

Geleneksel ve SiC Toz Katkılı Yüksek Darbe Enerjili Elektriksel Kıvılcımla İşlenmiş Dupleks Çelik Yüzeylerin İncelenmesi

Investigation of Duplex Steel Surfaces in Conventional and SiC Powder Mixed Electrical Discharge Machining Using High Pulse Energy

Bülent Ekmekci

Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye

Öz

Bu çalışmada dupleks (çift fazlı) çelik numuneler, su ve hidro-karbon bazlı dielektrik sıvılarda, toz katkısız ve SiC toz katkısı kullanılarak elektriksel kıvılcım yöntemi ile işlenmiştir. İşlenen yüzeyler elektron mikroskopisi, x-ışını kırınım kristalografisi ile incelenmiş ve yüzey topografisi ile ilgili sonuçlar karşılaştırmalı biçimde irdelenmiştir. Elde edilen bulgular; bu yöntemle işlenmiş ferritik dupleks çeliklerle benzer mikro çatlak ağ yapılarının farklı dielektrik ortamlarda oluştuğunu göstermiştir. Dupleks çeliklerin yapısında bulunan ferritik taneler hidro-karbon bazlı dielektrik sıvıda kalıntı östenite dönüşmekte ve yeniden katılaştıran katmanda taneler arası dönüşüm gerilmelerini düşürmektedir. Ancak, dielektrik sıvı olarak su kullanıldığında, östenitleşme azalmakta ve yeniden katılaştıran katmanda taneler arası dönüşüm gerilmeleri yükselmektedir.

Anahtar Kelimeler: Çift fazlı çelik, Elektriksel kıvılcım ile işleme, Yeniden katılma

Abstract

Duplex steel samples were electrical discharge machined using non-additive and SiC powder additives in water and hydrocarbon based dielectric liquid. Machined surfaces were examined using scanning electron microscopy, x-ray diffraction crystallography and the results regarding the surface topography were discussed in a comparative manner. If the findings were compared with ferritic steel, duplex steel surfaces would exhibit similar micro-cracks network on the surface but in different dielectric media. Ferritic grains in the structure of duplex steel is transformed to retained austenite when using hydrocarbon based dielectric liquid during machining which reduces the intergranular transformational stresses in the re-solidified layer. However, austenitization decreases when water is used as dielectric liquid and transformational stresses increase in the re-solidified layer.

Keywords: Dual phase steel, Electrical discharge machining, Re-solidification

1. Giriş

Elektriksel Kıvılcımla İşleme (EKİ) yöntemi, yalıtkan (dielektrik) ortamda, birbirleri ile temas etmeyen, dar bir aralıkla konumlandırılmış elektrotlar arasında, kontrollü ardışık elektriksel boşalmaların (kıvılcımların) oluşturulması temeline dayanır. EKİ uygulamalarında şekil verilmek istenilen elektrot, iş parçası olarak tanımlanır. Bir elektrik güç kaynağından sağlanan açık aralık gerilimi (~100-400 V) elektrot ve iş parçası arasına uygulanır. Yüklenmiş elektrot iş parçasına doğru kontrollü biçimde ilerletilir. İlerleme hareketi, iş parçası ile elektrot arasındaki dielektrik ortam

kalınlığını sürekli azaltır ve yalıtım direncini düşürür. Aynı zamanda şiddetlenen elektrik alanı, dielektrik ortamın polarizasyonuna neden olur. Dielektrik ortam kalınlığı kritik bir eşige düştüğü anda (~15-30 µm) üzerindeki elektrik alanını taşıyamaz ve yalıtkan ortam kırılır. Kırılma, yükselen elektrik alanda polarizasyonunun şiddetlenerek düşük dirençli bir plazma kanalının oluşum süreci şeklinde tanımlanabilir. Uygulanan açık aralık gerilimi bu esnada düşer (~30 V) ve plazma kanalı üzerinden akım geçişiyle, elektrot ve iş parçası temas yüzeylerine yoğun elektron ve iyon bombardımanı başlar. Plazma kanalı aynı zamanda kendisini çevreleyen dielektrik ortam moleküllerini de iyonlarına ayırmakta ve akım geçişi devam ettiği sürece genişlemektedir. Plazma kanalı, elektronlar ile birlikte, elektrot, iş parçası ve dielektrik ortam iyonlarından oluşmaktadır. Plazma kanalını

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: bekmekci@hotmail.com

oluşturan atomik taneciklerin elektrot temas yüzeylerini yoğun bombardımanı, sıcaklık (~20000K) ve basınç yükselmesi ile sonuçlanır. Kıvılcımın etki ettiği süreler boyunca (~1-2000 μ s) plazma kanalındaki yüksek basınç, aşırı ısınmış eriyik malzemenin buharlaşmasını engeller. Elektriksel akımın sonlandırılmasıyla plazma kanalı kapanır ve basınç aniden düşer. Elektrot ve iş parçası yüzeylerinde aşırı ısınmış eriyik malzeme buharlaşarak, kapanan plazma kanal boşluğunu hızla dolduran dielektrik ortam içerisine püskürür. Püsküren malzeme soğuk dielektrik ortam ile karşılaştığı anda küre benzeri yapılarda çökerek katılaştır ve ortam sirkülasyonu ile işlem bölgesinden uzaklaştırılır. Benzer şekilde, malzeme kaybına uğrayarak küçük birer krater şeklini almaya başlayan elektrot ve iş parçası temas yüzeyleri, üzerine hücum eden dielektrik ortamın ısı taşınım etkisi ile yüzeyden ana faz malzemesine doğru katılaşmaya devam eder. Kıvılcımın etkili olduğu hacimden göreceli çok daha büyük hacme sahip ve halen düşük sıcaklıkta bulunan ana faz malzemesinin ısı iletim etkisiyle, diğer bir katılma cephesi de ana faz malzemesinden yüzeye doğru ilerler. Bekleme süresi sonunda, birbirleri ile karşılaşan katılma cepheleri yüzey yapısını şekillendirmeye başlar ve biri iş parçası, diğeri elektrot yüzeyinde olmak üzere iki küçük krater oluşur. Şekil verilmiş bir elektrot, kontrollü ilerleme ve yüksek hızda uygulanan ardışık kıvılcımlar ile elektrot dişi şekli iş parçası üzerinde işlenir.

Kıvılcım oluşumu ve sonrasında gelişen karmaşık fiziksel değişimler, dielektrik ortam ve takım elektrot malzeme elementlerinin işlem yüzeyine taşınma olasılığını da ortaya koymaktadır. Yüksek sıcaklıklar ile birlikte ortam elementleri ile zenginleşmiş eriyik malzeme, işlem sırasında hızla katılaşmaktadır (Ramulu ve Garbini 1991, Tabrett 1996). Ortaya çıkan değişimler, kullanılan iş parçası, elektrot, dielektrik malzeme özellikleri ile birlikte, işleme sırasında uygulanan elektriksel darbenin süresi, akımı ve bekleme süresi gibi birçok değişkene bağlıdır. Örneğin çelik parçaların yüksek darbe süresi ve düşük darbe akımı ile işlenmesinde yüzeyde mikro çatlaklar ile karşılaşmaktadır. Bu sonuç, malzemenin kopma mukavemetinin, eriyik malzemenin soğuması esnasında oluşan yüksek çekme gerilmeleri ile aşılabildiğini göstermektedir (Lee ve Tai 2003). İşleme koşullarına bağlı olarak, çatlaklar yüzeylerde gelişigüzel dağılabildiği gibi, belirgin ağ yapıları da oluşturabilirler (Ekmekci 2009). Ayrıca, işlenmiş yüzeylerdeki, özellikle krater çeperlerine bütünsel kürecikler, baca benzeri yapılar yüzeyin karakteristik özellikleri arasında yer alır (Ekmekci 2007) ve işleme koşullarına bağlı olarak yoğunlukları değişir.

