ELEKTRİKSEL AŞINDIRMA YÖNTEMİ İLE İŞLEMEDE Dİ-ELEKTRİK SIVIDA ASILI SiC TANECİKLERİNİN IF ÇELİĞİ YÜZEYİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

YUSUF ERSÖZ

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır

ZONGULDAK
Nisan 2009

KABUL:

Yusuf ERSÖZ tarafından hazırlanan "ELEKTRİKSEL AŞINDIRMA YÖNTEMİ İLE İŞLEMEDE Dİ-ELEKTRİK SIVIDA ASILI SiC TANECİKLERİNİN IF ÇELİĞİ YÜZEYİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ" başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 17.04.2009

Başkan: Doç. Dr. Figen KAYA (ZKÜ) .....

Üye : Yrd. Doç. Dr. Handan BAYCIK (ZKÜ) .....

Üye : Yrd. Doç. Bülent EKMEKÇİ (ZKÜ) .....
(Tez Danışmanı)

ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım. .... / .... /2009

Prof. Dr. Kemal BÜYÜKGÜZEL
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

"Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim."

Yusuf ERSÖZ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ELEKTRİKSEL AŞINDIRMA YÖNTEMİ İLE İŞLEMEDE Dİ-ELEKTRİK SIVIDA ASILI SiC TANECİKLERİNİN IF ÇELİĞİ YÜZEYİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Yusuf ERSÖZ

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Bülent EKMEKCİ
Nisan 2009, 181 sayfa

Elektro erozyon ile işleme (EAİ), geleneksel olmayan ancak malzemeden parça koparma için sıklıkla kullanılan yöntemlerden biridir. Malzeme sertliğine bağlı olmadan elektrik iletkenliği bulunan malzemelerin başarı ile işlendiği bir yöntemdir. Son yıllarda, toz metalürji ile elektro erozyon ile işleme (TK/EAİ), EAİ kabiliyetini arttıran bir uygulama olmuştur. Bu çalışmada, farklı işleme sıvıları ve işleme sıvılarına farklı miktarlarda ilave edilen Silikon Karbür (SiC) tozlarının etkileri araştırılmıştır. Dört işlem parametresi, işleme zamanı, toz konsantrasyonu ve di-elektrik sıvı tipi ele alınmıştır. Bu gözlemleme sırasında elektriksel aşındırma ile farklı işleme hızlarına ve farklı işleme sıvılarına sahip deney düzeneklerinde IF çeliği işlenmiş, işlenmiş olan numunelerin kesitleri alındıktan sonra bir dizi metalürjik inceleme yapılmıştır. Mikro yapıyı en iyi ortaya çıkaran dağlama usulleri uygulanıp, işlenmiş yüzeylerdeki metalürjik değişimler optik ve elektron mikroskoplarında incelenmiştir.

Anahtar Sözcükler: EAİ, TK/EAİ, Yüzey bütünlüğü, Beyaz Tabaka.

Bilim Kodu: 625.00.05

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

EFFECT OF SiC POWDER MIXED DIELECTRIC LIQUID ON SURFACE INTEGRITY OF INTERSTITIAL FREE STEEL IN ELECTRIC DISCHARGE MACHINING

Yusuf ERSÖZ

Zonguldak Karaelmas University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Thesis Advisor: Asst. Prof. Bülent EKMEKÇİ
April 2009, 181 pages

Electric discharge machining (EDM) is one of the extensively used non conventional material removal processes. It can be successfully employed to machine electrically conductive parts regardless of their hardness. In the recent years, powder mixed electric discharge machining (PMEDM) has emerged as one of the enhancement of the capabilities of EDM. In this work, the effect of SiC powder mixing into the dielectric liquid on surface integrity of IF steel has been studied. Four process parameters, namely pulse duration, concentration of powder and type of dielectric liquid material have been considered. Surface modifications due to suspended SiC particles were identified by using optical and scanning electron microscopy. Thickness and composition of the heat affected layers have found to be increasing due to increase in suspended particle concentration in dielectric liquid. Moreover, carbon diffusion from the suspended SiC particles have been identified by using water de-electric liquid.

ABSTRACT (continued)

Key Words: EDM, PMEDM, Surface Integrity, White Layer

Science Code: 625.00.05

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans ve tez çalışmamda çok kıymetli teşvik ve katkılarından dolayı değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Bülent EKMEKÇİ'ye (ZKÜ), tezimin tamamlanması için verdikleri katkıdan dolayı değerli çalışma arkadaşlarım Atakan SAYAR (ZKÜ), Fevzi ULUSÖZ, Orhan ORUÇ ve Ramazan TÜTÜK'e (ERDEMİR), teknik ekipman desteği sağlayan ERKOÇ Kalıp Mak.San.Tic.Ltd.Şti. çalışanlarına en içten sevgi, saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Uzun soluklu bu çalışmamı, yüksek lisansım başladığı günden beri sürekli olarak manevi varlığını üzerimde hissettiğim, aramızdan ayrılan rahmetli dedem Cevat ŞAT'a, insanın seçimini yapamadığı tek değer olan ancak seçim şansı verilseydi yine onlarla birlikte bir hayat düzenim olmasını istediğim aile büyüklerime ve yaşamımın zorlu dönemlerinde yanımda olan hayat arkadaşım, dostum, eşim Işıl'a ithaf ediyorum.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KABUL ii
ÖZET iii
ABSTRACT v
TEŞEKKÜR vii
İÇİNDEKİLER ix
ŞEKİLLER DİZİNİ xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ xxiii
EK AÇIKLAMALAR DİZİNİ xxv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ xxvii

