

UZAY VE HAVACILIK MALZEMELERİNDE ELEKTRİKSEL EROZYON İLE HIZLI DELİK DELME PERFORMANSININ DENEYSEL İNCELENMESİ

Oğuzhan YILMAZ*

Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik
Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü
Gaziantep
oyilmaz@gantep.edu.tr

A.Tolga BOZDANA,

M.Ali OKKA, İ.Hüseyin FİLİZ
Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik
Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü
Gaziantep

ÖZET

Bu çalışmada, uzay ve havacılık sanayisinde yaygın kullanılan ve işlenmesi zor malzemeler olarak adlandırılan Inconel 718 ve Ti-6Al-4V alaşımlarının elektriksel erozyon ile hızlı delik delme performanslarının deneysel incelemesi yapılmıştır. Deneysel tasarımıyla elde edilen deney planına göre gerçekleştirilen deneyler sonucunda; iş parçası işleme hızı (İİH) ve elektrot aşınma oranı (EAO) gibi temel performans çıktıları ölçülmüş ve karşılaştırmalı analizler yapılmıştır. Ayrıca, iki tür elektrot malzemesi (pirinç ve bakır) kullanılarak temel performans çıktılarına etkileri irdelenmiştir. Deneylerde içi oyuk tek delikli silindirik dönel elektrot, yüksek basınçla pompalanan deiyonize suyla kullanılmış ve elektrot dönme hızı sabit tutulmuştur. Deneyler sonucunda, pirinç elektrodun her iki alaşım için bakır elektroda göre daha yüksek İİH değerleri verdiği görülmüştür. EAO değerleri karşılaştırıldığında ise pirinç elektrot bakır elektroda göre Inconel 718 malzemesinde daha az EAO'ya sahipken, Ti-6Al-4V malzemesinde ise daha yüksek EAO değerine sahip olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Elektriksel erozyon, hızlı delik delme, nikel, titanyum

An Experimental Analysis of EDM Fast-Hole Drilling Performance For Aerospace Alloys

ABSTRACT

This work presents an experimental analysis of EDM fast-hole drilling performance for the alloys, namely Inconel 718 and Ti-6Al-4V that are commonly preferred in aerospace industry. The experiments produced from the design of experiment (DOE) method were conducted and the performance parameters such as material removal rate (MRR) and electrode wear rate (EWR) were measured as well as comparisons of these outputs were made. Two electrode materials (brass and copper) were used in the conducted experiments in order to investigate the effect of electrode materials to the performance parameters. In the experiments, single-channel cylindrical rotary electrodes were used with dielectric water, pumping through the electrode at high pressure. Electrode rotation was kept constant throughout the experiments. The experimental analyses reveal that the electrodes made of brass have superior MRR than copper electrodes for both alloys. When EWR results are compared, brass electrodes have less electrode wear rates for Inconel 718 alloy and higher EWR for Ti-6Al-4V alloy than the EWR results of copper electrodes.

Keywords : EDM hole drilling, Nickel, Titanium

* İletişim yazarı

* Bu makale, 17-18 Ekim 2009 tarihlerinde Makina Mühendisleri Odası tarafından Konya'da düzenlenen V. Makina Tasarım ve İmalat Teknolojileri Kongresi'nde bildiri olarak sunulmuştur.

GİRİŞ

Elektriksel erozyon ile işleme (EEİ) yöntemi kullanılarak hızlı delik delme, dalma erozyon ve tel erozyon gibi EEİ yöntemlerinden biri olarak değişik çaptaki deliklerin imalatında kullanılmaktadır. EEİ hızlı delik delme yöntemi (Şekil 1) diğer EEİ yöntemleriyle aynı işleme prensibine sahip olmakla birlikte, sabit hızla döndürülen içi oyuk silindirik elektrot yapısı ve bu elektrodun içerisinden püskürtülen yüksek basınçlı deiyonize su; bu yöntemi diğerlerinden ayıran iki ana unsur olarak göze çarpmaktadır. EEİ hızlı delik delme işlemi sırasında döndürülen elektrot, merkezin belirlenmesine, iki yönlü aşınmaya (elektrot ve iş parçası) ve püskürtme işleminin gerçekleşmesine yardımcı olur. Yüksek basınçta püskürtülen dielektrik sıvı, elektrodun işleme esnasında kasılmasını ve yalpalanmamasını sağlar. Ayrıca, delik dışına çıkması için zorlanan dielektrik sıvı, elektrodun dönerken merkezde kalmasını sağlar. Elektrotla birlikte kullanılan seramik kılavuz vasıtasıyla ve püskürtmenin olumlu etkisiyle, EEİ delme işlemi diğer delme yöntemlerine göre daha büyük oranlarda ve daha derine inmek mümkün olmaktadır [1]. EEİ delik delme hızı 1mm/sn sınırına ulaşabilmekte ve 0,2-3mm çapındaki delikler 150:1 derinlik-çap oranında delinebilmektedir [2]. Bu yöntem, türbin kanatlarının soğutma deliklerinin delinmesinde, dizel enjektörlerde, tıbbi cihazlarda, kesici takım soğutma kanallarında ve kalıp menfezleri gibi değişik amaçlı deliklerin imal edilmesinde alternatif bir metot olarak kullanılmaktadır.

