

SAF SUDA ELEKTRO EROZYON İLE İŞLEME

Orhan Gülcan

TUSAŞ-Türk Havacılık ve Uzay Sanayi A.Ş.,
Ankara
ogulcan@tai.com.tr

ÖZET

Tarihi, İkinci Dünya Savaşı yıllarına kadar giden elektro erozyon ile işlemede amaçlanan daha yüksek iş parçası işleme hızı, daha az elektrot aşınma hızı ve daha iyi yüzey pürüzlülüğü elde etmektir. 1980'li yıllardan itibaren etkileri incelenen saf suyun dielektrik sıvısı olarak kullanımı ise, bu amacı gerçekleştirmek için denenmiş çözümlerden birisidir. Bu çalışmada elektro erozyon ile işlemede su ve su bazlı dielektrik sıvılarının kullanımının etkileri üzerine literatürde yapılan çalışmalar detaylı incelenmiş ve üzerine yapılan çalışmaların eksik/yetersiz olduğu konular listelenerek ileriki muhtemel uygulamalarından bahsedilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elektro erozyon, su, dielektrik sıvısı

ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING IN DISTILLED WATER

ABSTRACT

The aim of electric discharge machining dating back to The Second World War is to get higher material removal rate, lower electrode wear rate and better surface roughness. Investigation of the effect of using distilled water as a dielectric fluid from 1980s is one of the tested solutions to fulfill this goal. In this paper, research works in literature about the effect of using water or water based dielectric fluids in electric discharge machining are investigated in detail and possible future implementation of this process is mentioned by listing the subjects on which works are incomplete/insufficient.

Keywords: Electric discharge, water, dielectric fluid

Geliş tarihi : 08.09.2013
Kabul tarihi : 17.12.2013

Gülcan, O. 2013. "Saf Suda Elektro Erozyon ile İşleme," Mühendis ve Makina, cilt 55, sayı 648, s. 28-36.

1. GİRİŞ

Elektro erozyon ile işleme, geometrik olarak karmaşık ve sert malzemelerin işlenmesinde kullanılan alışılmamış bir imal usulüdür. Elektriksel kıvılcımların malzeme aşındırılmasında kullanıldığı bu teknolojiye, elektrot ile iş parçası birbirine temas etmediği için, işleme sırasında mekanik gerilmeler, tırlama ve titreşim problemleri oluşmaz. Bu özellikler, elektro erozyon ile işlemenin, özellikle kalıp üretiminde vazgeçilmez bir teknoloji olarak kullanılmasını sağlamaktadır [1, 2].

1940'lardan itibaren kullanılan bu teknolojiye amaçlanan daha yüksek iş parçası işleme hızı, daha az elektrot aşınma hızı ve daha iyi yüzey kalitesi elde etmektir [3, 4, 5]. Bu amaçla şu ana kadar dielektrik sıvısına metal tozlarının ilave edilmesi [6, 7], gaz ortamında elektro erozyon ile işleme [8], ultrasonik titreşimler kullanılarak yapılan elektro erozyon ile işleme [9], toz metal elektrotlar kullanılarak yapılan elektro erozyon ile işleme [10] ve farklı dielektrik sıvılarının kullanılmasıyla yapılan elektro erozyon ile işleme [11] gibi yöntemler denenmiştir.

Elektro erozyon ile işlemede dielektrik sıvısı, üretilen parçaların maliyeti, kalitesi ve üretilebilirliği üzerinde ciddi etkiye sahiptir. Ayrıca sağlık ve güvenlik açısından da, özellikle hidrokarbon bazlı sıvı kullanıldığında, dielektrik sıvısı önem arz etmektedir [12].

Elektro erozyon ile işlemede kullanılan dielektrik sıvısının, işlemenin gerçekleşebilmesi için gerçekleştirmesi gereken görevleri vardır. Bunlar; elektrotlar üzerinde toplanan yükün belirli bir süre tutulması, boşalmanın dar bir kanalda tutulması, boşalım esnasında açığa çıkan ısının hemen atılması, kısa devre oluşumu ve elektrot aşınmasını önleme açısından çok önemli olan, boşalım sonrası işleme aralığında oluşan işleme atıklarının uzaklaştırılmasıdır.

Dielektrik sıvısının en önemli özelliği dielektrik direnci, viskozitesi, ısı iletkenliği ve ısı kapasitesidir. Dielektrik direnci, sıvının kıvılcım boşalımından önce yüksek direnç sağlayabilirliğini ve sonrasında geri kazanabilirliğini ifade eder.

Sıvının dielektrik direnci arttıkça boşalım aralığı azalır ve bu sayede daha yüksek akım işleme boşluğundan geçebilir. Bu ise sonuçta daha yüksek iş parçası işleme hızına yol açar. Viskozite azaldıkça sıvının daha rahat akabilmesinden dolayı dielektrik sıvının püskürtülmesi daha muntazam olur. Bu ise daha iyi yüzey kalitesine yol açar. Dielektrik sıvının ısı iletkenliği ve ısı kapasitesi arttıkça, çalışma boşluğundaki fazla enerjiyi daha kolay uzaklaştırabileceği için, iş parçasının ısıl hasara daha az maruz kalması sağlanmış olur [13].

Elektro erozyon ile işlemede dielektrik sıvısı olarak genellikle yüksek dielektrik direncine ve düşük viskoziteye sahip mineral yağlar tercih edilmektedir. Gazyağı bunlar arasında en çok kullanılanıdır. Su daha çok tel elektro erozyon ile işlemede kullanılmaktadır. Bunun sebebi suyun yüksek spesifik ısı kapasitesine sahip olması ve bu sayede daha iyi soğutmasıdır. Kimyasal reaksiyonlara sebebiyet vermemek için genel olarak deiyonize su kullanılmaktadır [13].

Gazyağı her ne kadar elektro erozyon ile işlemede en çok tercih edilen dielektrik sıvısı olsa da, özelliklerinin birçoğunu uzun süren işlemlerde kaybetmesi en büyük dezavantajıdır. Gazyağının bir diğer dezavantajı hava kirliliğine sebep olması ve yüksek boşalım sıcaklıklarında bozunması ile birlikte bileşiminde bulunan karbon atomlarının ayrılarak elektrot yüzeyine yapışmasıdır. Elektrot yüzeyine yapışan bu karbon atomları boşalımı etkileyerek işlemenin düzensiz çalışmasına veya durmasına sebep olmaktadır. Bu ise iş parçası işleme hızını ciddi oranda düşürmektedir. Su ise gaz yağına göre yaklaşık dört kat yüksek ısı iletkenliğe, düşük viskozite katsayısına ve yüksek akış oranına sahiptir. Ayrıca suyun sıcaklığı uzun işleme sürelerinde bile etkilenmez. Bu sayede yüksek iş parçası işleme hızları elde edilebilir [14].