BÖLÜM 1 GİRİŞ 1

1.1 TEMEL PRENSİPLER 2
1.2 EAİ ÜNİTELERİNDE TEKNOLOJİK YAPI 3
1.2.1 Darbe Üreteci 3
1.2.2 Servo Sistemi 3
1.2.3 Di-elektrik Sıvı Sirkülasyon Sistemi 4
1.2.4 Mekanik Yapı 4
1.3 EAİ YÖNTEMİNİN ÜSTÜNLÜKLERİ VE OLUMSUZLUKLARI 5
1.4 EAİ UYGULAMALARI 6
1.4.1 EAİ İle Delme ve Oyma İşlemi 7
1.4.2 EAİ İle Kesme İşlemi 7
1.4.3 EAİ İle Taşlama İşlemi 8
1.5 TOZ KATKILI Dİ-ELEKTRİK SIVI İLE İŞLEME 9
1.6 AMAÇ VE KAPSAM 11

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

Sayfa

BÖLÜM 2 LİTERATÜR TARAMASI 13

2.1 EAİ UYGULAMALARINDA YÜZEY TOPOLOJİSİ 13
2.2 EAİ İLE İŞLENMİŞ YÜZEYLERİNMETALURJİK YAPISI 14
2.2.1 Beyaz Tabaka 15
2.2.2 Katı Fazda Isıl Etkilenmiş Tabakalar 17
2.2.3 Mikro Çatlaklar 18
2.3 TK- EAİ YÖNTEMİ 18
2.4 EAİ TEKNİĞİ SİSTEMLERİ 20

BÖLÜM 3 DENEY DÜZENEKLERİ VE DENEY AŞAMALARI 23

3.1 EAİ ARAŞTIRMA LABORATUARI 23
3.2 EAİ TEZGÂHI VE DONANIMLARI 27
3.3 YÜZEY İŞLEMEDEKİ MALZEME KULLANIMI 29
3.4 İŞLEM PARAMETRELERİ 30
3.5 İŞLEMİŞ YÜZEYLERİN KESİTLERİNİN ALINMASI 31
3.6 MİKROSKOP VE BOYUT ÖLÇÜMÜNÜN KULLANILMASI 32
3.7 İŞLENMİŞ YÜZEYLERİN DAĞLANMASI 33

BÖLÜM 4 DENEYSEL SONUÇLAR 37

4.1 YÜZEY TOPOLOJISI 37
4.2 MİKROYAPI 38
4.3 ISIL ETKİLENMİŞ KATMAN KALINLIKLARI 43
4.4 MİKRO ÇATLAKLAR 51
4.5 TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU İLE GERİ SAÇILIM ANALİZİ 52
4.6 YÜZEYLERDE X IŞINI SAÇILIMI ANALİZİ 56

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

Sayfa

BÖLÜM 5 SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ 59

5.1 TK-EAİ MEKANİZMASI 59
5.2 ELEKTRİKSEL AŞINDIRMA İLE İŞLEMEDE MİKROYAPI DEĞİŞİMLERİ 63
5.3 MİKRO ÇATLAKLAR 64
5.4 SONUÇLAR VE İLERİYE DÖNÜK ÇALIŞMALAR 66

KAYNAKLAR 69
EK AÇIKLAMALAR 75
ÖZGEÇMİŞ 175

ŞEKİLLER DİZİNİ

No		Sayfa
1.1	Darbe akım ve gerilimin değişimi	4
1.2	EAİ oyma işlemi ile işlenen çeşitli ürünler	7
1.3	EAİ ile kesme işlemi ile ilgili örnek uygulamalar	8
1.4	EAİ kesme işlemi ile üretilmiş malzemeler	8
1.5	EAİ ile taşlama işlemi ile ilgili örnek uygulamalar	9
1.6	Toz tanelerinin davranışı	10
1.7	Gerilim ve akım değişimi	11
3.1	Sıcak bakalit kalıp presi	23
3.2	Hassas düşük hızlı kesici testere	24
3.3	IMM 901 model optik mikroskop	24
3.4	Zımparalama ve parlatma tezgahı	25
3.5	Elektro erozyon laboratuarı genel görünüm	25
3.6	EAİ deney düzeneğinin şematik görünümü	26
3.7	EAİ deney düzeneğinin genel görünümü	26
3.8	EAİ tezgahı	28
3.9	Elektro erozyon tezgahında işlem yapılırken	28
3.10	EAİ'de deney numunesi olarak kullanılan IF çeliği	29
3.11	Elektro erozyon tezgahı kullanılarak işlenmiş malzemeler	32
3.12	Jeol 5600 Taramalı elektron mikroskobu (SEM)	34
3.13	Mikrosertlik ölçüm cihazı	34
3.14	X Işını difraktometri cihazı	35
4.1	TK-EAİ ile işlenmiş yüzeyler. Hidrokarbon bazlı di-elektrik sıvıda a) saf, b) 5 gr/lt, c) 10 gr/lt, d) 15 gr/lt SiC, darbe süresi: 100 μs, darbe akımı: 22 A.	39
4.2	TK-EAİ ile işlenmiş yüzeyler. Su bazlı di-elektrik sıvıda a) saf, b) 5 gr/lt SiC, darbe süresi: 100 μs, darbe akımı: 22 A.	40
4.3	TK-EAİ ile işlenmiş bir yüzeyin kesit görünümü (Darbe süresi: 400 μs, darbe akımı: 14 A, di-elektrik sıvı: gazyağı+15 gr/lt SiC)	40

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

No Sayfa

4.4 TK-EAİ ile işlenmiş yüzeylerin kesit görünümü. Darbe akımı: 22 A, di-elektrik sıvı: gazyağı+15 gr/lt SiC, darbe süresi: a) 25 µs, b) 100 µs, c) 400 µs. 41