Süper alaşımlarda makro ve mikro çaptaki deliklerin verimli bir şekilde delinmesi geleneksel delme metotları ile mümkün olmamaktadır [3]. Süper alaşımlar, yüksek mukavemetli,

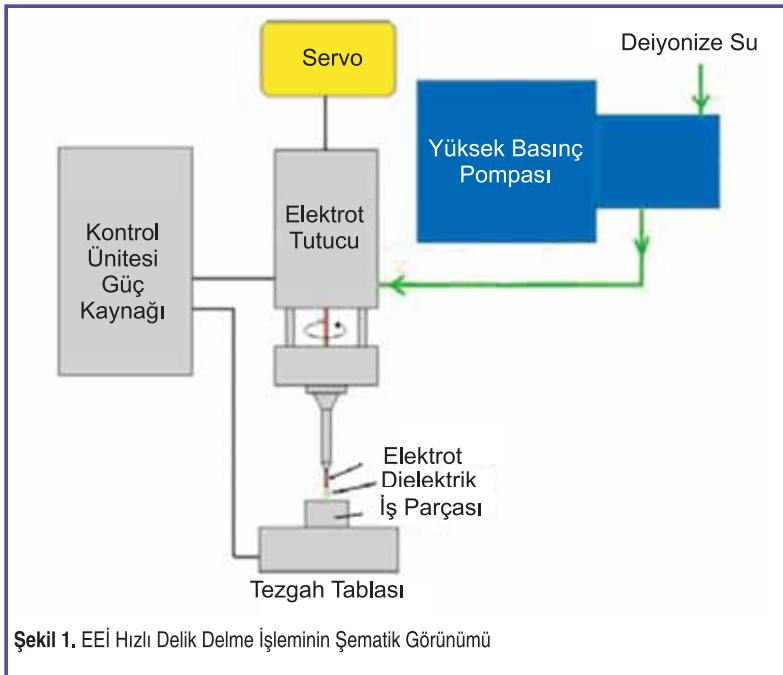
sıcaklık ve aşınmaya karşı dirençli, işlenmesi zor malzemeler olarak bilinirler. Inconel 718 ve Ti-6Al-4V alaşımları özellikle uzay ve havacılık sanayisinde yaygın kullanılan süper alaşım malzemeleridir [4].

EEİ'de elektrot tipi ve malzemesi; EEİ performans çıktıları olan İİH, EAO ve yüzey kalitesine doğrudan etki etmektedir. En iyi EEİ delme parametrelerinin elde edilmesi ancak uygun elektrot tipi ve malzemesinin seçilmesiyle mümkündür. Literatürde EEİ uygulamaları ile ilgili birçok çalışma mevcut iken, EEİ hızlı delik delme ile ilgili sınırlı sayıda çalışmaya rastlanmaktadır. Jeswani tarafından yapılan çalışmada [5], 0.19-0.71mm arasında değişen çaplardaki delikler bakır elektrot kullanılarak yüksek karbonlu çeliklerde delinerek performans çıktıları analiz edilmiştir. Wang ve arkadaşları [6] ile Mohan [7] alüminyum alaşımlarında EEİ hızlı delik delme çalışmaları yapmışlardır. Bununla birlikte, EEİ parametrelerinin bakır elektrot kullanılarak titanyum alaşımlarında derin delik delme etkileri incelenmiştir [8]. Diğer bir deneysel çalışmada ise [9], dönel bakır-tungsten elektrot kullanılarak gerçekleştirilen EEİ ile titanyum işlemlerinde yüzey kalitesi, oluşan yüzey formu ve yüzey pürüzlülüğü gibi şekilsel işlem sonuçları irdelenmiştir. EEİ hızlı delik delme üzerine yapılan en iyileme çalışmasında [2], farklı dielektrik sıvı ve elektrot malzemeleri kullanılarak en uygun kombinasyon seçilmeye çalışılmıştır. EEİ ile derin delik delme üzerine yapılan çalışmada [3], EEİ işlem parametrelerinin Inconel 718 malzemesine olan etkileri araştırılmıştır. Bu makalede sunulan çalışmada, farklı EEİ işlem parametre değerlerine sahip bir dizi deney sonucunda performans çıktıları (İİH ve EAO) elde edilmiş ve karşılaştırmalı analizler yapılmıştır. Deneylerde, iş parçası olarak iki tür süper alaşım malzemesi (Inconel 718 ve Ti-6Al-4V) ve iki tür elektrot malzemesi (bakır ve pirinç) kullanılmıştır.