Su diğer hidrokarbon bazlı dielektrik sıvılar gibi işleme sırasında ayrılmaz ve CO ve CH₄ gibi sağlığa zararlı gazlar açığa çıkarmaz. Bundan dolayı sağlık ve güvenlik açısından suyun elektro erozyon ile işlemede dielektrik sıvı olarak kullanılması önem arz etmektedir [15].

Elektro erozyon ile işlemede farklı dielektrik sıvılarının kullanılmaları sonucunda ortaya çıkan maddeler Tablo 1'de gös-

Tablo 1. Farklı Dielektrik Sıvılarının Kullanılmaları Neticesinde Açığa Çıkan Maddeler [11].

Yağ bazlı dielektrik sıvılar	Deiyonize su	Su bazlı dielektrik sıvılar
Polisiklik aromatik hidrokarbonlar (örneğin: benzopirin), Parafinik hidrokarbon buharı, yağ dumanı (aerosol), metalik tanecikler, nitroaromatik bileşikler, aldehytler, asetilen, etilen, hidrojen, karbon dioksit, karbon monoksit, siyah karbon, ksilen, bütil alkol, bütil asetat	Su buharı, karbon monoksit, nitrojen oksit, ozon, metalik tanecikler, klorid	Florid, klorid, nitrit, bromid, nitrat, fosfat, sülfat, karbon dioksit, ozon, karbon monoksit, ksilen, formaldehit, tolüen, benzol

terilmiştir. Tablodan da görüleceği gibi dielektrik sıvısı olarak deiyonize su kullanıldığında en az madde açığa çıkmaktadır. Bu da, deiyonize su kullanımının diğer dielektrik sıvılarının kullanımına göre hem çalışanlara hem de çevreye daha az zarar verdiği manasına gelir [11].

Elektro erozyon ile işlemede dielektrik sıvısı olarak suyun kullanılmasının en büyük dezavantajı, suyun ısınması ve buharlaşması için, hidrokarbon bazlı yağlara oranla daha yüksek enerjiye ihtiyaç duymasındır. Bu, çalışma boşluğunda daha düşük bir gaz basıncının oluşmasına yol açar. Dolayısıyla yetersiz basınçtan dolayı her bir boşalımdan sonra iş parçası üzerindeki ergimiş metal iş parçasından uzaklaştırılmaz. Bu da sonuçta iş parçası işleme hızını düşürür [16]. Bu sorun suyun içine gliserin, etilen glikol, polietilen glikol, glikoz ve sakkaroz gibi büyük molekül yapıya sahip organik bileşiklerin katılması ile çözülebilir. Bu maddeler boşalım sırasında ayrışır ve suyun ayrışması neticesinde açığa çıkan basınçtan daha yüksek basınç açığa çıkarılır. Bu ilave yüksek basınç, ergimiş malzemenin iş parçasından uzaklaştırılmasına yardımcı olur ve sonuçta iş parçası işleme hızını artırır [17].

2. SAF SUDA ELEKTRO EROZYON İLE İŞLEME ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Jeswani ve Basu (1976), bakır ve pirinç elektrotlar kullanarak yumuşak çelik, yüksek karbon çeliği ve yüksek hız çeliğinin elektro erozyon ile işlenmesini inceledikleri çalışmalarında, dielektrik sıvısı olarak gazyağı ve saf su kullanmışlardır. Saf su ve yüksek vuruş enerjisinin kullanıldığı işlemlerde, daha düşük yüzey birikmesi ve daha düşük difüzyon derinliği gözlemlenmiştir. Yüksek hız çeliğinde en fazla birikmenin, yumuşak çelikte ise en az birikmenin olduğu belirtilmiştir [18].

Suyun dielektrik sıvısı olarak elektro erozyon ile işlemede kullanılması yine 1981 yılında Jeswani tarafından denlenmiştir. Yüksek vuruş enerjisinin (72-288 mJ) kullanıldığı deneylerde saf suyun gazyağına göre daha yüksek iş parçası işleme hızına, daha düşük elektrot aşınma hızına ve daha iyi yüzey pürüzlülüğüne sebep olduğu belirtilmiştir [19].

Erden ve Temel (1981), pirinç elektrotlar kullanarak çelik iş parçasının elektro erozyon ile işlenmesini inceledikleri çalışmalarında dielektrik sıvısı olarak deiyonize su kullanmışlardır. Özellikle 400-1500 μ s vuruş süresi aralığında, gazyağına oranla deiyonize su kullanılan işlemlerde, iş parçası işleme hızının çok yüksek, elektrot aşınma oranının ise çok düşük olduğunu gözlemlenmişlerdir [20].

Masuzawa ve ark. (1983), bakır elektrot kullanarak SK4 kalıp çeliğinin elektro erozyon ile işlenmesini inceledikleri çalışmalarında dielektrik sıvısı olarak su kullanmışlardır. Suyun içine %10, 25 ve 50 oranlarında etilen glikol, gliserin, poli-

etilen glikol 200, polietilen glikol 600 katmışlar ve deneyler sonucunda iş parçası işleme hızının konsantrasyon arttıkça arttığını belirtmişlerdir [21].

Jilani ve Pandey (1984), düşük karbon çeliği iş parçasının bakır ve pirinç elektrotlarla elektro erozyon ile işlenmesini inceledikleri çalışmalarında üç farklı dielektrik sıvısı kullanmışlardır: musluk suyu, saf su, %25 musluk suyu-%75 saf su. Düşük akım yoğunluklarında yapılan deneylerde musluk suyunun kullanıldığı işlemlerde daha iyi işleme performansının görüldüğü belirtilmiştir. Özellikle bakır elektrotun negatif kutupta yüklendiği işlemlerde sıfır elektrot aşınma oranı elde edilmiştir. Fakat 500 μ s'den daha yüksek vuruş sürelerinde, çalışma boşluğunda fazla miktarda gaz biriktiğini ve bunun dielektrik sıvısının kırılma karakteristiğini etkileyerek iş parçası işleme hızını düşürdüğünü belirtmişlerdir [22].

Kagaya ve ark., 1986 yılında yayınlanan çalışmalarında dielektrik sıvısı olarak su kullanarak 1 μ m yüzey pürüzlülüğüne sahip mikro delikleri başarılı bir şekilde elde etmişlerdir [23].

König ve Jörres (1987), yoğun konsantrasyonlu sıvı gliserin karışımının dielektrik sıvı olarak kullanıldığı çalışmalarında, uzun vuruş süresi ve yüksek boşalım akımlarında gazyağına göre daha iyi işleme performansı elde edildiğini belirtmişlerdir [24].

Karasawa ve Kunieda (1990), yaptıkları çalışmalarında dalma elektro erozyon ile işlemeyi, dielektrik sıvısının yandan püskürtüldüğü elektro erozyon ile işlemeye karşılaştırmışlardır. Su bazlı dielektrik sıvısının kullanıldığı deneylerde, erimiş malzemenin iş parçası yüzeyinden daha hızlı uzaklaştırılmasını sağladığı için, dielektrik sıvısının yandan püskürtüldüğü elektro erozyon ile işlemeye, dalma elektro erozyon ile işlemeye göre %20 daha fazla iş parçası işleme hızı elde edilmiştir [25].