Çeşitli boyutlarda metalik yada seramik toz katkılarının dielektrik sıvıya karıştırılarak EKİ yönteminde kullanılması işleme performansını iyileştirmektedir. Toz Katkılı Elektriksel Kıvılcım ile İşleme (TK-EKİ) olarak adlandırılan yöntem son yıllarda araştırmacıların yoğun ilgisi ile karşılaşmaktadır. Dielektrik sıvıda asılı toz taneleri; işleme sırasında oluşan kıvılcımların oluşum, gelişim ve sonlanma evrelerini ortamda süreksizlikler oluşturarak değiştirmektedir. Bu bakımdan TK-EKİ yöntemi, geleneksel EKİ yöntemi ile karşılaştırıldığında farklı işleme mekanizmalarının etkin olduğu söylenebilir (Ekmekci ve Ersöz 2012). İşleme sırasında, iş parçası ve takım elektrot arasındaki ortamın elektriksel özellikleri, yöntemin doğru biçimde değerlendirilebilmesi açısından kritik öneme sahiptir. Dielektrik sıvıda asılı toz taneleri, ortamın yalıtım direncini düşürerek, elektriksel boşalım kanal oluşumunu kolaylaştırarak işlemin performansını yükseltir (Schumacher 1990). Örneğin, dielektrik sıvıya manganez ve karbon tozu katkısı, yeniden katılma katman sertliğini arttırmakta ve mikro çatlak oluşumunu belirgin ölçüde azaltmaktadır (Kumar ve Singh 2010). Toz katkısı, malzeme kaldırma hızını artırırken takım aşınma hızını da düşmektedir (Batish vd. 2015). Süper alaşım kobalt iş parçalarının yöntem ile dielektrik sıvıda grafit toz katkısı kullanılarak işlenmesinde yüzey kalitesi gelişmektedir (Singh vd. 2014). Elde edilen performans iyileşmeleri, elektriksel alan içerisinde yer alan asılı toz tanelerinin salınımlı dinamik hareketleri ile açıklanmaya çalışılmıştır (Zhao vd. 2001, Furutani vd. 2001). Toz tanelerinin bu hareketleri daha büyük elektrotlar arası mesafede işlemeyi olanaklı kılarak, dielektrik ortam sirkülasyonunu kolaylaştırmaktadır (Rehbein vd. 2004). Son yıllarda yapılan çalışmalar toz katkılarının işlenen yüzeye farklı mekanizmalar aracılığı ile eklenerek, toz katkısı malzemesi açısından zengin yapıların oluştuğunu göstermiştir (Janmanee ve Muttamara 2012). Elde edilen bulgular, fonksiyonel yüzeylerin yöntemle elde edilebilmesi açısından gelecek vaat etmektedir.

Hem östenitik hem de ferritik çelik özelliklerini bünyesinde barındıran dupleks çelikler sahip olduğu yüksek korozyon direnci ve mukavemet özellikleri ile geniş endüstriyel uygulama alanına sahiptir. Bu tür çelik yüzeylerinin EKİ sonucunda uğradığı yapısal ve topolojik değişimler, işleme sırasında meydana gelen yüksek noktasal sıcaklıklar, takım elektrot ve dielektrik ortam arasındaki etkileşimler nedeniyle ilgi çekicidir. Ayrıca, TK-EKİ ve geleneksel EKİ yöntemleri karşılaştırıldığında, iş parçası yüzeyinde oluşan farklılıklar, yöntemin karmaşık fiziksel doğasının daha iyi anlaşılabilmesini sağlayacaktır. Bu nedenlerle, dupleks

Çizelge 1. Numunelerin kimyasal bileşimi (wt %).

Malzeme	C	Cr	Ni	Mo	Mn	P	S
DIN 1.4442	0.03	21.0-23.0	4.5-6.5	2.5-3.5	2.0	0.035	0.015

Çizelge 2. EKİ ve TK-EKİ işleme parametreleri.

Numune	Takım Elektrot	Dielektrik Sıvı	SiC Toz Katkısı
1	Bakır	Su	-
2	Grafit	Su	-
3	Bakır	Su	15 g/l
4	Grafit	Su	15 g/l
5	Bakır	Yağ	-
6	Grafit	Yağ	-
7	Bakır	Yağ	15 g/l
8	Grafit	Yağ	15 g/l

çelik iş parçaları, parametrik yaklaşımla EKİ ve TK-EKİ yöntemleri ile işlenmiş ve yüzey özellikleri karşılaştırmalı biçimde irdelenmiştir.

2. Gereç ve Yöntem

3 m uzunluğunda ve 12 mm çapında temin edilen dubleks çelik (Çizelge 1) çubuğun çapı tornalanarak 10 mm'ye düşürülmüş ve 8 mm'lik aralıklarla kesilerek numuneler elde edilmiştir. Numuneler, atmosferik bir fırında 600 °C sıcaklıkta 1 saat tutma ve 8 saat soğuma süresi ile gerilim giderme tavına tabi tutulmuştur. Tavlama işlemi sonrası numune yüzeyleri sırası ile 400, 800 ve 1200 kum zımpara ile parlatılmıştır.

EKİ ve TK-EKİ Ajan CNC Model 983 marka 4 eksenli dalma tip erozyon tezgâhında yapılmıştır. Tezgahın dielektrik sirkülasyon sistemi farklı dielektrik sıvı ve toz katkılı işlemeye olanak tanımadığından, havuz, mekanik karıştırıcı ve numune tutma aparatından oluşan yeni bir sistem, tezgah tablası üzerine montajlanmıştır. Böylelikle, farklı dielektrik sıvı ve toz katkıları kullanılarak işleme mümkün hale gelmiştir. İşlemlerde elektrolitik bakır ve grafit malzemeleri takım elektrot, hidro-karbon bazlı erozyon yağı ve deionize su dielektrik ortam sıvıları olarak denenmiştir. Ayrıca, TK-EKİ denemeleri için dielektrik sıvıya 15 g/l yeşil 800 mesh (10-15 µm) SiC katkısı karıştırılmıştır (Çizelge 2). EKİ sırasında yüksek darbe enerjisi kullanıldığında iş parçası, dielektrik sıvı ve takım elektrot malzemesi arasında daha yoğun etkileşimler beklenmektedir. Bu nedenle, bütün

numuneler 400 µs darbe süresi ve 42 A darbe akımı kullanılarak işlenmiştir.