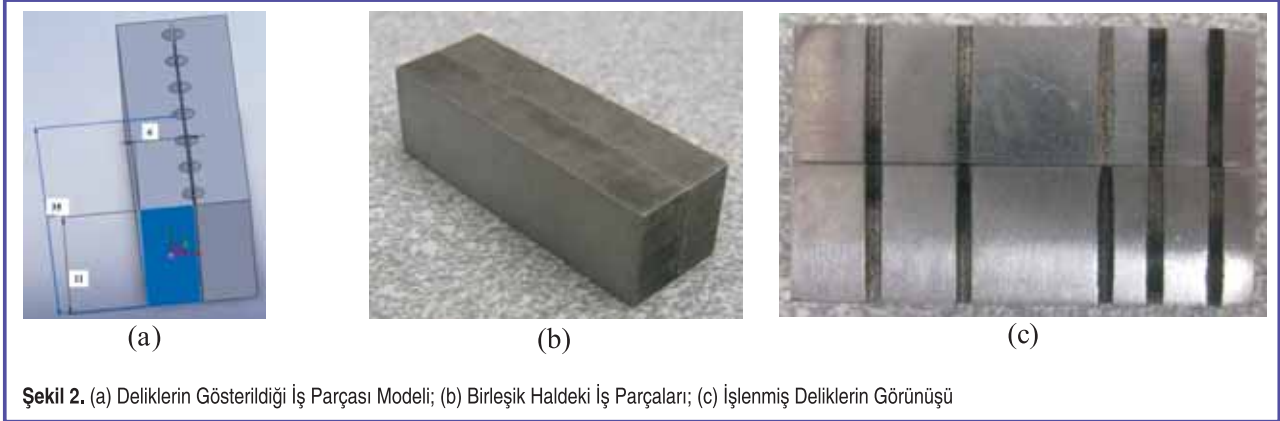
DENEYLER

Tezgâh, Numuneler ve Deneysel Parametreler

Deneyler Tablo 1'de verilen değerler kullanılarak, JS EDM AD-20 tipi elektriksel erozyon delik delme tezgâhında gerçekleştirilmiştir. İş parçaları, 6x11x35 mm ölçülerinde ve yüzeyleri taşlanmış bir şekilde hazırlanmıştır. İş parçalarının işlenmesi öncesinde, yerleştirmenin kararlı olabilmesi ve hatasız pozisyonlama ve işleme yapılabilmesi amacıyla özel olarak tasarlanıp üretilmiş hassas bir mengene kullanılmıştır. İşlenen deliklerin daha rahat incelenebilmesi ve yüzey ölçümlerinin yapılabilmesi için iki iş parçası, geniş yüzeyleri birleşecek şekilde mengeneye bağlanmış; 3mm çapında ve 11mm boyundaki delikler birleşme yüzeyini tam ortalayacak şekilde işlenmiştir (Şekil 2).



Şekil 1. EEİ Hızlı Delik Delme İşleminin Şematik Görünümü



Tablo 1. Deneysel Parametreler

Deneysel değişken parametreler	Aralık	Tezgah ayarları
Deşarj akımı, I (A)	10-30	1-9
Vurum süresi, T_{on} (μ s)	8-44	1-9
Nefes alma süresi, T_{off} (μ s)	5-26	1-9
Kapasitans (μ F)	104-1422	1-9
Deneysel sabitler		
Voltaj (Volt)	27	
Dielektrik sıvı	Deiyonize su	
Dielektrik pompa basıncı (bar)	75	
Elektrot dönme hızı (rpm)	150	
Elektrot polarite	(-) Eksi	

İş Parçası Malzemeleri

Bu çalışmada kullanılan iş parçası malzemeleri, uzay ve havacılık sanayisinde yaygın olarak kullanılan Inconel 718 ve Ti-6Al-4V alaşımlarıdır. Ti-6Al-4V bir $\alpha+\beta$ tipi titanyum alaşımıdır ve tüm kesici takımlarla işleme esnasında kimyasal reaksiyona girer. Ayrıca sahip olduğu düşük ısı iletkenliği ve elastisite modülü nedeniyle işlenebilirliği kötüdür [10]. Inconel 718 alaşımı ise genelde gaz türbin motorlarında, roket parçalarında ve uzay mekiği parçalarında kullanılmaktadır. Bu alaşım da sahip olduğu düşük ısı iletkenliği, yüksek tokluk, yüksek sertlik ve işleme sertliği gibi özellikleri sayesinde işlenebilmesi zor bir malzeme olarak anılmaktadır [11,12]. Tablo 2 ve 3'te Inconel 718 ve Ti-6Al-4V alaşımlarına ait kimyasal içerikler verilmiştir.