Kagaya ve ark. 1990 yılında yayınlanan çalışmalarında, dielektrik sıvısı olarak su kullanarak 1 μ m yüzey pürüzlülüğüne sahip mikro yarıkları başarılı bir şekilde elde etmişlerdir [26].

König ve Siebers (1993), suyun dielektrik sıvısı olarak kullanıldığı elektro erozyon ile işlemede daha yüksek iş parçası işleme hızı elde edildiğini belirtmişlerdir. Bunun sebebinin ise suyun kullanılması ile işlemin daha yüksek ısı dengeye sahip olması ve daha yüksek güç girişinin elde edilmesi olduğunu belirtmişlerdir [27].

Kruth ve ark. (1995), dielektrik sıvısının elektro erozyon ile işleme sonucunda iş parçası yüzeyinde oluşan sert tabaka (beyaz katman) üzerindeki etkisini inceledikleri çalışmalarında, hidrokarbon bazlı dielektrik sıvı kullanımında yüzeyde yüksek karbon miktarına sahip karbür tabakasının oluştuğunu, su kullanımında ise yüzeyde dekarbonizasyon oluştuğunu belirtmişlerdir [28].

Chen ve ark. (1999), titanyum alaşımlı iş parçasının bakır elektrot kullanarak elektro erozyon ile işlenmesini inceledikleri çalışmalarında, dielektrik sıvısı olarak deiyonize su ve gazyağı kullanmışlardır. Deiyonize su kullanılarak yapılan işlemlerde, gazyağı kullanarak yapılan işlemlere göre, iş parçası işleme hızının yüksek, göreceli elektrot aşınma oranının ise düşük olduğu belirtilmiştir (Şekil 1). İş parçası yüzeyinde ise deiyonize su kullanıldığında TiO tabakasının, gazyağı kullanıldığında ise TiC tabakasının oluştuğu belirtilmiştir. Titanyum karbürün erime sıcaklığı çok yüksek olduğu için, gazyağı kullanarak yapılan işlemlerde yüzeyde biriken TiC, işlemin devam etmesi için daha fazla boşalım enerjisine ihtiyaç duyulmasına sebep olmuştur ve bu da iş parçası işleme hızını düşürmüştür. Yine gazyağı kullanarak yapılan işlemlerde elektrot üzerinde biriken karbon tabakası, boşalmanın gecikmesine sebep olduğu için de iş parçası işleme hızı düşmüştür [29].

Tzeng ve Lee (2001), yaptıkları çalışmada dielektrik sıvısı olarak su ve metal tozu karışımı kullanıldığı zaman elektrot aşınma oranının ciddi oranda düştüğünü belirtmişlerdir [30].

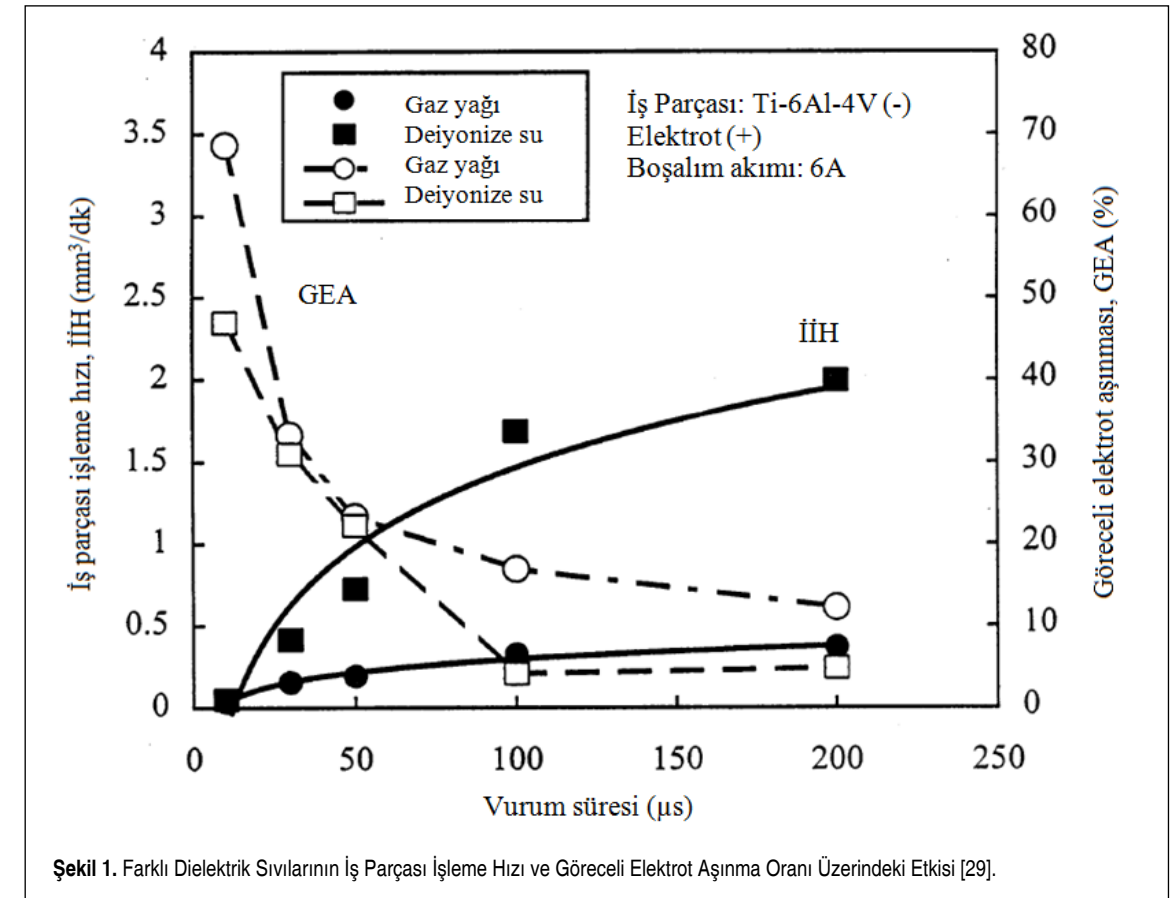
Dewes ve ark. (2001), Inconel 718 iş parçasının elektro erozyon ile işlenmesini inceledikleri çalışmalarında dielektrik sıvısı olarak Ionorex 500, gazyağı ve deiyonize su kullanmış-

lardır. Yapılan deneyler sonucunda en düşük iş parçası işleme hızı deiyonize su ile, en yüksek elektrot aşınma oranı ise gazyağı ile elde edilmiştir [31].