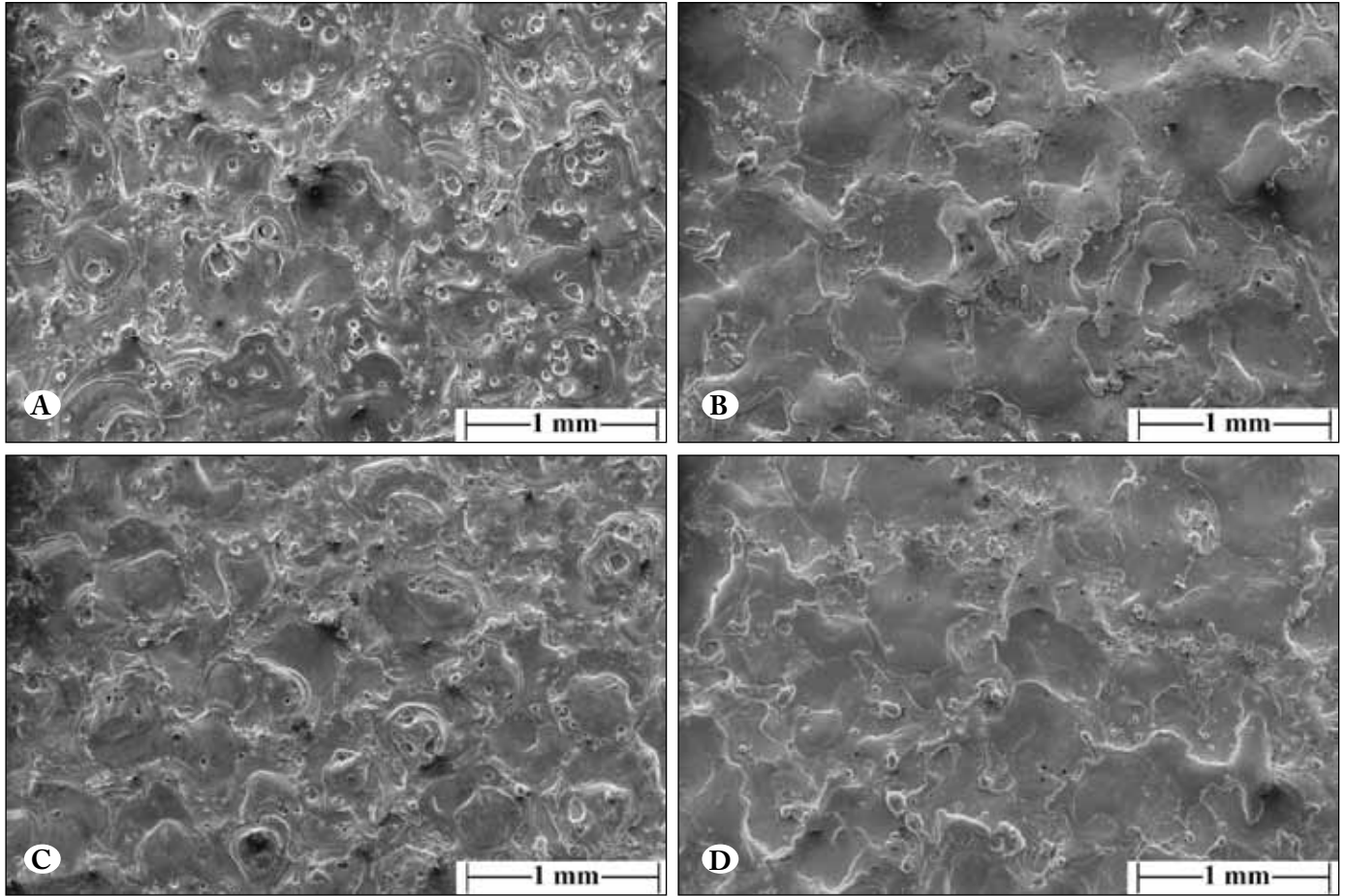
EKİ ve TK-EKİ ile işlenmiş yüzeyler FEI Quanta 450 marka taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiştir. Taramalı elektron mikroskobu, Enerji Dağılımlı Spektrometre (EDS), dalga boyu dağılımlı x-ışını spektroskopisi ve elektron kırınımını geri yansıtma gibi donanımlara sahiptir. Yüzeylerin x-ışını saçılım izleri PANalytical Empyrean marka analizör kullanılarak elde edilmiştir. Veriler dalga boyu $\lambda = 1.5406$ nm Cu-Ka ışınımı kullanılarak $20^\circ \leq 2\theta \leq 120^\circ$ aralığında elde edilmiş ve fazlar JPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Standards) katalogları taranarak belirlenmiştir.

3. Deneysel Bulgular ve Değerlendirme

3.1. İşlemlerde Suyun Dielektrik Sıvı Olarak Kullanımı

EKİ ile işlenmiş yüzeyler ardışık kıvılcımların ısı etkisiyle meydana gelen kraterler ile karakterize edilirler. Saf suda ve bakır elektrot ile EKİ yapıldığında krater yapıları üzerinde daha küçük ikincil krater oluşumları göze çarpmaktadır (Şekil 1A). Aynı işleme koşulları altında grafit takım elektrot kullanıldığında ise, krater çeperlerine doğru eriyik metal akışıyla oluşan kenar yığılmaları gözlemlenmiştir (Şekil 1B). EKİ sırasında dielektrik sıvıya eklenen SiC toz katkısı yüzeyin topolojisini değiştirmektedir. Bakır takım elektrot kullanıldığında belirgin krater yapıları üzerinde oluşan küçük ikincil krater oluşumlarının sayısı düşmekte (Şekil 1C) grafit takım elektrotu kullanıldığında ise krater çeperlerinde doğru oluşan yığılmalar azalmaktadır. Sonuç olarak kraterler yayvan bir görüm sergilemektedir (Şekil 1D).

Elde edilen sonuçlar oluşan kıvılcım formlarının, işleme sırasında kullanılan takım elektrot malzemesine göre değiştiğini ortaya koymaktadır. Bakır takım elektrot kullanıldığında kıvılcımlar tekil kanallar biçiminde değildir. Yüksek enerji seviyesine sahip bir ana kıvılcım kanalı, dielektrik sıvı içerisinde ikincil kollara bölünmektedir. Böylece, daha yüksek enerji seviyesine sahip ana kıvılcım kanalı büyük, ana boşalım kanalından bölünerek kollara ayrılmış ikincil kıvılcımlar ise küçük kraterleri oluşturmaktadır. İşleme sırasında oluşan krater yapıları daha yakından incelendiğinde (Şekil 2A) ikincil kıvılcımların neden olduğu kraterlerin derin olduğu ve çeperlerinde yığılma kenarlarının oluşmadığı



Şekil 1. Saf suda EKİ ve TK-EKİ yöntemleri ile işlenmiş yüzeylerin genel görünümü. **A)** Toz katkısız dielektrik sıvıda bakır takım elektrot kullanarak işleme. **B)** Toz katkısız dielektrik sıvıda grafit takım elektrot kullanarak işleme. **C)** Dielektrik sıvıda 15 g/l SiC toz katkısı ve bakır takım elektrot kullanarak işleme. **D)** Dielektrik sıvıda 15 g/l SiC toz katkısı ve grafit takım elektrot kullanarak işleme.