Elektrot Malzemeleri ve Tipi

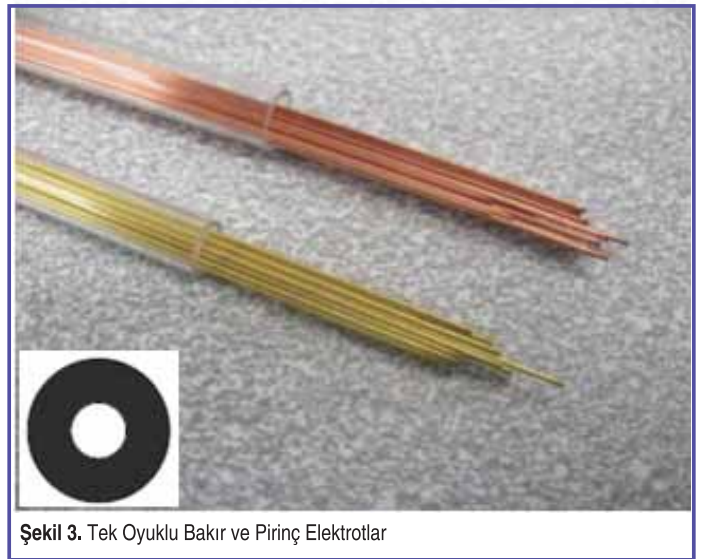
Yürütülen deneyler esnasında iki tür EEİ elektrot malzemesi (bakır ve pirinç) kullanılmıştır. Elektrotlar, silindirik ve içi oyuk bir geometriye sahiptir (Şekil 3). Kullanılan elektrot malzemelerin özellikleri ise Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 2. Ti-6Al-4V (%), Kimyasal Bileşenler

Ti	89.464	O	0.18
Al	6.08	C	0.02
V	4.02	N	0.01
Fe	0.22	H	0.0053

Tablo 3. Inconel 718 (%), Kimyasal Bileşenler

Ni	50-55	Al	0.20-0.80
Cr	17-21	Si	0.35 max.
Fe	Balanced	Mn	0.35 max.
Nb(+Ta)	4.75-5.50	Cu	0.30 max.
Mo	2.80-3.30	C	0.08 max.
Co	1.00 max.	B	0.06 max.
Ti	0.65-1.15		



Tablo 4. Elektrot Malzemelerinin Özellikleri

Elektrot Malzemesi	Ergime Noktası (°C)	Elektrik Direnci (ohm-cm)	Isı İletkenliği (W/m-°K)	Özgül Isı Kapasitesi (J/g-°C)
Bakır	1084.62	1.69	391	0.385
Pirinç	900-940	4.70	159	0.380

Ölçme Yöntemleri ve İHH/EAO Değerlerinin Hesaplanması

Deneyler esnasında yapılan tüm ölçümler hassas teçhizatlar vasıtasıyla yapılmıştır. İş parçaları, deney öncesi ve sonrasında hassas elektronik tartıyla tartılmış ve ağırlık farkı belirlenmiştir. İşleme süresi elektronik kronometre ile ölçülmüştür. Tüm bu ölçümler kullanılarak İHH (mgr/dak) değerleri aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır.

$$\dot{I}HH = \frac{\text{İlk ağırlık} - \text{Son ağırlık}}{\text{İşleme zamanı}}$$

Elektrot aşınması, kullanılan elektrodun işlenen deliğin derinliğine oranla yüzdelik olarak hesaplanmıştır. Elektrot boyundaki kayıp EEİ delik delme tezgâhının dijital eksen okuyucusu yardımıyla her bir delik delme sonrasında belirlenmiştir. Deneylerde EAO ise aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır.

$$EAO = \frac{\text{Elektrot boyundaki kısalma}}{\text{Delik boyu}} \times 100 (\%)$$

DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, deneyler, Tepki Yüzeyi Metodu (TYM) (Response Surface Methodology) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Girdi parametreleri olarak deşarj akım şiddeti (I), Vurum süresi (T_{on}), nefes alma süresi (T_{off}) ve Kapasitans kullanılmıştır. Performans çıktıları ise iş parçası işleme hızı ve elektrot aşınma oranı olarak belirlenmiştir. Deneyler esnasında bazı işlemsel parametreler (voltaj, deiyonize su basıncı, elektrot dönme hızı ve polarite) sabit tutulmuştur. Tepki yüzeyi metodolojisi, deneysel veriler sonucunda işlem girdileri ile çıktılar arasında ilişkileri modelleyen ve matematiksel olarak ifade edebilen bir yöntemdir [13]. Bu çalışmada, TYM metodu kullanılarak 31 adet deney serisi oluşturulmuş ve bu deneyler gerçekleştirilmiştir (Tablo 5).

Gerçekleştirilen deney sonuçları, gerekli analizlerin ve karşılaştırmaların daha kolay yapılabilmesi amacıyla küçükten büyüğe doğru sıralanmış ve grafiksel olarak ifade edilmiştir. Bu sayede, EEİ işlemi esnasında kullanılan parametrelerin performans çıktılarına birebir etkilerinin değerlendirilmesi yerine; kullanılan elektrot ve iş parçası