Kozak ve ark. (2003), elektro erozyon ile işlemede dielektrik sıvısı olarak gazyağı ve farklı konsantrasyonlarda metal tozu ilaveli deiyonize suyun kullanımının farklarını inceledikleri çalışmalarında, hem yüzey pürüzlülüğü değerlerinde hem de elektrot aşınma oranında ciddi iyileşmeler kaydetmişlerdir [32].

Ekmekçi ve ark. (2005), DIN 1.2738 iş parçasının grafit elektrot kullanarak dalma elektro erozyon ile işlenmesini inceledikleri çalışmalarında dielektrik sıvısı olarak deiyonize su kullanmışlardır. İşleme sonrası iş parçasındaki kalıcı gerilmelerin ölçüldüğü çalışmada, kalıcı gerilmelerin derinliğe bağlı olarak arttığı ve maksimum değerine ısıdan etkilenmiş bölgede ulaştığı sonucuna varılmıştır. Kalıcı gerilme yapısının işleme parametrelerine bağlı olmadığı, daha çok iş parçası ve dielektrik sıvısının ısı özelliklerine bağlı olduğu belirtilmiştir [33].

Ekmekçi ve ark. (2005), plastik kalıp çeliğinin elektro erozyon ile işlenmesinde yüzeyde meydana gelen beyaz tabakaya elektrot malzemesinin ve dielektrik sıvı cinsinin etkisini inceledikleri çalışmalarında, dielektrik sıvısı olarak suyun



Şekil 1. Farklı Dielektrik Sıvılarının İş Parçası İşleme Hızı ve Göreceli Elektrot Aşınma Oranı Üzerindeki Etkisi [29].

kullanıldığı işlemlerde beyaz katmandaki kalıcı östenit faz miktarının ve mikro çatlak yoğunluğunun daha az olduğunu belirtmişlerdir [34].

Kang ve Kim (2005), dielektrik sıvı cinsinin elektro erozyon ile işleme performansına etkisini inceledikleri çalışmalarında, gazyağı kullanıldığında işleme sonrası ısıl işlem uygulanmış iş parçasında karbonlaşma ve tanecik sınırı boyunca çatlak ilerlemesi gözlemlenmiştir. Deiyonize su kullanıldığında ise işleme sonrası ısıl işlem uygulanmış iş parçasında sadece oksidasyon gözlemlenmiştir. Herhangi bir çatlak ilerlemesine rastlanmamıştır [35].

Curodeau ve ark. (2005), sünek bir karbon-polimer elektrot yardımıyla elektro erozyon ile işlemede dielektrik sıvısı olarak su kullanmışlardır. Deney sonucunda gazyağına oranla daha yüksek iş parçası işleme hızı ve daha iyi yüzey kalitesi elde etmişlerdir [36].

Yan ve ark. (2005), saf titanyum iş parçasının bakır elektrotlar kullanılarak işlenmesini inceledikleri çalışmalarında dielektrik sıvısı olarak saf su ve üre ilaveli saf su kullanmışlardır. İşleme sırasında dielektrik sıvısından ayrılan nitrojen atomlarının iş parçası yüzeyinde birikmesi ile, yüzeyde TiN tabakasının oluştuğu ve bu sayede iş parçasının aşınma direncinin arttığı gözlemlenmiştir. Dielektrik sıvısı olarak üre ilaveli su kullanıldığında, dielektrik sıvısı olarak suyun kullanıldığı işlemlere göre daha az iş parçası işleme hızı ama daha az elektrot aşınma oranı elde edilmiştir. Yüzey pürüzlülük değerleri karşılaştırıldığında ise, üre ilaveli su ile yapılan işlemlerde daha iyi yüzey kalitesi (Şekil 2) elde edildiği belirtilmiştir [37].

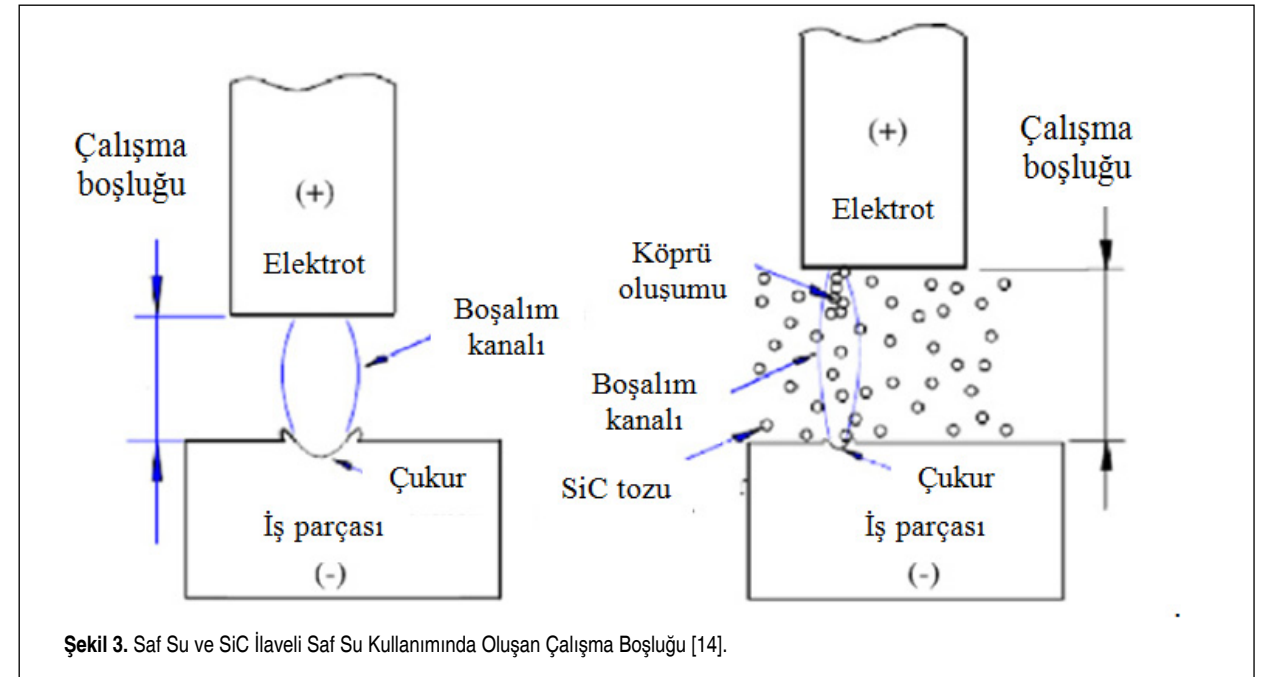
Kang ve Kim (2005), elektro erozyon ile işlemede iş parça-

sı yüzeyinde oluşan beyaz tabakadaki çatlakların ısıl işlem uygulandıktan sonraki davranışlarını inceledikleri çalışmalarında dielektrik sıvısı olarak gazyağı ve su kullanmışlardır. Dielektrik sıvısı olarak gazyağının kullanıldığı durumda, ısıl işlemden sonra tanecik sınırı boyunca çatlak ilerlemesi gözlemlenmiştir. Su ile yapılan işlemlerde ise ısıl işlemden sonra herhangi bir çatlak ilerlemesi gözlemlenmemiştir [38].