4.5 TK-EAİ ile işlenmiş yüzeylerin kesit görünümü. Darbe akımı: 14 A, darbe süresi: 100 µs, di-elektrik sıvı: gazyağı +, a) 5, b) 10, c) 15 gr/lt SiC. 42

4.6 TK-EAİ ile işlenmiş yüzeylerin kesit görünümü. Darbe akımı: 22 A, darbe süresi: 25 µs, di-elektrik sıvı: a) su, b) su+5, c) su+10, d) su+15 gr/lt SiC. 43

4.7 TK-EAİ ile işlenmiş yüzeylerin kesit görünümü. Darbe akımı: 14 A, darbe süresi: 100 µs, di-elektrik sıvı: a) su, b) gazyağı. 44

4.8 TK-EAİ ile işlenmiş yüzeylerin kesit görünümü. Darbe süresi: 100 µs, di-elektrik sıvı: gazyağı+5 gr/lt SiC, darbe akımı: a) 22 A, b) 14 A, c) 7 A 46

4.9 TK-EAİ ile işlenmiş yüzeylerin kesit görünümü. Darbe süresi: 400 µs, darbe akımı: 7 A, di-elektrik sıvı: gazyağı+a) 10, b)15 gr/lt SiC. 51

4.10 TK-EAİ ile işlenmiş yüzeyler. Su bazlı di-elektrik sıvıda a) saf, b) 5 gr/lt, c) 10 gr/lt, d) 15 gr/lt SiC, darbe süresi: 400 µs, darbe akımı: 7 A. 52

4.11 TK-EAİ ile işlenmiş bir yüzeyin SEM Back Scattered Compo Mode analiz görüntüsü. Di-elektrik sıvı: gazyağı+10 gr/lt SiC, darbe süresi: 100 µs, darbe akımı: 14 A. 53

4.12 TK-EAİ ile işlenmiş bir yüzeyin SEM Back Scattered Compo Mode analiz görüntüsü. Di-elektrik sıvı: gazyağı+10 gr/lt SiC, darbe süresi: 100 µs, darbe akımı: 14 A. 54

4.13 TK-EAİ ile işlenmiş bir yüzeyin SEM Back Scattered Compo Mode analiz görüntüsü. Di-elektrik sıvı: gazyağı+10 gr/lt SiC, darbe süresi: 100 µs, darbe akımı: 14 A. 54

4.14 TK-EAİ ile işlenmiş bir yüzeyin SEM Back Scattered Compo Mode analiz görüntüsü. Di-elektrik sıvı: gazyağı+10 gr/lt SiC, darbe süresi: 100 µs, darbe akımı: 14 A 55

4.15 TK-EAİ ile işlenmiş bir yüzeyin SEM Back Scattered Compo Mode analiz görüntüsü. Di-elektrik sıvı: gazyağı+10 gr/lt SiC, darbe süresi: 100 µs, darbe akımı: 14 A. 55

4.16 9 nolu (Deiyonize su, 14 A işleme şartları) numunenin XRD analiz görüntüsü. 56

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

No Sayfa

4.17 12 nolu (Deiyonize su + 15 gr/lt SiC, 14 A işleme şartları) numunenin XRD analiz görüntüsü. 57

4.18 16 nolu (Gazyağı + 15 gr/lt SiC, 14 A işleme şartları) numunenin XRD analiz görüntüsü. 58

5.1 TK-EAİ ile işlenmiş yüzeyler. Di-elektrik sıvı: Su a) 10 gr/lt b) 15 gr/lt SiC (Darbe süresi: 100 µs, darbe akımı: 7 A). 61

5.2 TK-EAİ ile işlenmiş yüzeyler. Darbe akımı: 7 A, di-elektrik sıvı: su + 5 gr/lt SiC, darbe süresi: a) 25 µs b) 100 µs c) 400 µs 62

5.3 TK-EAİ ile işlenmiş yüzeyler. Darbe akımı: 7 A, darbe süresi: 400 µs, di-elektrik sıvı: a) su b) su +5 c) su + 10 d) su + 15 gr/lt SiC. 64

5.4 EAİ yöntemi ile işlemede mikro çatlakların oluşumu. 65

A.1 De-iyonize su, 22 A şartlarında işlenen numunenin 25 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.. 76

A.2 De-iyonize su, 22 A şartlarında işlenen numunenin 100 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.. 77

A.3 De-iyonize su, 22 A şartlarında işlenen numunenin 400 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.. 78

A.4 De-iyonize su + 5 g/l SiC, 22 A şartlarında işlenen numunenin 25 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.. 79

A.5 De-iyonize su + 5 g/l SiC, 22 A şartlarında işlenen numunenin 100 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri. 80

A.6 De-iyonize su + 5 g/l SiC, 22 A şartlarında işlenen numunenin 400 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri. 81

A.7 De-iyonize su + 10 g/l SiC, 22 A şartlarında işlenen numunenin 25 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri. 82

A.8 De-iyonize su + 10 g/l SiC, 22 A şartlarında işlenen numunenin 100 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.. 83

A.9 De-iyonize su + 10 g/l SiC, 22 A şartlarında işlenen numunenin 400 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri. 84

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

No Sayfa

A.10 De-iyonize su + 15 g/l SiC, 22 A şartlarında işlenen numunenin 25 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri. 85

A.11 De-iyonize su + 15 g/l SiC, 22 A şartlarında işlenen numunenin 100 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.. 86

A.12 De-iyonize su + 15 g/l SiC, 22 A şartlarında işlenen numunenin 400 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri. 87

A.13 Gazyağı, 22 A şartlarında işlenen numunenin 25 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.. 88

A.14 Gazyağı, 22 A şartlarında işlenen numunenin 100 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri 89