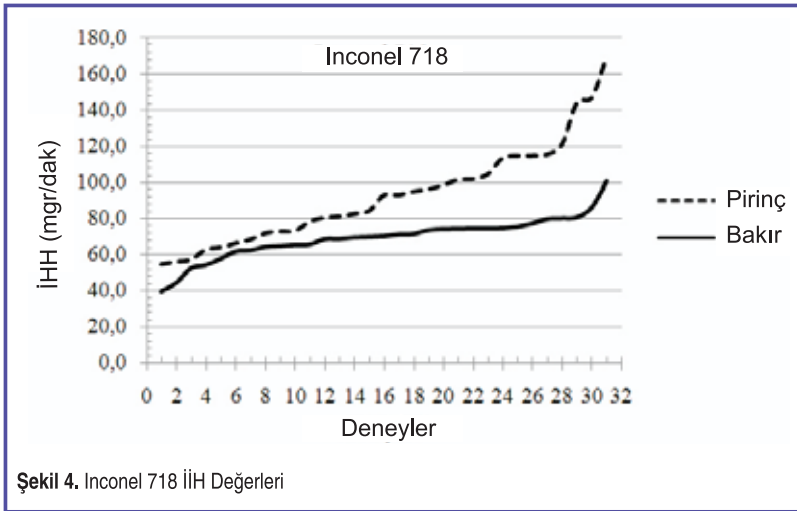
Tablo 5. Deney Tasarım Planı

Deney No	I (A)	Ton (µs)	Toff (µs)	Kapasitans (µF)
1	6	6	6	6
2	7	7	5	7
3	8	8	8	8
4	8	6	8	8
5	7	7	7	7
6	7	7	7	7
7	7	7	7	7
8	7	7	7	9
9	8	8	6	8
10	6	8	6	8
11	6	6	8	6
12	7	7	7	7
13	6	8	8	8
14	8	6	8	6
15	8	8	6	6
16	9	7	7	7
17	6	8	6	6
18	6	6	6	8
19	7	7	9	7
20	7	9	7	7
21	8	6	6	6
22	7	7	7	7
23	7	7	7	7
24	7	5	7	7
25	6	8	8	6
26	8	8	8	6
27	6	6	8	8
28	8	6	6	8
29	5	7	7	7
30	7	7	7	5
31	7	7	7	7
-	-	-	-	-

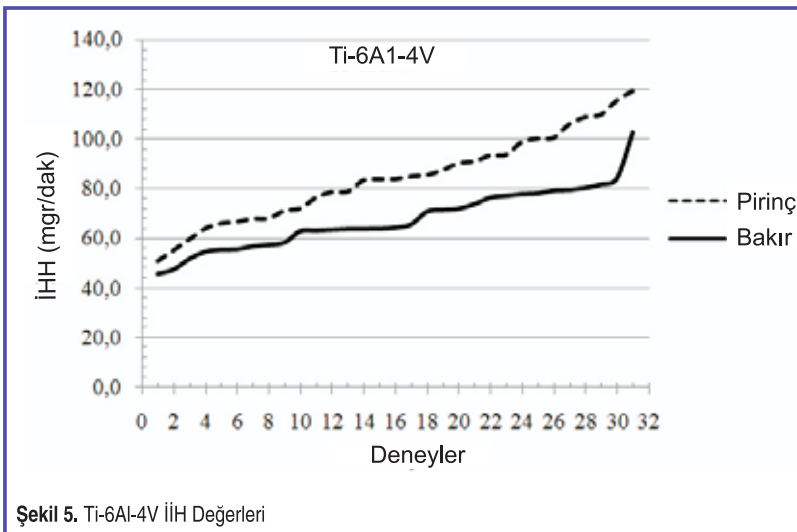
malzemesinin etkileşimi farklı işlem ayarlarında incelenmeye çalışılmıştır. Ayrıca Inconel 718 ve Ti-6Al-4V iş parçası alaşımları için İİH ve EAO değerlerindeki genel eğilimin belirlenmesi amaçlanmıştır.

İş Parçası İşleme Hızı (İİH)

Elektriksel erozyon işlemlerinde İİH, birim zamanda iş parçası yüzeyinden kaldırılan malzeme miktarı olarak tanımlanmakta ve hesaplanmaktadır. EEİ işlemleri, diğer adıyla elektriksel deşarjla işleme (EDM), elektrot ile iş parçası arasında oluşan yüksek enerjili kıvılcımın malzeme yüzeyinden ergitme ve buharlaştırma sonucunda parça koparma prensibine dayanmaktadır. Genelde, EEİ işlemlerinde yüksek İİH oranları amaçlanmakta ve çalışmalar bu doğrultuda olmaktadır. Bu bildiride sunulan çalışma çerçevesinde gerçekleştirilen deneyler sonucunda, Inconel 718 ve Ti-6Al-4V alaşımları için İİH değerleri iki tür elektrot malzemesi için hesaplanmış ve grafiksel olarak gösterilmiştir (Şekil 4 ve 5).