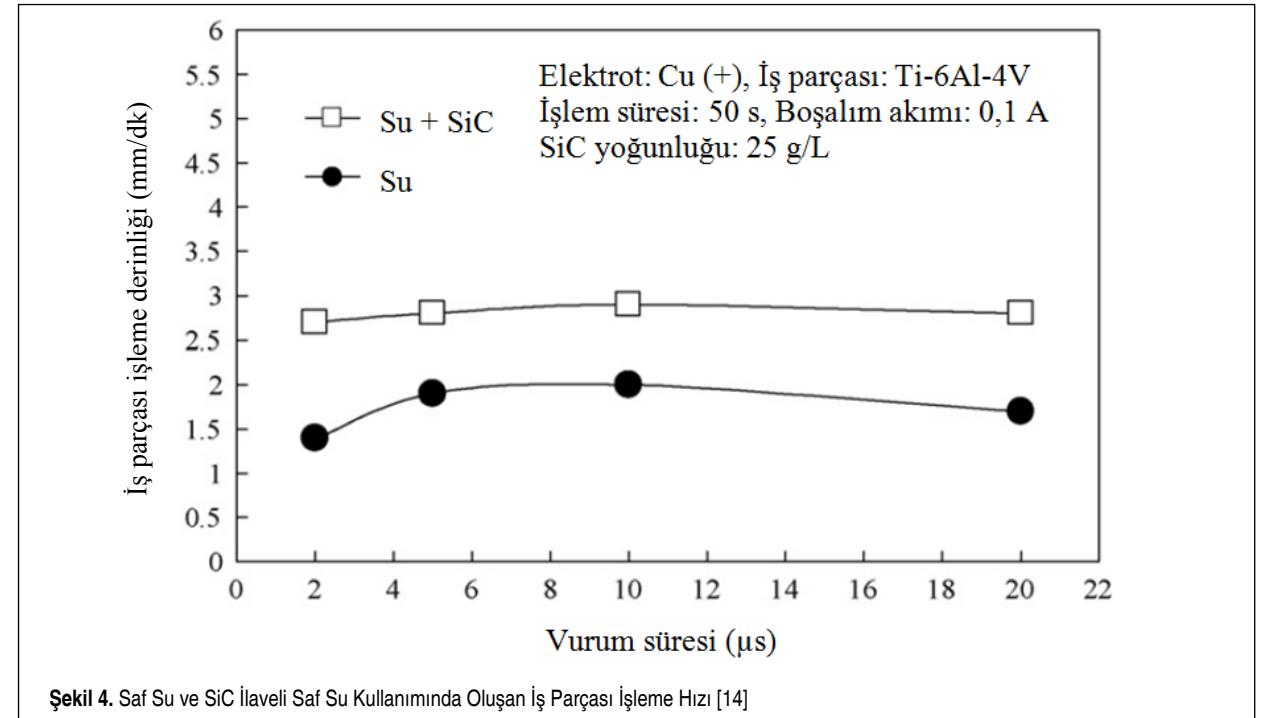
Sharma ve ark. (2005), hem suda hem de gazyağında mikro elektro erozyon ile işlemede elektriksel iletken elmas elektrotları denemişlerdir [39].

Bai ve Koo (2006, 2007), Ni tabanlı Haynes 230 iş parçasının Al-Mo toz metal elektrotlarla işlenmesini inceledikleri çalışmalarında dielektrik sıvısı olarak gazyağı ve saf su kullanmışlardır. Boşalım akımının 10 A, vurum süresinin 600 μ s olarak ayarlandığı işlemlerde elektrot negatif ve pozitif olarak iki farklı şekilde yüklenmiştir. Deney sonucunda dielektrik sıvısı olarak suyun kullanıldığı işlemlerde eğer elektrot, negatif polaritede yüklenirse, oluşan metal oksitlerin kısa devreye yol açtığı ve işlemin gerçekleşmediği görülmüştür. Gazyağının kullanılmasının ve elektrot polaritesinin pozitif olmasının daha iyi performansa yol açtığı ve toz metal elektrot kullanımının iş parçası yüzeyinde tabaka oluşumuna sebep olduğu belirtilmiştir [40, 41].

Chow ve ark. (2008), Ti-6Al-4V iş parçasının bakır elektrotlar kullanılarak işlenmesini inceledikleri çalışmalarında dielektrik sıvısı olarak saf su ve SiC tozu ilaveli saf su kullanmışlardır. Deneyler sonucunda saf suyla yapılan işlemlerde yüksek iş parçası işleme hızı ve düşük elektrot aşınma hızı elde edilmiştir. SiC ilave edilen işlemlerde daha yüksek iletkenlikten dolayı çalışma boşluğu daha yüksek çıkmıştır (Şe-



Şekil 3. Saf Su ve SiC İlaveli Saf Su Kullanımında Oluşan Çalışma Boşluğu [14].



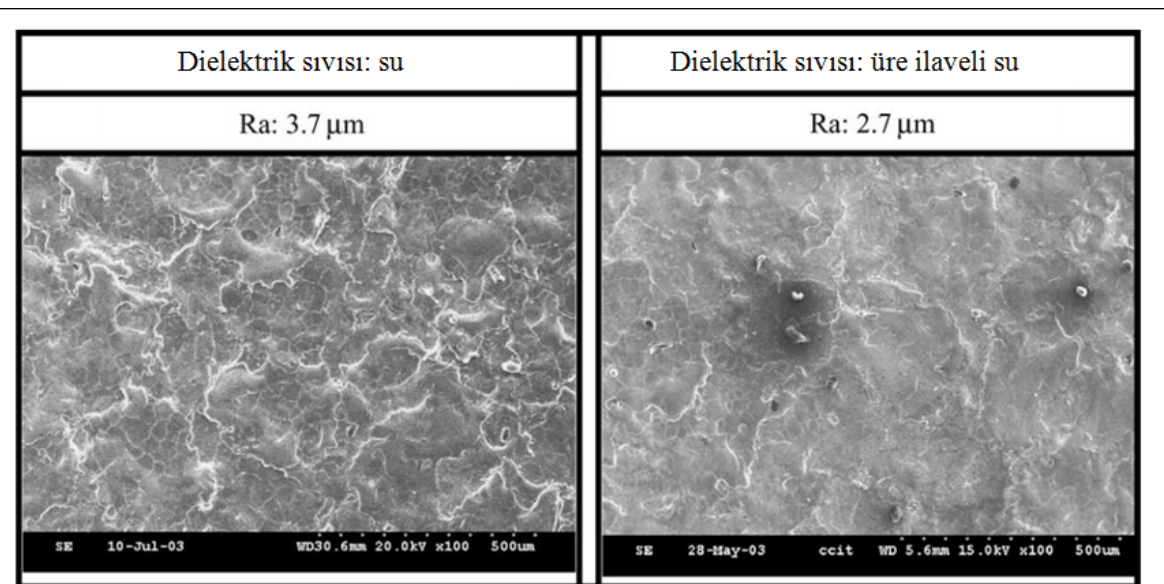
Şekil 4. Saf Su ve SiC İlaveli Saf Su Kullanımında Oluşan İş Parçası İşleme Hızı [14].

kil 3). Yapılan deneyler karşılaştırıldığında SiC ilaveli saf su kullanıldığında daha yüksek iş parçası işleme hızı ve elektrot aşınma hızı ile daha düşük yüzey pürüzlülüğü elde edilmiştir (Şekil 4, 5) [14].