A.15 Gazyağı, 22 A şartlarında işlenen numunenin 400 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri. 90

A.16 Gazyağı + 5 g/l SiC, 22 A şartlarında işlenen numunenin 25 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.. 91

A.17 Gazyağı + 5 g/l SiC, 22 A şartlarında işlenen numunenin 100 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.. 92

A.18 Gazyağı + 5 g/l SiC, 22 A şartlarında işlenen numunenin 400 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri. 93

A.19 Gazyağı + 10 g/l SiC, 22 A şartlarında işlenen numunenin 25 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri. 94

A.20 Gazyağı + 10 g/l SiC, 22 A şartlarında işlenen numunenin 100 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri. 95

A.21 Gazyağı + 10 g/l SiC, 22 A şartlarında işlenen numunenin 400 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri. 96

A.22 Gazyağı + 15 g/l SiC, 22 A şartlarında işlenen numunenin 25 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri. 97

A.23 Gazyağı + 15 g/l SiC, 22 A şartlarında işlenen numunenin 100 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri. 98

A.24 Gazyağı + 15 g/l SiC, 22 A şartlarında işlenen numunenin 400 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri. 99

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

No Sayfa

A.25 De-iyonize su, 14 A şartlarında işlenen numunenin 25 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri. 100

A.26 De-iyonize su, 14 A şartlarında işlenen numunenin 100 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri. 101

A.27 De-iyonize su, 14 A şartlarında işlenen numunenin 400 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.. 102

A.28 De-iyonize su + 5 g/l SiC, 14 A şartlarında işlenen numunenin 25 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri. 103

A.29 De-iyonize su + 5 g/l SiC, 14 A şartlarında işlenen numunenin 100 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri. 104

A.30 De-iyonize su + 5 g/l SiC, 14 A şartlarında işlenen numunenin 400 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri. 105

A.31 De-iyonize su + 10 g/l SiC, 14 A şartlarında işlenen numunenin 25 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri. 106

A.32 De-iyonize su + 10 g/l SiC, 14 A şartlarında işlenen numunenin 100 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri. 107

A.33 De-iyonize su + 10 g/l SiC, 14 A şartlarında işlenen numunenin 400 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri. 108

A.34 De-iyonize su + 15 g/l SiC, 14 A şartlarında işlenen numunenin 25 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri. 109

A.35 De-iyonize su + 15 g/l SiC, 14 A şartlarında işlenen numunenin 100 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri. 110

A.36 De-iyonize su + 15 g/l SiC, 14 A şartlarında işlenen numunenin 400 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri. 111

A.37 Gazyağı, 14 A şartlarında işlenen numunenin 25 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri. 112

A.38 Gazyağı, 14 A şartlarında işlenen numunenin 100 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri. 113

A.39 Gazyağı, 14 A şartlarında işlenen numunenin 400 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri. 114

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

No Sayfa

A.40 Gazyağı + 5 g/l SiC, 14 A şartlarında işlenen numunenin 25 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.. 115

A.41 Gazyağı + 5 g/l SiC, 14 A şartlarında işlenen numunenin 100 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri. 116

A.42 Gazyağı + 5 g/l SiC, 14 A şartlarında işlenen numunenin 400 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri. 117

A.43 Gazyağı + 10 g/l SiC, 14 A şartlarında işlenen numunenin 25 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.. 118

A.44 Gazyağı + 10 g/l SiC, 14 A şartlarında işlenen numunenin 100 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri. 119

A.45 Gazyağı + 10 g/l SiC, 14 A şartlarında işlenen numunenin 400 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri. 120

A.46 Gazyağı + 15 g/l SiC, 14 A şartlarında işlenen numunenin 25 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri. 121

A.47 Gazyağı + 15 g/l SiC, 14 A şartlarında işlenen numunenin 100 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri. 122

A.48 Gazyağı + 15 g/l SiC, 14 A şartlarında işlenen numunenin 400 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri. 123

A.49 De-iyonize su, 7 A şartlarında işlenen numunenin 25 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri. 124

A.50 De-iyonize su, 7 A şartlarında işlenen numunenin 100 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri. 125

A.51 De-iyonize su, 7 A şartlarında işlenen numunenin 400 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri. 126

A.52 De-iyonize su + 5 g/l SiC, 7 A şartlarında işlenen numunenin 25 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri. 127

A.53 De-iyonize su + 5 g/l SiC, 7 A şartlarında işlenen numunenin 100 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri. 128

A.54 De-iyonize su + 5 g/l SiC, 7 A şartlarında işlenen numunenin 400 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri. 129

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

No Sayfa

A.55 De-iyonize su + 10 g/l SiC, 7 A şartlarında işlenen numunenin 25 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri. 130

A.56 De-iyonize su + 10 g/l SiC, 7 A şartlarında işlenen numunenin 100 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri. 131

A.57 De-iyonize su + 10 g/l SiC, 7 A şartlarında işlenen numunenin 400 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri. 132

A.58 De-iyonize su + 15 g/l SiC, 7 A şartlarında işlenen numunenin 25 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri. 133

A.59 De-iyonize su + 15 g/l SiC, 7 A şartlarında işlenen numunenin 100 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri. 134

A.60 De-iyonize su + 15 g/l SiC, 7 A şartlarında işlenen numunenin 400 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri. 135

A.61 Gazyağı, 7 A şartlarında işlenen numunenin 25 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri. 136

A.62 Gazyağı, 7 A şartlarında işlenen numunenin 100 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri 137

A.63 Gazyağı, 7 A şartlarında işlenen numunenin 400 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri. 138