Şekil 4. Inconel 718 İİH Değerleri



Şekil 5. Ti-6Al-4V İİH Değerleri

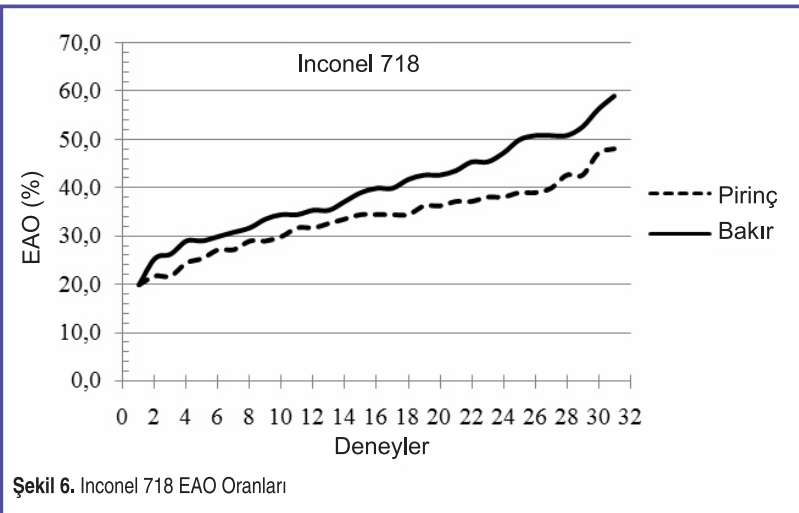
Inconel 718 alaşımının EEİ hızlı delik delme işleminde, pirinç elektrot, bakır elektroda oranla daha yüksek İİH değerlerine sahiptir (Şekil 4). Pirinç elektrot, tüm işleme ayarlarında daha yüksek iş parçası işleme özelliği göstermiştir ve bu oran yaklaşık olarak 58-165 mgr/dak aralığında gerçekleşmiştir. Bununla birlikte, bakır elektrot 40-100 mgr/dak gibi daha düşük İİH değerleri aralığında sonuçlar vermiştir. Aynı durum Ti-6Al-4V alaşımı için de geçerlidir (Şekil 5). Pirinç elektrot (50-120 mgr/dak); bakır elektroda (42-105 mgr/dak) oranla genel olarak tüm işleme ayarları için daha yüksek İİH değerlerine ulaşmıştır. Bakır elektrot her iki alaşımda da aynı aralıklarda İİH değerleri ($\approx 40-100$ mgr/dak) verirken; pirinç elektrot Inconel 718 alaşımında daha yüksek değer aralığına (58-165 mgr/dak) sahiptir. Bu durumun başlıca sebebi, Inconel 718 alaşımının ergime sıcaklığının (1336°C), Ti-6Al-4V alaşımından (1649°C) daha düşük olması söylenebilir. Düşük ergime sıcaklığına sahip iş parçası, dolayısıyla deşarj akımının sıcaklık etkisiyle daha kolay ergime ve buharlaşma özelliği gösterecektir. Bununla birlikte, Inconel 718 alaşımının ısı iletkenliği (11.4 W/m.K), Ti-6Al-4V alaşımına (6.7 W/m.K) göre daha yüksektir ve dolayısıyla deşarj esnasında oluşan ısının Inconel 718 malzemesinde yayılım oranı daha yüksek olmaktadır. Bu nedenlerin yanı sıra, pirinç elektrot malzemesinin yüksek İİH değerleri vermesinin başlıca nedeni; pirinç malzemesinin düşük ısı iletkenliğe sahip olmasıdır (Tablo 4). Pirinç elektrot bu özelliğinden dolayı deşarj esnasında oluşan yoğun ve lokal ısı enerjisini absorbe etmez. Bu enerji, daha çok iş parçası tarafından absorbe edilir ve böylece ergime/buharlaşma olayı gerçekleşir [14,15].

Elektrot Aşınma Oranı (EAO)

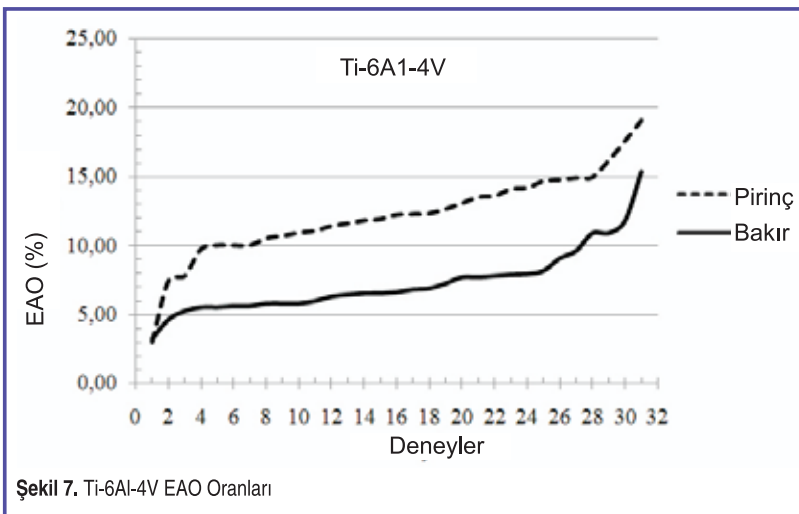
Bu çalışmada elektrot aşınma oranı, işleme esnasında elektrodun boyundaki kısalmanın işlenen deliğin boyuna oranla yüzdelik olarak hesaplanmıştır. EEİ işlemlerinde, yüksek ısı değerlerine sahip kıvılcımlar, sadece iş parçası yüzeyinde ergime/buharlaşma yapmaz, ayrıca elektrot malzemesi de aynı etkiye maruz kalır. Elektrottaki bu olaya elektrot aşınması denilmektedir. Elektrot aşınması öncelikle elektrot malzemesinin özelliğine, oluşan deşarj enerjisine ve diğer EEİ parametrelerine (vurum süresi, nefes alma, polarite, dielektrik) bağlıdır [11]. EEİ işlemlerinde öncelikli hedeflerden biride, imalat maliyetini düşürecek olan elektrot aşınma oranını azaltmaktır. Bu hedef, özellikle gaz türbinli motor parçalarından olan türbin bıçaklarındaki onbinlerce soğutma deliğinin EEİ işlemiyle imal edilmesi aşamasında

fazlasıyla önem arz etmektedir [16]. Şekil 6 ve 7'de her iki alaşım için pirinç ve bakır elektrotlardaki aşınma oranları grafiksel olarak verilmiştir.