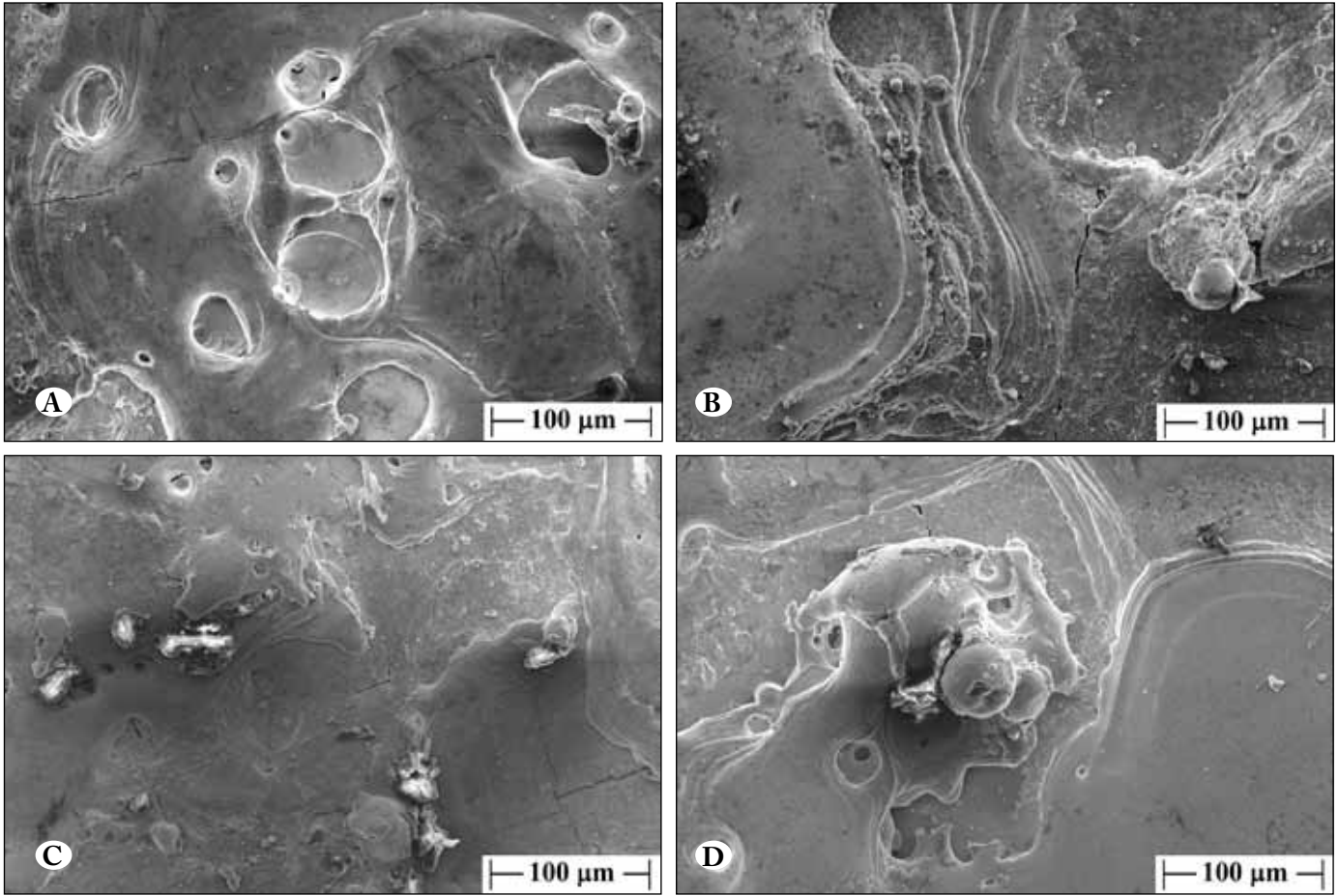
görülmektedir. Bu sonuç ana kıvılcım kanalının etkisi altında ikincil kıvılcımların oluşumu ile açıklanabilir. Ana kıvılcım kanalını işleme aralığında en kısa mesafeyi kat ederken, ana kanaldan ayrılan ikincil kıvılcımlar daha uzun bir yol takip etmektedir. Bu durum ilk önce ana kanalın, ardından ikincil kıvılcımların ısı etkisinin yüzeyde oluşacağı sonucunu doğurur. İkincil kıvılcımlar gerçekte yüksek sıcaklıkta eriyik malzemeye yüzeyine etkimektedir.

İşleme sırasında grafit takım elektrot kullanıldığında kıvılcımlar tekil kanallar biçiminde oluşmakta ve her bir kıvılcım etki ettiği yüzeyde belirgin kraterleri meydana getirmektedir. Kıvılcım süresi sonunda hızla kapanan plazma kanalı negatif basınç oluşturmakta ve dielektrik sıvı, plazma kanalının bıraktığı boşluğu geri doldurarak basıncı tekrar yükseltmektedir. Bu durumda eriyik metal hızla krater çeperlerine doğru yönelmektedir. Eriyik metalin akış çizgileri krater çeperlerinde belirgindir (Şekil 2B) ve

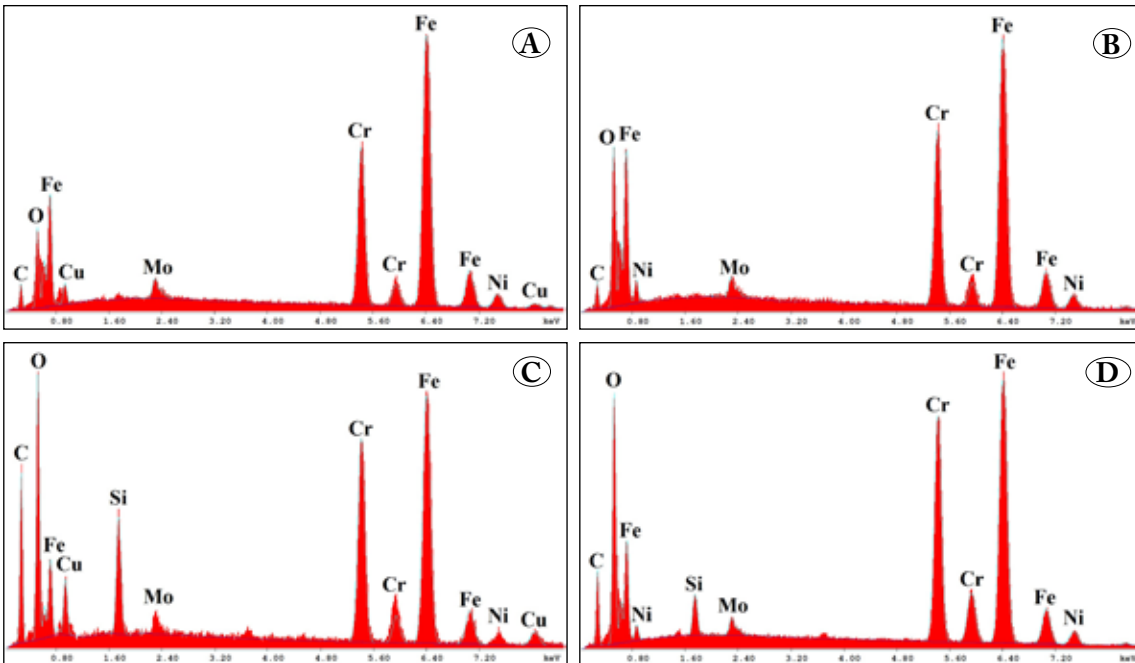
kıvılcımların etki ettiği süre sonunda daha kalın eriyik bir metal havuzunun oluştuğunu göstermektedir.

TK-EKİ yüzeylerde, krater çeperlerine farklılaşmış geometrilerle bağlanmış eklentiler özellikle bakır takım elektrot kullanımı durumunda dikkat çekicidir (Şekil 2C). Benzer oluşumlar grafit takım elektrot ile işlenmiş yüzeylerde daha düşük sıklıklarla gözlemlenmiştir (Şekil 2D). Alansal tarama ile elde edilen EDS izleri (Şekil 3) takım elektrotu ve dielektrik sıvıdan, işlenmiş yüzeye malzeme taşınımını göstermektedir. İşlenmiş yüzeylerin kantitatif EDS analizleri (Çizelge 3) bakır elektrot kullanıldığı durumlarda malzeme taşınımının arttığı sonucunu vermektedir. Yüzey, toz katkısız işlemlerde doğrudan Cu ile zenginleşirken, toz katkılı işlemlerde Cu ve Si ile birlikte zenginleşme gerçekleşmektedir.