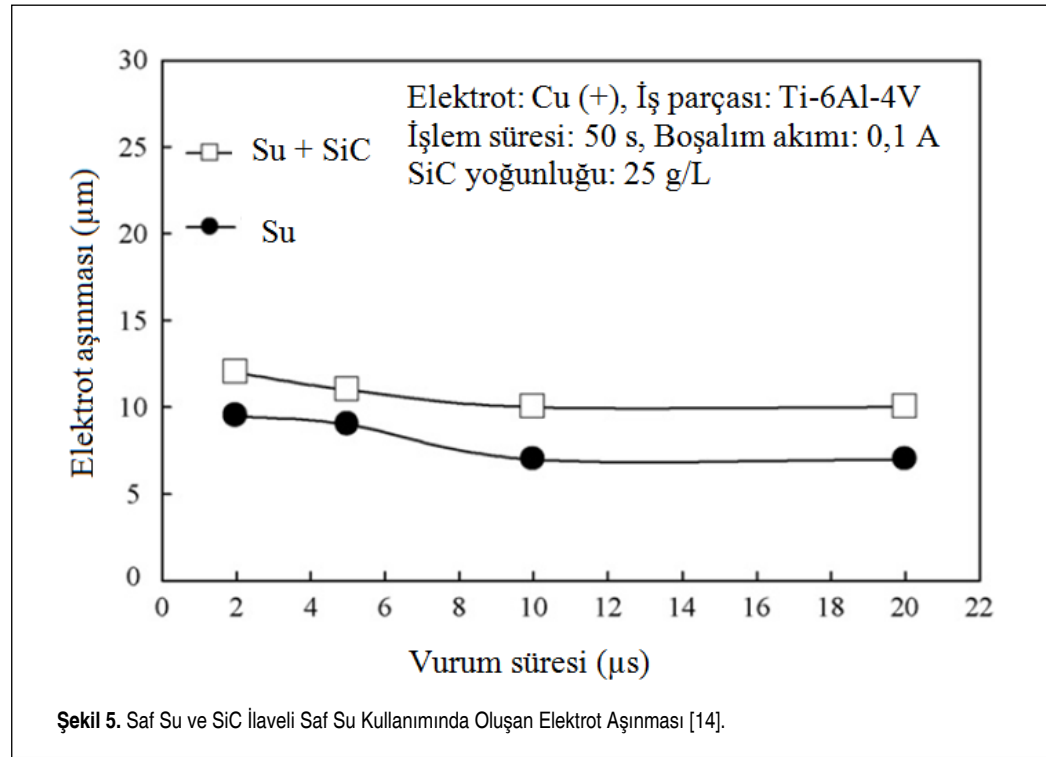
Medellin ve ark. (2009), D2 kalıp çeliğinin elektro erozyon ile işlenmesinde elektrot cinsinin (bronz ve pirinç) ve dielektrik sıvı cinsinin (musluk suyu, deiyonize su, %75 musluk suyu-%25 deiyonize su, %50 musluk suyu-%50 deiyonize

su) etkisini incelemişlerdir. Deney sonuçlarına göre musluk suyu veya %75 musluk suyu-%25 deiyonize su karışımının kullanıldığı işlemlerde deiyonize suya göre daha yüksek iş parçası işleme hızı ve daha düşük elektrot aşınma oranı elde edilmiştir [15].

Chung ve ark. (2009), tungsten karbür elektrotlar kullanarak AISI 304 çeliğinin mikro elektro erozyon ile işlenmesini inceledikleri çalışmalarında dielektrik sıvısı olarak deiyonize su



Şekil 2. Dielektrik Sıvısı Olarak Su ve Üre İlaveli Su Kullanımında Oluşan Yüzey Pürüzlülüğü [37].



Şekil 5. Saf Su ve SiC İlaveli Saf Su Kullanımında Oluşan Elektrot Aşınması [14].

kullanılmışlardır. Deneyler sonucunda iş parçası üzerinde 90 µm çapında çok hassas delik elde edilmiştir [42].

Nguyen ve ark. (2012), tungsten elektrotlar kullanarak SUS304 paslanmaz çelik iş parçasının elektrot erozyon ve elektro kimyasal işlenmesini inceledikleri çalışmalarında dielektrik sıvısı olarak düşük dirençli deiyonize su kullanmışlardır. Elektro erozyon ile işlemede dielektrik sıvısı olarak iletken olmayan sıvı, elektrokimyasal işlemede ise iletken elektrolit kullanılmaktadır. Bu iki işlemin aynı anda yapılabilmesi için ilgili araştırmacılar deiyonize su kullanmışlardır. Çünkü deiyonize su hem kılavuz oluşabilmesi için gerekli olan dielektrik direncini hem de elektrokimyasal reaksiyon için gerekli olan iletkenliği sağlar. Düşük ilerleme ve kısa voltaj vurumlarında yapılan deneylerde başarılı sonuçlar elde edilmiştir [43].

Syed ve Palaniyandi (2012), W300 çeliğinin bakır elektrotlarla elektro erozyon ile işlenmesini inceledikleri çalışmalarında dielektrik sıvısı olarak saf su kullanmışlardır. Dielektrik sıvısının içine alüminyum tozlarının karıştırıldığı deneyler sonucunda, sadece saf suyla yapılan işlemlere göre daha fazla iş parçası işleme hızı, daha iyi yüzey pürüzlülüğü ve daha az beyaz katman (iş parçası yüzeyinde oluşan katman) kalınlığı elde edilmiştir [44].

Ndaliman ve ark. (2013), titanyum alaşımı iş parçasının (Ti-6Al-4V) yüzey mikro sertliğini arttırmak için elektro erozyon ile işlemede Cu-TaC toz metal elektrot kullanmışlardır. Dielektrik sıvısı olarak üre karıştırılmış saf suyun kullanıldığı işlemlerde, boşalım akımı ve vurum süresi değiştirilerek

bunların mikro sertlik üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bakır ve tantal karbür tozları %50-%50 oranında karıştırılıp, 27.56 MPa basınçta 12 mm çapında basılmıştır. Deneyler sonucunda yüzeydeki mikro sertliği en çok etkileyen parametrelerin üre konsantrasyonu ve boşalım akımı olduğu belirtilmiştir [45].