Her iki alaşım için genel elektrot aşınma oranları karşılaştırıldığında, Ti-6Al-4V alaşımındaki EAO oranlarının (Şekil 7), Inconel 718'deki aşınma oranlarına (Şekil 6) göre çok düşük olduğu görülmektedir. Örneğin pirinç elektrot Ti-6Al-4V'da %4-18 aralığında gerçekleşirken, Inconel 718'de %20-48 aralığında gerçekleşmiştir. Bakır elektrot ise Inconel 718'de %20-60 aralığında aşınma oranına sahipken, Ti-6Al-4V'da çok daha düşük oranlarda aşınmıştır (%3-16). Bu durumun başlıca nedeni, Ti-6Al-4V alaşımının kimyasal reaktifliklerinin yüksek olması nedeniyle erozyon işlemi esnasında ergitilip koparılan parçacıkların elektrot malzemesine yapışması olarak ifade edilebilir. Aynı şekilde titanyum alaşımlarının kesici takımlarla işlenmesi esnasında malzemenin kesici takıma kaynak olma eğilimi göstermektedir [17]. Elektroda yapışan parçacıklar elektrot yüzeyini bir tabaka halinde kaplamaktadır.



Şekil 6. Inconel 718 EAO Oranları



Şekil 7. Ti-6Al-4V EAO Oranları

Bu durumun bakır elektrotta daha fazla, pirinç elektrotta ise daha az olduğu gerçekleştirilen deneyler esnasında gözlemlenmiştir. Dolayısıyla titanyum alaşımı parçacıkları ile kaplanan elektrot yüzeyi daha yüksek ergime sıcaklığına ulaşarak daha az aşınmaya maruz kalmaktadır. Inconel 718 alaşımında ise benzer bir durum ile karşılaşılmamıştır. Bu nedenle, EAO değerleri Inconel 718'de daha yüksek değerlerde oluşmaktadır.

Elektrot malzemelerinin aşınma oranları karşılaştırıldığında, Ti-6Al-4V alaşımında (Şekil 7) pirinç elektrot %4-18'lik aşınma aralığıyla bakır elektroda (%3-16) göre daha fazla aşınmaktadır. Elektrot malzemelerin özelliklerine bakıldığında (Tablo 4), bakırın, pirince göre daha yüksek ergime sıcaklığına ve ısı iletkenliğe sahip olduğu görülmektedir. Ergime sıcaklıkları esas alındığında, pirinç elektrodun daha fazla aşınma oranına sahip olması beklenmektedir. Bu beklenti; Ti-6Al-4V alaşımının işlenmesi esnasında Şekil 7'de karşılanmakla beraber, aynı durum

Inconel 718'de görülmemektedir. Pirinç elektrot bu malzemede, bakır elektroda göre daha yüksek İİH değerine ve daha düşük EAO'na sahiptir. Bakır elektrot Ti-6Al-4V alaşımında avantajlı gibi gözükse de kopan parçacıkların bakır elektrot yüzeyine daha fazla yapışması nedeniyle işleme esnasında düşük İİH değerleri elde edilmekte ve en önemlisi elektrot çapındaki değişim nedeniyle delik çapında istenilen sonuç elde edilememektedir.

SONUÇ

Bu bildiriye sunulan çalışmada, uzay ve havacılık alaşımlarının EEİ ile hızlı delik delme performansları incelenmiş; iki tür elektrot malzemesi kullanılarak İİH ve EAO gibi performans çıktıları karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir. Gerçekleştirilen deneyler sonucunda aşağıdaki hususlar tespit edilmiştir.

Her iki alaşım için İİH değerleri incelendiğinde, pirinç elektrodun bakır elektroda göre daha yüksek İİH değerleri verdiği genel olarak tüm işlem ayarları için gözlemlenmiştir. Bu nedenle pirinç elektrot malzemesinin Inconel 718 ve Ti-6Al-4V alaşımları için EEİ hızlı delme uygulamalarında yüksek İİH değerleri elde etmek için uygun bir seçim olduğu söylenebilir.