A.64 Gazyağı + 5 g/l SiC, 7 A şartlarında işlenen numunenin 25 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri..... 139

A.65 Gazyağı + 5 g/l SiC, 7 A şartlarında işlenen numunenin 100 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri..... 140

A.66 Gazyağı + 5 g/l SiC, 7 A şartlarında işlenen numunenin 400 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri..... 141

A.67 Gazyağı + 10 g/l SiC, 7 A şartlarında işlenen numunenin 25 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri..... 142

A.68 Gazyağı + 10 g/l SiC, 7 A şartlarında işlenen numunenin 100 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri..... 143

A.69 Gazyağı + 10 g/l SiC, 7 A şartlarında işlenen numunenin 400 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri..... 144

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

No Sayfa

A.70 Gazyağı + 15 g/l SiC, 7 A şartlarında işlenen numunenin 25 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri. 145

A.71 Gazyağı + 15 g/l SiC, 7 A şartlarında işlenen numunenin 100 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri. 146

A.71 Gazyağı + 15 g/l SiC, 7 A şartlarında işlenen numunenin 100 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri. 147

B.1 De-iyonize su, 22 A şartlarında işlenen numunenin 400 ve 1000 büyütme optik mikroskop görüntüleri. 150

B.2 De-iyonize su + 5 g/l SiC, 22 A şartlarında işlenen numunenin 400 ve 1000 büyütme optik mikroskop görüntüleri. 151

B.3 De-iyonize su + 10 g/l SiC, 22 A şartlarında işlenen numunenin 400 ve 1000 büyütme optik mikroskop görüntüleri. 152

B.4 De-iyonize su + 15 g/l SiC, 22 A şartlarında işlenen numunenin 400 ve 1000 büyütme optik mikroskop görüntüleri.. 153

B.5 Gazyağı, 22 A şartlarında işlenen numunenin 400 ve 1000 büyütme optik mikroskop görüntüleri.. 154

B.6 Gazyağı + 5 g/l SiC, 22 A şartlarında işlenen numunenin 400 ve 1000 büyütme optik mikroskop görüntüleri.. 155

B.7 Gazyağı + 10 g/l SiC, 22 A şartlarında işlenen numunenin 400 ve 1000 büyütme optik mikroskop görüntüleri.. 156

B.8 Gazyağı + 15 g/l SiC, 22 A şartlarında işlenen numunenin 400 ve 1000 büyütme optik mikroskop görüntüleri.. 157

B.9 De-iyonize su, 14 A şartlarında işlenen numunenin 400 ve 1000 büyütme optik mikroskop görüntüleri.. 158

B.10 De-iyonize su + 5 g/l SiC, 14 A şartlarında işlenen numunenin 400 ve 1000 büyütme optik mikroskop görüntüleri.. 159

B.11 De-iyonize su + 10 g/l SiC, 14 A şartlarında işlenen numunenin 400 ve 1000 büyütme optik mikroskop görüntüleri.. 160

B.12 De-iyonize su + 15 g/l SiC, 14 A şartlarında işlenen numunenin 400 ve 1000 büyütme optik mikroskop görüntüleri.. 161

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

No Sayfa

B.13 Gazyağı, 14 A şartlarında işlenen numunenin 400 ve 1000 büyütme optik mikroskop görüntüleri.. 162

B.14 Gazyağı + 5 g/l SiC, 14 A şartlarında işlenen numunenin 400 ve 1000 büyütme optik mikroskop görüntüleri.. 163

B.15 Gazyağı + 10 g/l SiC, 14 A şartlarında işlenen numunenin 400 ve 1000 büyütme optik mikroskop görüntüleri.. 164

B.16 Gazyağı + 15 g/l SiC, 14 A şartlarında işlenen numunenin 400 ve 1000 büyütme optik mikroskop görüntüleri.. 165

B.17 De-iyonize su, 7 A şartlarında işlenen numunenin 400 ve 1000 büyütme optik mikroskop görüntüleri.. 166

B.18 De-iyonize su + 5 g/l SiC, 7 A şartlarında işlenen numunenin 400 ve 1000 büyütme optik mikroskop görüntüleri.. 167

B.19 De-iyonize su + 10 g/l SiC, 7 A şartlarında işlenen numunenin 400 ve 1000 büyütme optik mikroskop görüntüleri.. 168

B.20 De-iyonize su + 15 g/l SiC, 7 A şartlarında işlenen numunenin 400 ve 1000 büyütme optik mikroskop görüntüleri.. 169

B.21 Gazyağı, 7 A şartlarında işlenen numunenin 400 ve 1000 büyütme optik mikroskop görüntüleri.. 170

B.22 Gazyağı + 5 g/l SiC, 7 A şartlarında işlenen numunenin 400 ve 1000 büyütme optik mikroskop görüntüleri.. 171

B.23 Gazyağı + 10 g/l SiC, 7 A şartlarında işlenen numunenin 400 ve 1000 büyütme optik mikroskop görüntüleri.. 172

B.24 Gazyağı + 15 g/l SiC, 7 A şartlarında işlenen numunenin 400 ve 1000 büyütme optik mikroskop görüntüleri.. 173