3. SONUÇ

Literatür detaylı bir şekilde incelendiğinde aşağıdaki çıkarımlar yapılmıştır:

- Su, yüksek ısı iletkenlik, düşük viskozite katsayısı ve yüksek akış oranından dolayı, yüksek iş parçası işleme hızlarının elde edilmesini sağlayabilir. Literatür incelendiğinde her ne kadar gazyağı kullanımının daha yüksek iş parçası işleme hızına yol açtığı görülse de, deiyonize suyun içine çeşitli organik bileşikler ilave edilmesiyle iş parçası işleme hızının çok ciddi oranda arttırıldığı belirtilmiştir.
- Deiyonize su kullanımı ile daha düşük yüzey pürüzlülüğü elde edilir.
- İş parçası yüzeyinde oluşan beyaz katmanın mikro sertliği, deiyonize suyun dielektrik sıvısı olarak kullanıldığı işlemlerde, gazyağının kullanıldığı işlemlere göre daha yüksek çıkmıştır.
- Su bazlı dielektrik sıvısı kullanıldığında yüzeyde daha fazla mikro çatlaklar gözlemlenmiştir.

Aşağıda maddeler halinde listelenen başlıklar konusunda ise literatürde yeterli çalışmanın yapılmadığı görülmüştür:

- Dielektrik sıvısı olarak suyun kullanıldığı işlemlerde, boşalım akımı, vurum şekli, vurum süresi, boşalım frekansı, elektrot şekli ve boyutunun iş parçası işleme hızı, elektrot aşınma oranı ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi detaylı araştırmayı beklemektedir [46].
- Toz metal elektrot kullanılarak yapılan işlemlerde dielektrik sıvısı olarak suyun kullanımı konusunda yapılan çalışmalar çok eksiktir ve araştırılmayı beklemektedir.
- Dielektrik sıvısına metal tozu katkılı elektro erozyon ile işlemlerde, suyun içine farklı metal tozlarının (Al, SiC vs.) ilave edilmesi ile alakalı çalışmalar yapılmış olmakla birlikte, Ni, Co, Fe, Cu, Ti, C, Si, Mn, Mo, Cr, B₄C gibi tozların ilave edilmesinin etkileri incelenmeyi beklemektedir.
- Dielektrik sıvısı olarak suyun kullanıldığı işlemlerde, işleminin matematiksel, ısı ve fiziksel modellenmesine ait çalışmalar literatürde eksiktir.
- Dielektrik sıvısı olarak suyun kullanıldığı işlemlerde, dielektrik sıvı tankının karıştırılması yanı sıra dielektrik sıvı tankının, iş parçasının veya elektrotun titreşiminin etkileri detaylı araştırmayı beklemektedir.
- Son yıllarda popülerliği artan mikro elektro erozyon ile işlemlerde, suyun ve su bazlı dielektrik sıvılarının kullanımının etkileri araştırmayı beklemektedir.

KAYNAKÇA

1. Ho, K.H., Newman, S.T. 2003. "State of the Art Electrical Discharge Machining," International Journal of Machine Tools & Manufacture, vol.37, no.11, p.1287-1300.
2. Abbas, N.M., Solomon, D.G., Bahari, M.F. 2007. "A review On Current Research Trends In Electrical Discharge Machining (EDM)," International Journal of Machine Tools and Manufacture, vol.47, no.7-8, p.1214-1228.
3. Kunieda, M., Lauwers, B., Rajurkar, K.P., Schumacher, B.M. 2005. "Advancing EDM Through Fundamental Insight into the process," CIRP Annals – Manufacturing Technology, vol.54, no.2, p.64-87.
4. Ojha, K., Garg, R.K., Singh, K.K. 2010. "MRR Improvement in Sinking Electrical Discharge Machining: A Review," Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering, vol.9, no.8, p.709-739.
5. Kumar, S., Singh, R., Singh, T.P., Sethi, B.L. 2009. "Surface Modification By Electrical Discharge Machining: A Review," Journal of Materials Processing Technology, vol.209, no.8, p.3675-3687.
6. Kansal, H.K., Singh, S., Kumar, P. 2007. "Technology and Research Developments in Powder Mixed Electric Discharge Machining (PMEDM)," Journal of Materials Processing Technology, vol.184, no.1-3, p.32-41.
7. Uno, Y., Okada, A., Çetin, S. 2001. "Surface Modification of EDMed Surface With Powder Mixed Fluid," 2nd International Conference on Design and Production of Dies and Molds.
8. Kunieda, M., Yoshida, M. 1997. "Electrical Discharge Machining in Gas," Annals of the CIRP, vol.46, no.1, p.143-146.
9. Yeo, S.H., Tan, L.K. 1999. "Effects of Ultrasonic Vibrations in Micro Electro-Discharge Machining," Journal of Micro-mechanics and Microengineering, vol.9, p.345-352.
10. Naveen, B., Sachin, M., Chitra, S., Anil, K. 2010. "Technological Advancement in Electrical Discharge Machining With Powder Metallurgy Processed Electrodes: A Review," Materials and Manufacturing Processes, vol.25, no.10, p.1186-1197.
11. Leão, F.N., Pashby, I.R. 2004. "A Review on the Use of Environmentally-Friendly Dielectric Fluids in Electrical Discharge Machining," Journal of Materials Processing Technology, vol.149, p.341-346.
12. Rajurkar, K.P., Sundaram, M.M., Malshe, A.P. 2013. "Review of Electrochemical and Electrodischarge Machining," Procedia CIRP 6, p.13-26.
13. Bari, P., Rode, S., Duduke, A., Shinde, P., Srivastav, V. 2012. "Dielectric Fluid in Electro Discharge Machining," Third Biennial National Conference on Nascent Technologies, Fr. C. Rodrigues Institute of Technology, Vashi, Navi Mumbai.
14. Chow, H.C., Yang, L.D., Lin, C.T., Chen, Y.F. 2008. "The use of SiC Powder in Water as Dielectric for Micro-Slit EDM Machining," Journal of Materials Processing Technology, vol.195, p.160-170.
15. Medellin, H.I., de Lange, D.F., Morales, J. 2009. "Experimental Study on Electrodischarge Machining in Water of D2 Tool Steel Using Two Different Electrode Materials," Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B-Journal of Engineering Manufacture, vol.223, no.11, p.1423-1430.
16. Masuzawa, T. 1981. "Machining Characteristics of EDM Using Water as Dielectric Fluid," Proceedings of the 22nd Machine Tool Design and Research Conference, Manchester, UK, p.441-447.
17. König, W., Klocke, F., Sparrer, M. 1995. "EDM-Sinking Using Water-Based Dielectrics and Electropolishing-A New Manufacturing Sequence in Tool-Making," Proceedings of the 11th International Symposium on Electromachining (ISEM XI), Lausanne, Switzerland, p.225-234.
18. Jeswani, M.L., Basu, S. 1976. "Electron Microprobe Study of Deposition and Diffusion of Tool Material in Electrical Discharge Machining," International Journal of Production Research, vol.17, no.1, p.1-14.
19. Jeswani, M.L. 1981. "Electrical discharge machining in distilled water," Wear, vol.72, p.81-88.
20. Erden, A., Temel, D. 1981. "Investigation on the use of Water as a Dielectric Liquid in Electric Discharge Machining,"