Elektrot aşınma oranları ele alındığında, her iki alaşım da bu oranların büyük farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. Inconel 718 malzemesindeki EAO oranları, Ti-6Al-4V'dan çok daha büyüktür. Bu durumun başlıca nedeni, Ti-6Al-4V alaşımının işleme esnasında elektrot

ile olan etkileşiminden kaynaklanmaktadır. Pirinç elektrot, Inconel 718'de daha az aşınma oranına sahiptir ve EEİ işlemi esnasında daha yüksek bir performans gösterir. Ti-6Al-4V'da ise pirinç elektrot daha yüksek aşınma oranına sahiptir. Ancak, bu alışımda bakır elektrot ile kopan iş parçası malzemelerinin etkileşmesi ve elektrot yüzeyinde tabaka oluşturması EAO değerlerine etki etmekte ve aşınma oranını azaltmaktadır. Ayrıca bu durum, İİH değerlerinin düşmesine de sebep olmaktadır. Elektrot yüzeyinin kaplanarak çap büyümesinin oluşması da, istenilen çap oranlarının aşılmasına sebep olmaktadır. Pirinç elektrot bu çalışmadan çıkartılan sonuçlar neticesinde, bakır elektroda göre her iki aşım için uygun bir seçim olacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu bildirinin yazarları, 108M022 nolu Araştırma Projesi kapsamında yürütülen bu çalışmaya verdiği her türlü mâli destek için TÜBİTAK'a teşekkür eder.

KAYNAKÇA

1. **Sommer, C., Sommer, S.** 2005. "Complete EDM Handbook," www.reliableedm.com/Complete-EDM-Handbook.html.
2. **Leao, F.N.** 2005. "Optimisation of EDM Fast Hole-drilling Through Evaluation Of Dielectric And Electrode Materials, Proceedings of COBEM 2005," 18th International Congress of Mechanical Engineering, November 6-11, Ouro Preto, MG.
3. **Kuppan, P., Rajadurai, A., Narayanan, S.** 2008. "Influence of EDM Process Parameters In Deep Hole Drilling of Inconel 718," *Advanced Manufacturing Technology Journal*, Cilt 38, No.1-2, s.74-84.
4. **Dalkılıç S., Tanatmış, A.A.** 2003. "Gaz Türbinli Motorların İmalatı ve Onarımında Kullanılan Gelişmiş İşleme Yöntemleri," *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, Temmuz, Cilt 1, Sayı 2, s.49-61.
5. **Jeswani, M.L.** 1979. "Small Hole Drilling in EDM, Machine Tool Design and Research Journal," Cilt 19, s.165-169.
6. **Wang, C.C., Yan, B.H.** 2000. "Blind-Hole Drilling of Al2O3/6061 Al Composite Using Rotary Electro-discharge Machining," *Materials Processing Technology Journal*, cilt 102, s.90-102.
7. **Mohan, B., Rajadurai, A., Satyanarayana, K.G.** 2002. "Effect of SiC and Rotation of Electrode on Electrical Discharge Machining of Al-SiC Composite," *Materials Processing Technology Journal*, cilt 124, s.297-304.
8. **Asokan, T., Reddy, S.S., Costa, P.D.E.** 2000. "Electrical Discharge Drilling of Titanium Alloys for Aerospace Applications," *Proceedings of 19th AIMTDR Conference*, IIT Madras, Chennai, s.161-165.
9. **Soni, J.S., Chakraverti, G.** 1993. *Surface Characteristics of Titanium With Rotary EDM*, *Material Science Bülteni*, cilt 16, No.3, s.213-227.
10. **Che-Haron, C.H., Jawaid, A.** 2005. "The Effect of Machinability on Surface Integrity of Titanium Alloy Ti-6%Al-4%V," *Materials Processing Technology Journal*, cilt 166, s.188-192.
11. **Hascalik, A., Caydas, U.** 2007. "Electrical Discharge Machining of Titanium Alloy (Ti-6Al-4V)," *Applied Surface Science*, cilt 253, s.9007-9016.
12. **Sharman, A.R.C., Hughes, J.I., Ridgway, K.** 2004. "Workpiece Surface Integrity and Tool Life Issues When Turning Inconel 718 Nickel Based Superalloy," *Machining Science Technology*, Cilt 8, No.3, s.399-414.
13. **Deniz, T.Ç., Coğun, C., Özgedik, A.** 2005. "Elektro Erozyon ile İşlemede İşleme Parametrelerinin Matematiksel Modellenmesi," *Makina Tasarım ve İmalat Dergisi*, Cilt 7, Sayı 1, Mayıs, s.11-16.
14. **Khan, A.A.** 2008. "Electrode Wear And Material Removal Rate During EDM of Aluminium And Mild Steel Using Copper and Brass Electrodes," *Advanced Manufacturing Technology Journal*, cilt 39, s.482-487.
15. **Ergün, Z.E., Coğun, C.** 2006. "Elektro Erozyon ile İşleme (EEİ) İş Parçası Yüzey Karakteristiklerinin Deneysel İncelenmesi," *Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Der.*, Cilt 21, No.3, s.427-441.
16. **Tolinski, M.** 2006. "Smaller Holes Bigger Challenges," *Manufacturing Engineering*, Cilt 136, No.3.
17. **Ensarioğlu, C., Çakır, M.C.** "Titanyum ve Alaşımlarının İşlenebilirlik Etüdü, Bölüm 1," *Mühendis ve Makina*, Cilt 46, Sayı 546, s.36-46.