ÇİZELGELER DİZİNİ

No		Sayfa
3.1	Bakır takım elektrotunun özellikleri	29
3.2	SiC tozlarının özellikleri (500 Mesh)	30
3.3	Di-elektrik sıvı özellikleri (Gazyağı)	30
3.4	Deneylerde kullanılan işleme parametreleri	31
3.5	IF çeliği iç yapı bileşenleri	33
4.1	İşleme koşullarına bağlı olarak beyaz tabaka kalınlığındaki değişim (µm)	44
4.2	İşleme koşullarına bağlı olarak beyaz tabaka kalınlığındaki değişimin standart sapma değerleri	45
4.3	TK-EAİ ile işlenmiş yüzeylerde beyaz katman kalınlıklarının darbe süresine ve toz konsantrasyonuna bağlı değişimi. Darbe akımı: 22 A, di-elektrik sıvı: gazyağı.	47
4.4	TK-EAİ ile işlenmiş yüzeylerde beyaz katman kalınlıklarının darbe süresine ve toz konsantrasyonuna bağlı değişimi. Darbe akımı: 14 A, di-elektrik sıvı: gazyağı.	47
4.5	TK-EAİ ile işlenmiş yüzeylerde beyaz katman kalınlıklarının darbe süresine ve toz konsantrasyonuna bağlı değişimi. Darbe akımı: 7 A, di-elektrik sıvı: gazyağı.	48
4.6	TK-EAİ ile işlenmiş yüzeylerde beyaz katman kalınlıklarının darbe enerjisine ve toz konsantrasyonuna bağlı değişimi. Di-elektrik sıvı: gazyağı.	48
4.7	TK-EAİ ile işlenmiş yüzeylerde beyaz katman kalınlıklarının darbe süresine ve toz konsantrasyonuna bağlı değişimi. Darbe akımı: 22 A, di-elektrik sıvı: su.	49
4.8	TK-EAİ ile işlenmiş yüzeylerde beyaz katman kalınlıklarının darbe süresine ve toz konsantrasyonuna bağlı değişimi. Darbe akımı: 14 A, di-elektrik sıvı: su.	49
4.9	TK-EAİ ile işlenmiş yüzeylerde beyaz katman kalınlıklarının darbe süresine ve toz konsantrasyonuna bağlı değişimi. Darbe akımı: 7 A, di-elektrik sıvı: su.	50
4.10	TK-EAİ ile işlenmiş yüzeylerde beyaz katman kalınlıklarının darbe enerjisine ve toz konsantrasyonuna bağlı değişimi. Darbe akımı: 7 A, di-elektrik sıvı: su.	50

EK AÇIKLAMALAR DİZİNİ

No		Sayfa
A	IF ÇELİĞİ NUMUNELERİNDE, İŞLEME ŞARTLARININ BEYAZ KATMAN ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ – SEM GÖRÜNTÜLERİ	75
B	IF ÇELİĞİ NUMUNELERİNDE, İŞLEME ŞARTLARININ BEYAZ KATMAN ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ – OPTİK MİKROSKOP GÖRÜNTÜLERİ	149

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Al	:	Alüminyum
As	:	Arsenik
B	:	Bor
C	:	Karbon
cm	:	Santimetre
Co	:	Kobalt
Cr	:	Krom
Cu	:	Bakır
E	:	Elektriksel Boşalım Enerjisi
I	:	Akım
kg	:	Kilogram
kVA	:	Kilovoltamper
lt	:	Litre
m	:	Metre
Mesh	:	Tane boyutu (toz)
mm	:	Milimetre
Mn	:	Mangan
Mo	:	Molibden
N	:	Azot
Nb	:	Niobyum
Ni	:	Nikel
O	:	Oksijen
P	:	Fosfor
Pb	:	Kurşun
Ra	:	Ortalama yüzey pürüzlülüğü
S	:	Kükürt
Si	:	Silis
SiC	:	Silikon Karbür

tA	:	Deşarj zamanı
tB	:	Bekleme zamanı
tD	:	Gecikme zamanı
Ti	:	Titanyum
TiC	:	Titanyum Karbür
U	:	Elektriksel Boşalım Gerilimi
W	:	Wolfram
V	:	Voltaj
μs	:	Mikrosaniye
μm	:	Mikrometre
^0C	:	Santigrat Derece
λ	:	Elektriksel iletkenlik
ρ	:	Kütle yoğunluğu
^0K	:	Kelvin

KISALTMALAR

EDM	:	Electrical Discharge Machining
EAİ	:	Elektriksel Aşındırma ile İşleme
GB	:	Giga bayt
MB	:	Mega bayt
TK/EAİ	:	Toz Konsantrasyon ve Elektriksel Aşındırma ile İşleme

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Elektriksel aşındırma ile işleme (EAİ) yöntemi, di-elektrik sıvı içerisinde daldırılmış elektrik iletken elektrot ile iş parçası arasında darbe üreteci tarafından oluşturulan elektriksel boşalımların iş parçası yüzeyinden küçük bir bölgeyi eritmesi ve buharlaştırması esasına dayanır. EAİ yöntemi özellikle çok sert, yüksek mukavemetli ve yüksek sıcaklıklara dayanıklı malzemelerin işlenmesinde büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Elektrot ile iş parçası arasında temas olmadan karmaşık yapıya sahip kalıp boşluklarının, küçük ve narin iş parçalarının işlenebilmesi, yöntemi aranılan işleme metotlarından biri haline getirmiştir. Günümüzde bu yöntem pres döküm, plastik enjeksiyon, dövme, ekstrüzyon, baş şişirme ve toz sıkıştırma kalıplarının yapımında yaygın olarak kullanılmaktadır.