- Proceedings of the 22nd Machine Tool Design and Research Conference, Manchester, UK, p.437–440.
21. **Masuzawa, T., Tanaka, K., Nakamura, Y., Kinoshita, N.** 1983. "Water-Based Dielectric Solution for EDM," *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, vol.32, no.1, p.119–122.
 22. **Jilani, S.T., Pandey, P.C.** 1984. "Experimental Investigations into the Performance of Water as Dielectric in EDM," *International Journal of Machine Tool Design and Research*, vol.24, p.31–43.
 23. **Kagaya, K., Oishi, Y., Yada, V.** 1986. "Micro Electrodischarge Machining Using Water As A Working Fluid-I: Micro-Hole Drilling," *Precision Engineering*, vol.8, p.157–162.
 24. **König, W., Jörres, L.** 1987. "An Aqueous Solution of Organic Compounds as Dielectric for EDM Sinking," *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, vol.36, no.1, p.105–109.
 25. **Karasawa, T., Kunieda, M.** 1990. "EDM Capability With Poured Dielectric fluids Without a Tub," *Bulletin of Japan Society of Precision Engineering*, vol.24, p.217–218.
 26. **Kagaya, K., Oishi, Y., Yada, K.** 1990. "Micro Electrodischarge Machining Using Water As A Working Fluid 2: Narrow Slit Fabrication," *Precision Engineering*, vol.12, p.213–217.
 27. **König, W., Siebers, F.J.** 1993. "Influence of the Working Medium on the Removal Process in EDM Sinking," *American Society of Mechanical Engineers, Production Engineering Division (PED) Conference Publication*, vol.64, p.649–658.
 28. **Kruth, J.P., Stevens, L., Froyen, L., Lauwers, B.** 1995. "Study of the White Layer of a Surface Machined By Diesinking Electro-Discharge Machining," *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, vol.44, p.169–172.
 29. **Chen, S.L., Yan, B.H., Huang, F.Y.** 1999. "Influence of Kerosene and Distilled Water as Dielectrics on The Electric Discharge Machining Characteristics of Ti–6Al–4V," *Journal of Materials Processing Technology*, vol.87, p.107–111.
 30. **Tzeng, Y.F., Lee, C.Y.** 2001. "Effect of Powder Characteristics on Electro Discharge Machining Efficiency," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol.17, no.8, p.586–592.
 31. **Dewes, R., Aspinwall, D., Burrows, J., Paul, M., El-Menshawey, F.** 2001. "High Speed Machining-Multi-Function/Hybrid Systems," *Proceedings of the Fourth International Conference on Industrial Tooling*, Southampton, United Kingdom, p.91–100.
 32. **Kozak, J., Rozenek, M., Dabrowski, L.** 2003. "Study of Electrical Discharge Machining Using Powder-Suspended Working Media," *Journal of Engineering Manufacture, Proceedings of the Instrumental Mechanic Engineers*, vol.217, p.1597–1602.
 33. **Ekmekçi, B., Elkoca, O., Tekkaya, A.E., Erden, A.** 2005. "Residual Stress State and Hardness Depth in Electric Discharge Machining: De-ionized Water as Dielectric Liquid," *Machining Science and Technology: An International Journal*, vol.9, no.1, p.39–61.
 34. **Ekmekçi, B., Elkoca, O., Erden, A.** 2005. "A Comparative Study on the Surface Integrity of Plastic Mold Steel Due to Electric Discharge Machining," *Metallurgical and Materials Transactions B*, vol.36, no.1, p.117–124.
 35. **Kang, S.H., Kim, D.E.** 2005. "Effect of Electrical Discharge Machining Process on Crack Susceptibility of Nickel Based Heat Resistant Alloy," *Material Science Technology*, vol.21, p.817–823.
 36. **Curodeau, A., Marceau, L.F., Richard, M., Lessard, J.** 2005. "New EDM Polishing and Texturing Process With Conductive Polymer Electrodes," *Journal of Materials Processing Technology*, vol.159, p.17–26.
 37. **Yan, B.H., Tsai, H.C., Huang, F.Y.** 2005. "The Effect in EDM of a Dielectric of a Urea Solution in Water on Modifying the Surface of Titanium," *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, vol.45, p.194–200.
 38. **Kang, S.H., Kim, D.E.** 2005. "Effect of Electrical Discharge Machining Process on Crack Susceptibility of Nickel Based Heat Resistant Alloy," *Materials Science and Technology*, vol.21, p.817–823.
 39. **Sharma, A., Iwai, M., Suzuki, K., Uematsu, T.** 2005. "Potential of Electrically Conductive Chemical Vapor Deposited Diamond As An Electrode For Micro-Electrical Discharge Machining in Oil And Water," *New Diamond and Frontier Carbon Technology*, vol.15, p.181–194.
 40. **Bai, C. Y., Koo, C. H.** 2006. "Effects of Kerosene or Distilled Water As Dielectric on Electrical Discharge Alloying of Superalloy Haynes 230 with Al–Mo Composite Electrode," *Surface & Coatings Technology*, vol.200, p.4127–4135.
 41. **Bai, C. Y.** 2007. "Effects of Electrical Discharge Surface Modification of Superalloy Haynes 230 With Aluminum and Molybdenum on Oxidation Behavior," *Corrosion Science*, vol.49, p.3889–3904.
 42. **Chung, D.K., Shin, H.S., Kim, B.H., Park, M.S., Chu, C.N.** 2009. "Surface Finishing of Micro-EDM Holes Using Deionized Water," *Journal of Micromechanics and Microengineering*, vol.19, p.1–7.
 43. **Nguyen, M.D., Rahman, M., Wong, Y.S.** 2012. "Simultaneous Micro-EDM and Micro-ECM in Low-Resistivity Deionized Water," *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, vol.54–55, p.55–65.
 44. **Syed, K.H., Palaniyandi, K.** 2012. "Performance of Electrical Discharge Machining Using Aluminium Powder Suspended Distilled Water," *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, vol.36, p.195–207.
 45. **Ndaliman, M.B., Khan, A.A, Ali, M.Y.** 2013. "Influence of Electrical Discharge Machining Process Parameters On Surface Micro-Hardness of Titanium Alloy," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B-Journal of Engineering Manufacture*, vol.227, no.3, p.460–464.
 46. **Singh, S., Bhardwaj, A.** 2011. "Review to EDM by Using Water and Powder-Mixed Dielectric Fluid," *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*, vol.10, no.2, p.199–230.