Yüzeylerin x-ışını kırınım izleri α -Fe ve γ -Fe fazlarına işaret etmektedir (Şekil 4). FeCu kırınım açılı, α -Fe



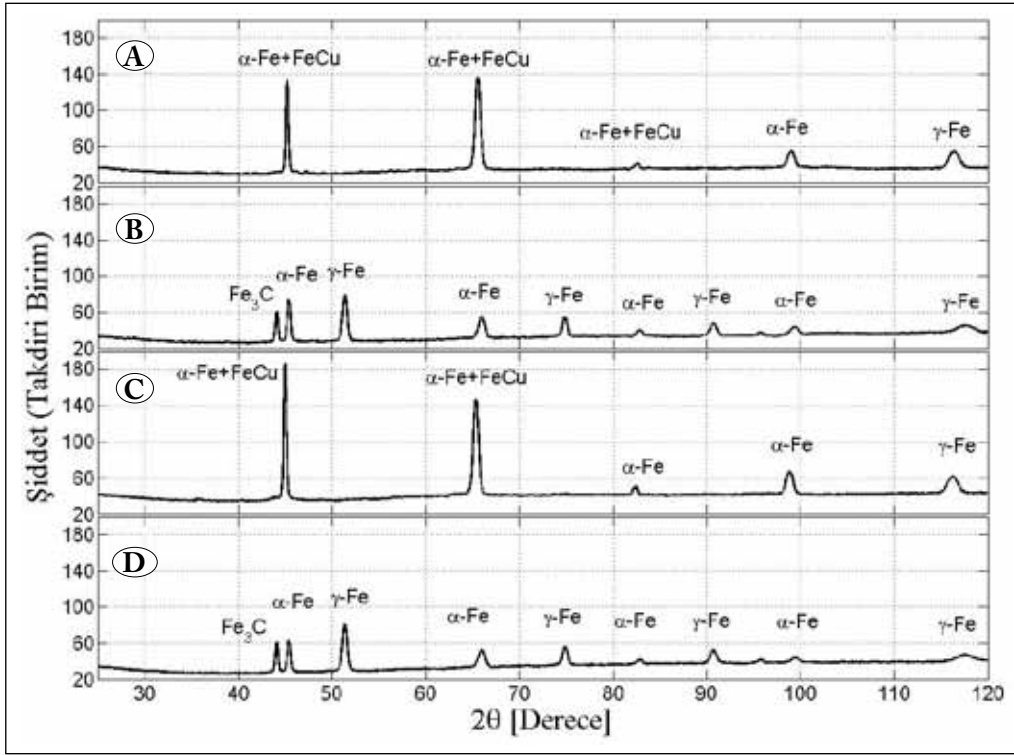
Şekil 2. Saf suda EKİ ve TK-EKİ yöntemleri ile işlenmiş yüzeylerde krater yapıları. **A)** Toz katkısız dielektrik sıvıda bakır takım elektrot kullanarak işleme. **B)** Toz katkısız dielektrik sıvıda grafit takım elektrot kullanarak işleme. **C)** Dielektrik sıvıda 15 g/l SiC toz katkısı ve bakır takım elektrot kullanarak işleme. **D)** Dielektrik sıvıda 15 g/l SiC toz katkısı ve grafit takım elektrot kullanarak işleme.



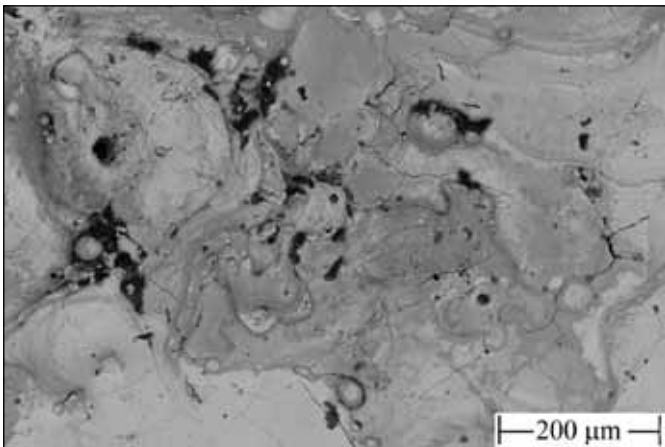
Şekil 3. Saf suda EKİ ve TK-EKİ yöntemleri ile işlenmiş yüzeylerin alansal EDS izleri. **A)** Toz katkısız dielektrik sıvıda bakır takım elektrot kullanarak işleme. **B)** Toz katkısız dielektrik sıvıda grafit takım elektrot kullanarak işleme. **C)** Dielektrik sıvıda 15 g/l SiC toz katkısı ve bakır takım elektrot kullanarak işleme. **D)** Dielektrik sıvıda 15 g/l SiC toz katkısı ve grafit takım elektrot kullanarak işleme.

Çizelge 3. Suda EKİ ve TK-EKİ ile işlenmiş yüzeylerin yarı kalitatif EDS analizi (%wt).

Numune	C	O	Fe	Cr	Ni	Mo	Cu	Si
1	15.42	16.7	36.07	12.27	3.99	3.59	11.97	-
2	19.04	50.83	17.30	7.66	1.58	0.71	-	-
3	21.61	45.79	7.34	4.34	0.56	2.63	14.39	3.33
4	21.81	28.55	29.54	13.36	2.93	1.49	-	1.83



Şekil 4. Suda EKİ ve TK-EKİ yöntemleri ile işlenmiş yüzeylerin x-ışını kırınım izleri. **A)** Toz katkısız dielektrik sıvıda bakır takım elektrot kullanarak işleme. **B)** Toz katkısız dielektrik sıvıda grafit takım elektrot kullanarak işleme. **C)** Dielektrik sıvıda 15 g/l SiC toz katkısı ve bakır takım elektrot kullanarak işleme. **D)** Dielektrik sıvıda 15 g/l SiC toz katkısı ve grafit takım elektrot kullanarak işleme.



Şekil 5. Suda 15 g/l SiC toz katkısı ve bakır takım elektrot kullanarak işlenmiş yüzey.

