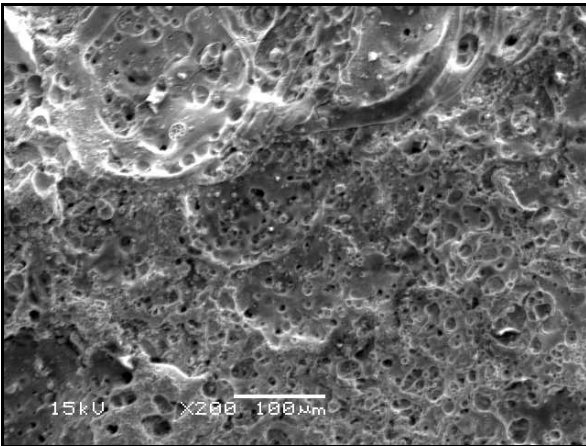
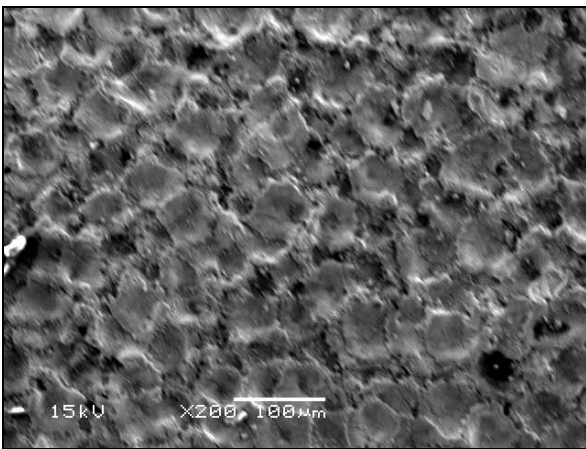


Şekil 7. (a) Y_2O_3 Katkılı ZrO_2 İş Parçası, (b) İşlenmiş Boydan Delik

(Şekil 6). Cam iş parçası işlenirken kararsız işlemeye sık rastlanmıştır (Şekil 3). Boşalıkların etkisiyle iş parçasından farklı boyutta parçacıklar kopmuştur. Oldukça kırılabilir bir yapıya sahip olan cam iş parçasında oluşan delik yüzeyindeki kırılmalar çok belirgindir (Şekil 6.b). İş parçasının, ergime ve buharlaşmanın yanı sıra ısıl gerilmelerin neden olduğu mekanik kopma ile de malzeme kaybına uğradığı açıkça görülmektedir.

Yapılan deneylerde 15 mm çaplı Y_2O_3 katkı ZrO_2 malzemesi boydan delinmiştir. Elde edilen delik geometrisinin düzgün silindirik olduğu görülmüştür (Şekil 7). Delik yüzey profiline bakıldığında, oluşan kratersi yapının homojen dağıldığı görülmektedir (Şekil 8.c). Kraterler iletken bir iş parçası malzemesinin işlenmesi sonucu ortaya çıkan kratersi yapıyla oldukça benzerdir. Elde edilen yüzey fotoğrafları ZrO_2 seramik iş parçasıyla yapılan işlemeyle benzerlik göstermektedir.

Bunun sebebi Y_2O_3 'ün, ZrO_2 içerisinde az miktarda bulunmasıdır. Az miktarda bulunan Y_2O_3 işleme sonuçlarını belirgin olarak değiştirmemiştir. Y_2O_3 katkılı ZrO_2 seramik iş parçasının işlenmesinde kararsız işlemeye rastlanmamıştır.

(a) Al_2O_3 (b) TiO_2 (c) Y_2O_3 katkılı ZrO_2

Şekil 8. Seramik İş Parçalarının EEt Sonrası SEM Fotoğrafları

Genel olarak işlenen iş parçalarında işleme derinliği arttıkça giriş delik çapının çıkış delik çapına göre daha büyük olduğu ve giriş deliklerinin daha düzgün geometriye olduğu tespit edilmiştir.

İletken Olmayan Seramiklerde Malzeme İşleme Mekanizması

İşlenmiş iş parçalarının yüzey mikro fotoğrafları incelendiğinde iletken olmayan seramiklerin işlenmesinde iki farklı malzeme işleme mekanizmasının bir arada olduğu tespit edilmiştir. Bunlar; ergime/buharlaştırma ve mekanik erozyondur (ısı soyulma). Al_2O_3 (Şekil 8.a) ve cam malzemelerinin yüzeyinde krater oluşumundan ziyade mekanik kırılma belirgindir. Bu iş parçalarının işlenmesi sonunda işleme haznesi içinden iş parçasından kırılarak kopmuş değişik şekil ve boyutlu parçacıklar çıkarılmıştır. Bölgesel olarak değişik geometride ve boyutta (beklenenden daha büyük boyutta) krater oluşumları da mevcuttur. Diğer iş parçalarının yüzey fotoğraflarına bakıldığında boşalıklar sonucu oluşan kratersi yapı (iletken malzeme yüzeylerine benzer) açıkça görülmektedir. Bunun yanında, mekanik erozyon sonucu işlemenin olduğu izlenimi veren yüzey görünümleri de mevcuttur. Deneysel bulgular ve yayımlanmış çalışmalar ışığında, yalıtkan seramik parçaların işlenmesi sırasında mekanik bir erozyonun etkin olduğu belirgindir. Bu etki malzemenin ısı iletkenliği, ergime sıcaklığı ve elektriksel iletkenliği gibi temel özelliklerine göre değişiklik göstermektedir. Elektriksel direnci yüksek (ısı iletkenliği düşük) olan iş parçalarında ise mekanik erozyon oluşumu belirginleşmiş ve işleme hızı artmıştır. Bu nedenle ZrO_2 , Y_2O_3 katkılı ZrO_2 ve TiO_2 malzemeleriyle yapılan deneylerde işleme hızları yüksek çıkmıştır.