İşlenmiş bir yüzey, ardışık elektriksel kıvılcımların yüzeye uygulanması sonucunda oluşan kraterlerin üst üste binmesi şeklinde karakterize edilebilir. Elektriksel kıvılcımların iş parçasını ve elektrotu mikro seviyede nasıl aşındırdığı, işlemin karmaşık doğası ve bilimsel olarak gözlemlenmesinin oldukça zor olmasından dolayı, tam olarak açıklanamamıştır. İşlem sırasında oluşan yüksek ısıl çevrimler, işlenen malzemenin yapısal özelliklerini alışılmamış ölçüde değiştirmektedir. İşlenmiş parça yüzeyi üzerinde meydana gelen yapısal değişimlerin önceden tahmin edilebilmesi, özellikle yöntemin yüksek hassasiyet gerektiren uygulamalarda kullanılmasından ötürü önem arz etmektedir. Bununla birlikte, işlenmiş yüzeyin yapısal durumu, üretilen parçanın performans ve güvenilirlik gereksinimlerinin karşılanması açısından oldukça önemlidir. Bu gereksinimler, türbin parçaları, jet motorlarının yanma kubbeleri gibi, özellikle, yüksek gerilmelere ve sıcaklıklara maruz parçaların bu yöntem ile üretilmesi söz konusu olduğunda kritik bir noktaya gelmektedir. Teknolojik gelişmeler sonucunda, yüksek dayanımlı ve sert malzemelerin imalat endüstrisinde kullanım oranı hızla artmaktadır. Yöntemin, sert malzemeleri istenilen kompleks şekillerde (Mikro delikler, hassas kanallar vb.) işleyebilmesi, imalat endüstrisinde kullanımını yaygınlaştırmaya devam etmektedir. Ancak yöntem gereği, işlenen yüzeyin hızlı ısınması ve soğuması, işlenen

parçalarda yüzey bozukluklarının oluşmasına ve bundan ötürü kırılma ve yorulma çökmelerinin oluşmasına sebep olmaktadır.

1.1 TEMEL PRENSİPLER

EAİ bir di-elektrik sıvı içine batırılmış iki iletken yüzey arasında elektrik kıvılcımlarının ısıl etkileri ile yüzeyden malzeme kaldırma işlemi olarak tanımlanabilir. Bir güç kaynağı vasıtası ile iş parçası ve elektrot arasında sağlanan darbe gerilimi, di-elektrik sıvıda güçlü bir elektriksel alan oluşturur. Bu elektriksel alan iş parçası ile elektrotun birbirlerine en yakın mesafede oldukları konumda en yüksek seviyededir. Bu konumda, di-elektrik sıvı molekülleri ve iyonları iki kutup arasında polarize olur. Di-elektrik sıvının elektriksel yalıtım mukavemeti aşıldığında, di-elektrik sıvı içerisinde düşük dirençli bir plazma kanalı oluşur. Oluşan bu boşalım kanalı içerisinden elektronlar ve iyonlar anot ve katot (elektrot ve iş parçası) yüzeyine hızla çarparlar. Bu çarpışma elektronların ve iyonların kinetik enerjilerinin ısı ve basınç formuna dönüşümleri ile sonuçlanır. İşlem sırasında, boşalım kanalı içerisinde üretilen ısının 10^{17} W/m^2 sevilerinde kadar yükselebildiği tahmin edilmektedir. Bu denli yüksek ısı akışı, kanalın temas ettiği noktalarda, sıcaklıkların 20.000 K'e kadar yükseltmesine sebep olur. Bilinen hiçbir imalat yönteminde, bu denli yüksek noktasal sıcaklıklara ulaşılamamaktadır. Darbe geriliminin uygulandığı sürece, boşalım kanalı içerisindeki basınç kanal çeperlerini genişletmekte ve akım yoğunluğunu düşürmektedir. Çoğu zaman boşalım kanalı içerisinde oluşan basınç, elektrot ve iş parçası yüzeylerinde kızgın eriyik metalin buharlaşmasını önleyecek kadar yüksektir. Darbe geriliminin sonlanması ile birlikte, kanal içerisinde basınç aniden düşer ve boşalım kanalının ortadan kalkması ile birlikte, elektrot yüzeylerindeki kızgın eriyik malzeme hızla kaynamaya ve buharlaşmaya başlar. Di-elektrik sıvı oluşan basınç farkından dolayı aniden işlem bölgesine dolar ve kaynama esnasında oluşan sıcak buhar balonları ile karşılaşır. Düşük sıcaklıktaki di-elektrik sıvının soğutma etkisi ile birlikte balonlar aniden küresel tanecikler şeklinde çökerler. Di-elektrik sıvının sirkülasyonu ile birlikte bu tanecikler işleme bölgesinden uzaklaştırılır. Aynı zamanda, iş parçası ve elektrot malzemesi yüzeyden ısı taşınımı, tabanından ise ısı iletimi ile hızla soğumaktadır. İşlemin net sonucu iş parçası ve elektrot yüzeylerinde oluşan küçük kraterlerdir. Darbe üreteci ile sağlanan ardışık elektrik darbeleri ve takım elektrotunun ileri hareketi ile birlikte elektrot dişi yüzeyinin iş parçası yüzeyinde işlenmesi sağlanır. EAİ aşamasında, işlemin termal doğası gereği, iş parçasının mekanik özellikleri işlenebilirlik açısından etkili değildir. Bu sebeple, sertliği ne olursa olsun, elektriksel iletkenliğe sahip malzemeler yöntem ile işlenebilir.

Malzeme kaldırma hızı, elektrot aşınması, yüzey kalitesi, boyutsal kararlılık, yüzey sertliği işlem sırasında oluşan kraterlerin boyutları ve yapısı ile ilişkilidir. Darbe akımı, gerilimi ve süresi, iş parçası ve elektrotun, erime ve kaynama sıcaklıkları, termal iletkenlikleri, özgül ısıları, elektriksel dirençleri, di-elektrik sıvı özellikleri, sıvı içerisinde oluşan taneciklerin boyutları ve yoğunluğu, işleme etki eden temel fiziksel parametreler arasında sayılabilir. Bunlar içerisinde, darbe akımı, gerilimi ve süresi işlem sırasında kolaylıkla değiştirilebilen elektriksel parametrelerdir.