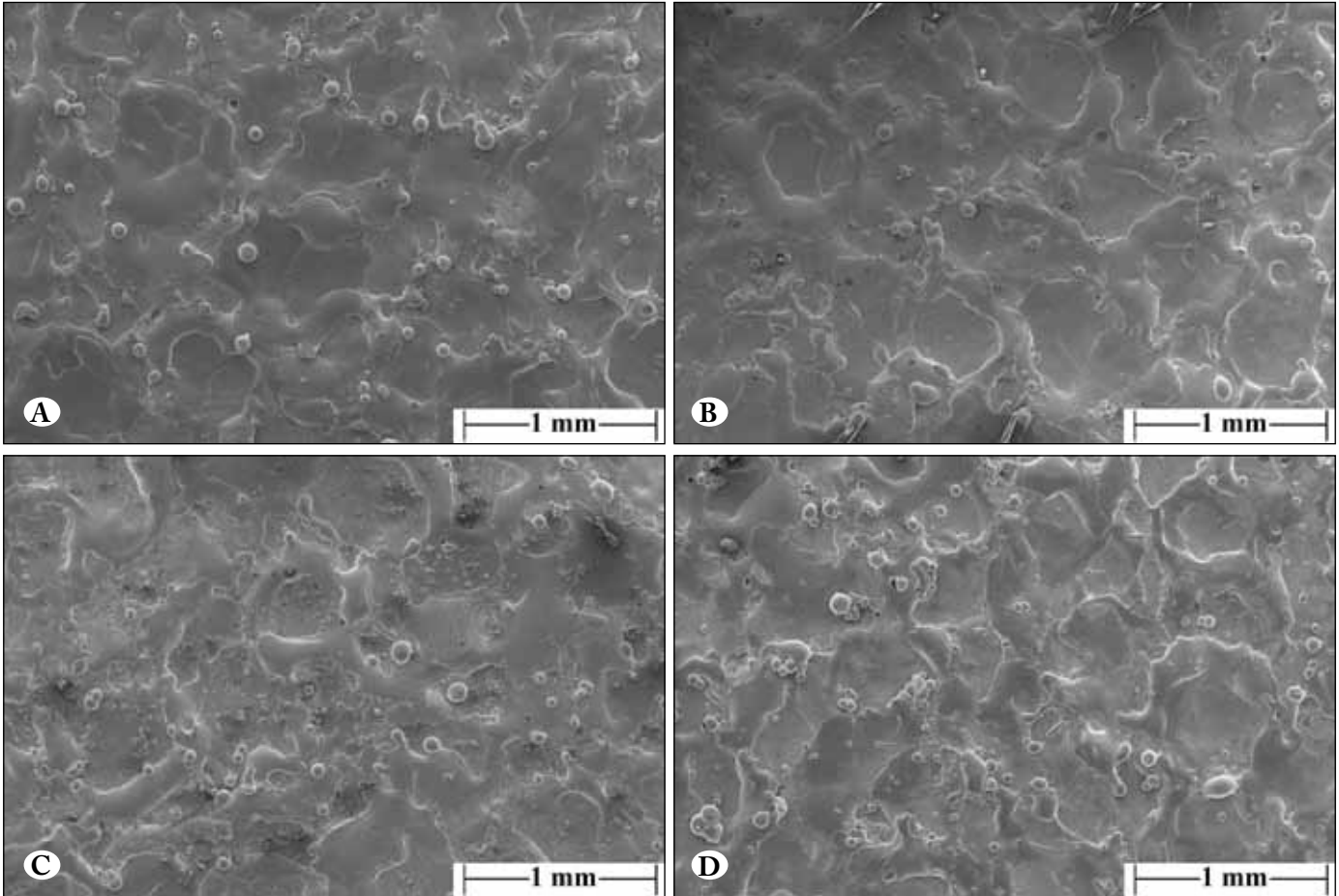
kırınım açıları ile örtüşmektedir. Bu bakımdan oransal bir ayırım ortaya koymak oldukça güçtür. İşleme sırasında grafit takım elektrotu kullanıldığında, kırınım izi Fe_3C ile γ -Fe karakteristik tepeleriyle, bakır takım elektrotla işlenen yüzeylerden ayrılmaktadır. Grafit takım elektrot kullanımı yüzeyde demir karbürlerle birlikte, kalıntı östenit oluşumunu desteklemektedir. Bakır takım elektrotu kullanıldığında ise yüzey, genel olarak hacim merkezli kübik yapıdadır.

Bakır takım elektrot kullanılarak işlenen yüzeylerde belirgin ve birbirini dik açılarla kesen mikro çatlak ağ yapıları ile karşılaşmıştır (Şekil 5). Grafit takım elektrotu kullanıldığında ise az sayıda mikro çatlak yüzeyde rasgele dağılmıştır. Bu sonuç, bakır takım elektrot ile işlenen yüzeylerde kırılğan faz oluşumunu desteklemektedir. Bir kıvılcım etkisi ile oluşan eriyik metal havuzu hızla katılaşıp büzülür. Ana faz malzemesi, yeniden katılaşıp katmana oranla çok daha az şekil değiştireceğinden, yüzeyde yüksek çekme gerilmeleri

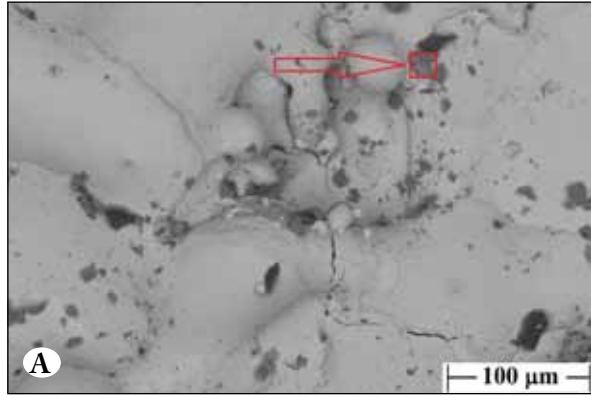
oluşacaktır. Bu gerilmeler malzemenin kopma mukavemetini aştığında, krater çeperlerini takip eden mikro çatlaklar oluşacaktır. Ancak, bakır takım elektrot ile işlenen yüzeylerde, mikro çatlaklar krater çeperlerini takip etmemektedir. Bu durumda mikro çatlaklar, katılaşma sırasında farklı fazlar arasında oluşan yüksek çekme gerilmelerinin etkisi altında oluşmaktadır. Dielektrik sıvı içerisinde yöntem ile işlenen ferritik çeliklerde ise durum tam tersidir (Ekmekci 2009). Ferritik çelikler hidro-karbon bazlı dielektrik sıvılar kullanılarak işlendiğinde bu tür çatlak ağları ile karşılaşmaktadır. Bu açıdan bakıldığında, dupleks yapılı çeliklerde var olan östenitik tanelerin yeniden katılaşma sırasında dönüşüm gerilmelerini yükselttiği sonucu doğmaktadır. Ek olarak, SiC TK-EKİ ile elde edilen yüzeylerin x-ışını kırınım izleri, toz katkısı kullanılmadan işlenen yüzeylerin izleri ile karşılaştırıldığında belirgin değişiklikler göstermemektedir.