SONUÇ

Gerçekleştirilen bu çalışmada, endüstride yaygın kullanılan iletken olmayan seramik iş parçalarının EEİ yöntemi ve buna bağlı yardımcı bir sistem kullanarak işlenebilirliği deneysel olarak araştırılmıştır. Geliştirilen yöntemde dielektrik sıvı içerisine grafit tozu karıştırılmış ve iş parçası yüzeylerine iletken bir tabaka uygulanarak işlemenin devamlılığı sağlanmıştır.

Diğer seramiklerle karşılaştırıldığında Al_2O_3 seramiklerinin, işleme sırasında kararsız boşalıklardan kaynaklanan dengesiz işleme koşulları nedeniyle EEİ ile işlenmesi en zor seramik olduğu tespit edilmiştir. En uzun işleme süresi Al_2O_3 seramik iş parçasının işlenmesinde görülmüştür. Deneyler arasında en derin (15 mm) ve kararlı işleme Y_2O_3 katkılı ZrO_2 seramiğinde elde edilmiştir. TiO_2 iş parçası ile yapılan deneylerde, iş parçası yüzeyine

uygulanan iletken tabaka kalınlığı artışının, İİH'de de artış sağladığı tespit edilmiştir.

Bu çalışmada, EEİ metodunda 300 Ω-cm değerden daha büyük elektriksel dirence sahip iş parçaları pratik olarak işlenemediğinden, iş parçalarındaki elektriksel iletkenlik değerlerindeki değişimin İİH üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığı sonucuna varılmıştır. Benzer şekilde deneylerde kullanılan iş parçalarının elektriksel iletkenlik değerleri, yüzey pürüzlülüğünde belirgin değişime yol açmamıştır.

İşleme sonrasında işleme tankı içerisindeki iş parçalarından kopmuş küçük seramik parçacıklarının varlığı ve işleme yüzeylerinden çekilen fotoğraflardaki kırık yüzey görüntüleri işleme mekanizmasında ısıl (ergime ve buharlaşma) erozyonun yanı sıra mekanik bir erozyonun da varlığını açıkça ortaya koymuştur.

KAYNAKÇA

1. **Jain, V. K., Adhikary, S.** 2008. On the Mechanism of Material Removal In Electrochemical Spark Machining Of Quartz Under Different Polarity Conditions Journal of Materials Processing Technology 200 (1-3): 460-470 .
2. **Kozak, J., Rajurkar, K. P.** 2000. Hybrid Machining Process Evaluation and Development Proceedings of the 2nd International Conference on Machining and Measurements of Sculptured Surfaces, Krakow 501536.
3. **Sanchez, J. A., Cabanes, I., Lopez de Lacalle, Lamikiz, L. N.** 2001. A, Development of Optimum Electro-Discharge Machining Technology For Advanced Ceramics The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 18: 897-905.
4. **Zhang, J. H, Lee, T .C, Lau, W. S.** 1997. Study on Electro-Discharge Machining Of A Hot Pressed Aluminum Oxide Based Ceramic Journal of Materials Processing Technology 63: 908-912.
5. **Mohri, N., Fukuzawa, Y., Tani, T., Saito, N., Furutani, K.** 1996. Assisting Electrode Method For Machining Insulating Ceramics Annals of the CIRP 45(1): 201-204.
6. **Mohri, N., Fukuzawa, Y., Tani, T, Sata, T.** 2002. Some Considerations To Machining Characteristics Of Insulating Ceramics-Towards Practical Use In Industry CIRP Annals - Manufacturing Technology 51(1): 161-164.
7. **Muttamara, A., Fukuzawa, Y., Mohri, N., Tani, T.** 2003. Probability of Precision Micro Machining of Insulating Si3N4 ceramics by EDM Journal of Materials Processing Technology 140: 243-247.
8. **Özerkan, B., Çoğun, C.** 2005. Effect of Powder Mixed Dielectric On Machining Performance In Electric Discharge Machining (EDM) G.U. Journal of Science 18(2): 211-228.
9. **Kansal, H. K., Singh, S., Kumar, P.** 2005. Application of Taguchi Method For Optimization Of Powder Mixed Electrical Discharge Machining International Journal of Manufacturing Technology and Management 7: (2, 3, 4).
10. **Petrofes, N. F.** 1989. Shaping Advanced Ceramics With Electrical Discharge Machining Ph.D. Texas A&M University 15-21.
11. **Gadalla, A. M.** 1992. Thermal Spalling During Electro-Discharge Machining of Advanced Ceramics And Ceramic-Ceramic Composites Proc. Machining of Composite Materials Symp. ASM Chicago 151-157.
12. **Lauwers, B., Kruth, J.P., Liu, W., Eeraerts, W., Schacht, B., Bleys, P.** 2004. Investigation of Material Removal Mechanism in EDM of Composite Ceramic Materials Journal of Materials Processing Technology 149: 347-352.

*Daha Etkin Bir
ODA İçin
Üyelik
Aidatlarımızı
ÖDEYELİM*