3.2. İşlemlerde Hidro-Karbon Bazlı Dielektrik Sıvının Kullanımı

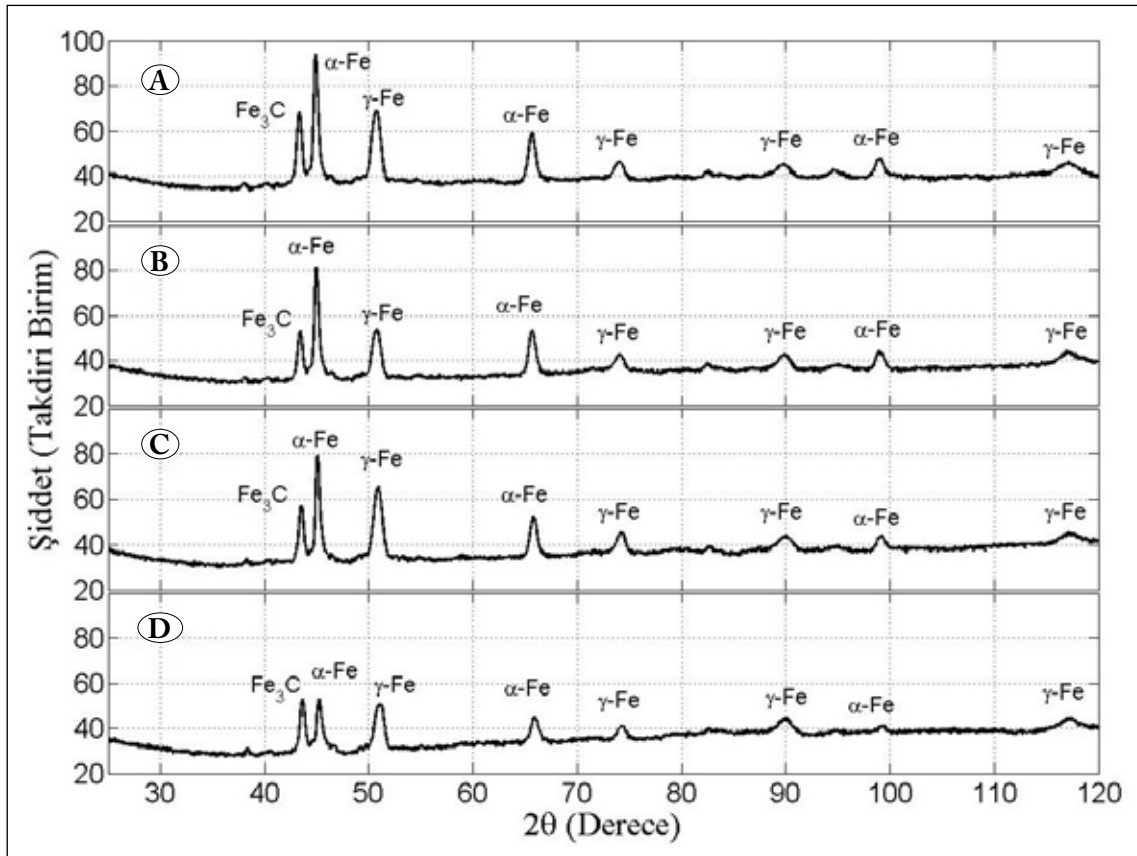
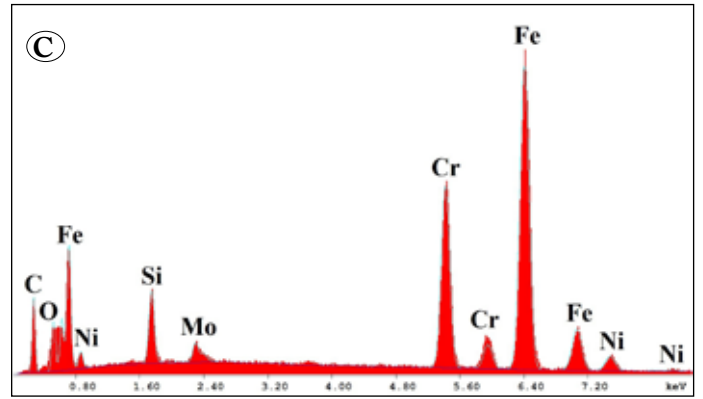
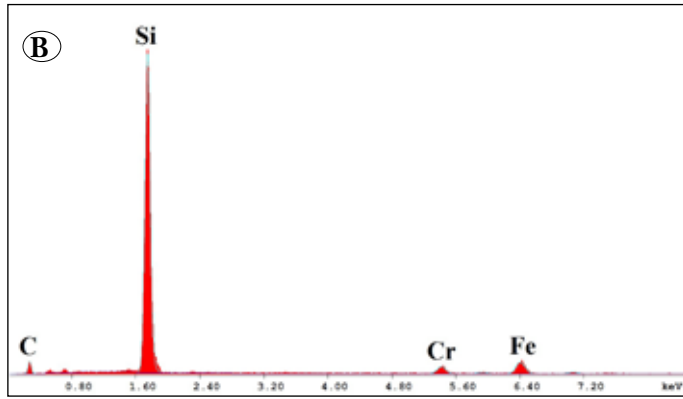
Genel anlamda hidro-karbon bazlı dielektrik sıvı ile işlenen numune yüzeyleri, kullanılan takım elektrot malzemesinden bağımsız, birbirlerine benzer topolojik unsurları göstermektedir (Şekil 6). Yüzeyler, tekil elektriksel boşalimler sonucu oluşan belirgin kraterler ve krater çeperlerinde yoğunlaşan küresel eklentiler ile karakterize edilebilir. Küresel eklentiler, bir kıvılcım süresi sonunda yüzeyde oluşan küçük bir eriyik metal havuzunun kaynama sürecinde aniden katılaşmasını ortaya koymaktadır. Dielektrik sıvıya toz katkısının etkisi, özellikle bakır takım elektrot kullanımında, toz tanelerinin işlenen yüzeye nüfuz etmesi ile ortaya çıkmaktadır. Geri saçılım görüntüsü SiC taneleri ve numune malzemesini keskin ton değişimleri ile ayrıştırmaktadır (Şekil 7A). SiC tanelerinin yoğun biçimde görüldüğü işaretlenmiş bölgeden (Şekil 7B) ve tüm alan üzerinden alınan EDS analizleri (Şekil 7C) toz katkılı dielektrik sıvıdan yüzeye malzeme taşıdığını



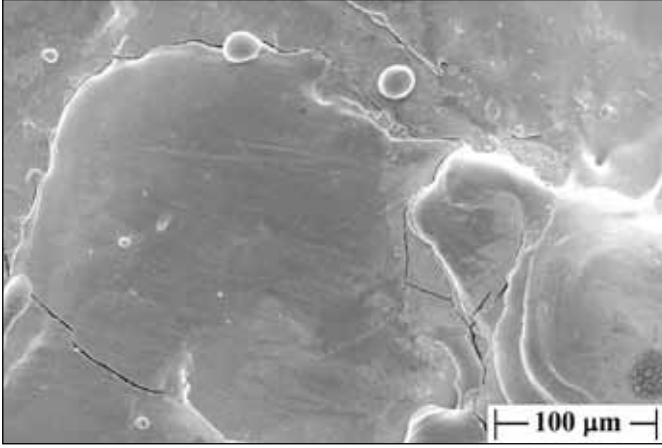
Şekil 6. Hidro-karbon bazlı dielektrik sıvıda EKİ ve TK-EKİ yöntemleri ile işlenmiş yüzeyler. **A)** Toz katkısız dielektrik sıvıda bakır takım elektrot kullanarak işleme. **B)** Toz katkısız dielektrik sıvıda grafit takım elektrot kullanarak işleme. **C)** Dielektrik sıvıda 15 g/l SiC toz katkısı ve bakır takım elektrot kullanarak işleme. **D)** Dielektrik sıvıda 15 g/l SiC toz katkısı ve grafit takım elektrot kullanarak işleme.



Şekil 7. Hidro-karbon bazlı dielektrik sıvıda bakır takım elektrot ve SiC toz katkısı kullanılarak işlenmiş yüzey. **A)** Geri saçılım elektron mikroskobu görüntüsü. **B)** İşaretli alandan EDS izi. **C)** Tüm alandan EDS izi.



Şekil 8. Yağda EKİ ve TK-EKİ yöntemleri ile işlenmiş yüzeylerin x ışını kırınım izleri. **A)** Toz katkısız dielektrik sıvıda bakır takım elektrot kullanarak işleme **B)** Toz katkısız dielektrik sıvıda grafit takım elektrot kullanarak işleme **C)** Dielektrik sıvıda 15 g/l SiC toz katkısı ve bakır takım elektrot kullanarak işleme **D)** Dielektrik sıvıda 15 g/l SiC toz katkısı ve grafit takım elektrot kullanarak işleme.



Şekil 9. Yağda 15 g/l SiC toz katkısı ve bakır takım elektrot kullanarak işlenmiş yüzey.

ispatlamaktadır. Dielektrik sıvıda asılı toz taneleri, bir kıvılcımın etki süresi sonunda yüksek sıcaklıktaki eriyik malzeme kavuzuna hücum etmekte ve katılaşma tamamlanmadan yüzeye bağlanmaktadır. Bu sonuç, elektriksel boşalım kanalının kapanması ile oluşan negatif basıncın, dielektrik sıvı ile birlikte toz katkı malzemesinin hızla yüzeye yöneldiğini ve yüksek sıcaklıklarda yüzeye nüfuz edebildiğini göstermektedir. Plastik kalıp çelikleri SiC toz katkılı su içerisinde işlendiğinde de benzer sonuçlarla karşılaşılmıştır (Ekmekci vd. 2015). Ancak dupleks çeliklerde benzer sonuçlar hidro-karbon bazlı sıvı kullanımı durumunda gerçekleşmektedir.

Hidro-karbon bazlı dielektrik sıvıda işlenen yüzeylerin x-ışını kırınım izleri, kullanılan takım elektrot malzemesi ve toz katkısına bağlı olmaksızın ayırt edilebilir farklılıklar ortaya koymamaktadır (Şekil 8). Yüzeyde kalıntı östenit fazı baskındır ve grafit elektrot kullanımı ile kalıntı östenit oluşumu desteklenmektedir. Yüzeyler elektron mikroskobu ile ayrıntılı şekilde incelendiğinde, mikro çatlakların krater çeperlerini takip ettiği görülmüştür (Şekil 9). Özellikle grafit takım elektrot kullanımı sonucunda karşılaşılan bu tür mikro çatlak yönelimleri, katılaşma esnasında büzülme ve çeperlerde oluşan yüksek çekme gerilmeleri ile ilişkilidir (Ekmekci 2009). Radyal doğrultuda çatlak yönelmelerinin oluşmaması dönüşüm gerilmelerinin düşüklüğüne işaret etmektedir.

4. Sonuçlar

EKİ yada TK-EKİ yöntemleri ile dupleks yapı çeliklerin karbon bazlı dielektrik sıvı kullanılarak işlenmesi, yüzeyde kalıntı östenit fazının artışına neden olmaktadır. Dupleks çeliklerin yapısında bulunan ferritik taneler, işlem sırasında yoğun karbon difüzyonu ve hızlı ısı çevrimler sonucunda

kalıntı östenit fazına dönüşmektedir. Bu dönüşüm yeniden katılan katmanda farklı fazların oranını azaltacağından, taneler arası gerilmeleri de düşürecektir. Sonuç olarak taneler arası yüksek gerilmelere bağlı gelişen mikro çatlak oluşumlarına rastlanmayacaktır. Ancak, krater çeperlerini takip eden mikro çatlaklar oluşmaya devam edecektir. İşleme ortamında karbon kaynağı bulunmadığı koşullarda, yüzey karakteristik faz yapısını korumakta ve yeniden katılan yüzeyde taneler arası yüksek çekme gerilmeleri oluşmaktadır. Bu durum yüzeyde birbirlerini yaklaşık dik açılarda kesen bir mikro çatlak ağ oluşumu ile sonuçlanacaktır.

Bakır takım elektrot kullanıldığında ortamdaki işlenen yüzeye malzeme taşınım artışı ilgi çekicidir. Özellikle toz katkısı kullanıldığında dielektrik sıvıda asılı taneler daha yüksek oranda yüzeye nüfuz etmektedir. Bu sonuç, TK-EKİ yöntemi kullanılarak fonksiyonel özelliklere sahip yüzeylerin ne şekilde elde edilebileceği hakkında fikir vermektedir.

5. Kaynaklar

- Batish, A., Bhattacharya, A., Kumar, N. 2015.** Powder Mixed Dielectric: An Approach for Improved Process Performance in EDM. *Particul. Sci. Techn.*, 33(2): 150–158.
- Ekmekci, B. 2009.** White Layer Composition, Heat Treatment, and Crack Formation in Electric Discharge Machining Process. *Metall. Mater. Trans. B.*, 40(1): 70-81.
- Ekmekci, B. 2007.** Residual Stresses and White Layer in Electric Discharge Machining (EDM). *Appl. Surf. Sci.*, 253(23): 9234–9240.
- Ekmekci, B., Ersöz, Y. 2012.** How Suspended Particles Affect Surface Morphology in Powder Mixed Electrical Discharge Machining (PMEDM). *Metall. Mater. Trans. B.*, 43(5):1138-1148.
- Ekmekci, B., Ulusöz, F., Ekmekci, N., Yaşar, H. 2015.** Suspended SiC Particle Deposition on Plastic Mold Steel Surfaces in Powder Mixed Electrical Discharge Machining. *P. I. Mech. Eng. B-J Eng. Manuf.*, 229(3): 475–486.
- Furutani, K., Saneto, A., Takezawa, H., Mohri, N., Miyake, H. 2001.** Accretion of Titanium Carbide by Electrical Discharge Machining with Powder Suspended in Working Fluid. *Precis. Eng.*, 25(2): 138–144.
- Janmanee, P., Muttamara, A. 2012.** Surface Modification of Tungsten Carbide by Electrical Discharge Coating (EDC) Using a Titanium Powder Suspension. *Appl. Surf. Sci.*, 258(19): 7255–7265.
- Kumar, S., Singh, R. 2010.** Investigating Surface Properties of OHNS Die Steel after Electrical Discharge Machining with Manganese Powder Mixed in the Dielectric. *Int. J. Adv. Manuf. Techn.*, 50(5): 625–633.

- Lee, HT., Tai, TY. 2003.**Relationship between EDM Parameters and Surface Crack Formation. *J. Mater. Process. Techn.*, 142(3):676-683.
- Ramulu, M., Garbini, JL. 1991.**EDM Machined Surface Characterization of a Ceramic Composite TiB₂/SiC. *J. Eng. Mater. Tech.*, 113(4): 437-442.
- Rehbein, W., Schulze, HP., Mecke, K., Wollenberg, G., Storr, M. 2004.**Influence of Selected Groups of Additives on Breakdown in EDM Sinking. *J. Mater. Process. Techn.*, 149(1-3): 58-64.
- Schumacher, BM. 1990.**About The Role of Debris in the Gap during Electrical Discharge Machining. *CIRP Ann-Manuf Techn.*, 39(1): 197-199.
- Singh, AK., Kumar, S., Singh, VP. 2014.**Effect of the Addition of Conductive Powder in Dielectric on the Surface Properties of Superalloy Super Co 605 by EDM Process. *Int. J. Adv. Manuf Techn.*, 77(1): 99-106.
- Tabrett, CP. 1996.**The Electro-Discharge Machining Surfaces of High Chromium White Irons. *J. Mater. Sci. Lett.*, 15(20): 1792-1794.
- Zhao, WS., Meng, QG., Wang, ZL. 2002.**The Application of Research on Powder Mixed EDM in Rough Machining. *J. Mater. Process. Techn.*, 129(1-3): 30-33.