1.2 EAİ ÜNİTELERİNDE TEKNOLOJİK YAPI

Her EAİ ünitesi aşağıda gösterilen temel bileşenlerden oluşmaktadır.

i) Darbe üreteci

ii) Servo sistemi

iii) Di-elektrik sıvı sirkülasyon sistemi

iv) Mekanik Yapı

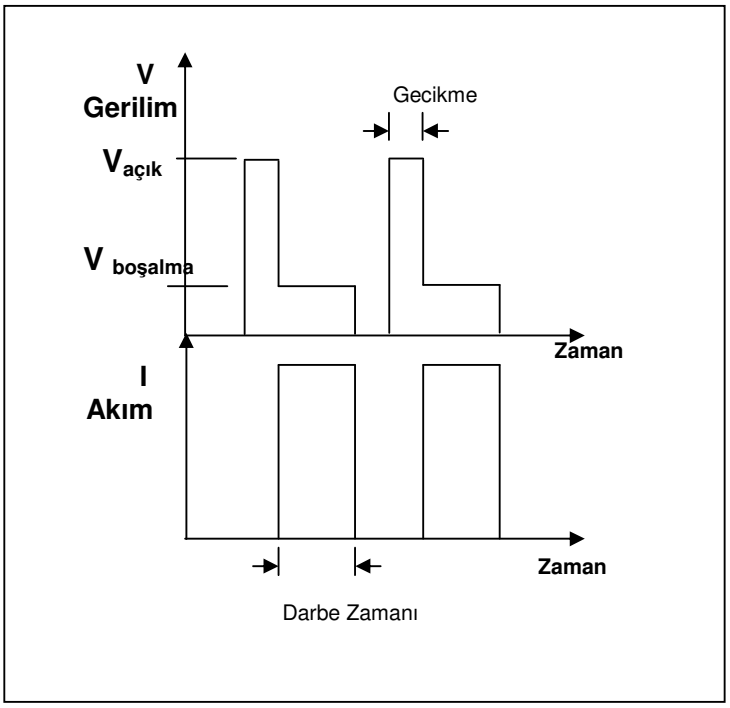
1.2.1 Darbe Üreteci

İşlem sırasında, istenilen form ve sürelerde, elektrik sinyallerini üreten devrelerdir. Günümüz teknolojisi ile bilgisayar destekli üreteçler yaygın biçimde kullanılmaktadır. Böylelikle, işlem sırasında darbe gerilimi, süresi kontrol edilebilmektedir.

Şekil 1.1'de bir darbe üreteci tarafından sağlanan elektriksel sinyallerin karakteristikleri gösterilmiştir.

1.2.2 Servo Sistemi

EAİ büyük ölçüde elektrotlar arasındaki mesafenin kontrolüne bağlıdır. Elektrot ve iş parçasının boyutları zamanla işlem sırasında değişmekte ve elektrot ile iş parçası arasındaki mesafe artmaktadır. İşlem sırasında bu mesafeyi korumak için bir servo mekanizması kullanılır. Bu sistem ile işlem ilerledikçe, elektrotun iş parçasına doğru ilerlemesi sağlanır. Ayrıca işlem sırasında istenmeyen kısa devre ve ark oluşumları, takım elektrotunun geriye çekilmesi sağlanarak önlenir.



Şekil 1.1 Darbe akım ve gerilimin değişimi.

1.2.3 Di-elektrik Sıvı Sirkülasyon Sistemi

EAİ elektrot ve iş parçası di-elektrik sıvı içerisinde gömülüdür. Di-elektrik sıvının sirkülasyonu ile işlem sırasında oluşan aşınma ürünlerinin işlem bölgesinden uzaklaştırılması, iş parçası ve elektrot yüzeylerinin soğutulması amaçlanır. İşleme bölgesine basınçlı sıvı göndermek işleme performansını geliştireceğinden di-elektrik sıvı bir pompa ile depodan işleme bölgesine gönderilir ve işleme kapındaki tahliye düzenekleri üzerinden yerçekimi vasıtası ile akışkan depoya geri döner. Kirlenen di-elektrik sıvı, çeşitli filtreleme ve dinlendirme işleminden geçirildikten sonra tekrar işleme bölgesine temiz ve uygun sıcaklıkta işleme bölgesine tekrar pompalanır.

1.2.4 Mekanik Yapı

EAİ üniteleri alışılmış frezeleme ve delme tezgahlarına benzerler. Dalma tip EAİ tezgahları dikey yönde takım beslemesi ve yatay yönde tabla hareketlerine sahiptir. İşlem sırasında iş parçası ve takım elektrotu arasında mekanik temasın olmamasından ötürü, meydana gelen kuvvetler oldukça küçüktür. Bu durum, EAİ tezgahlarının yapılarını etkilemekte, freze tezgahlarına oranla daha narin yapıda üretilebilmesine olanak sağlamaktadır.

1.3 EAİ YÖNTEMİNİN ÜSTÜNLÜKLERİ VE OLUMSUZLUKLARI

EAİ yönteminin, plastik endüstrisinde, çelik hacim kalıplarında herhangi bir hacimsel cismin boşluğunu elde etmede ve sac-metal kalıpçılığında yaygın olarak kullanılması, ayrıca işlenecek olan formun ölçü ve yüzey kalitesinin daha işlem başlamadan belirlenmesi ve dolayısıyla atölyede çalışan personelin zamanını daha iyi değerlendirmesini sağlaması vb. sebeplerle, geleneksel işleme yöntemlerine göre üstünlükleri vardır.

Bu üstünlükler;

1. Elektriksel iletkenliğe sahip herhangi bir malzeme, sertliği dikkate alınmaksızın işlenebilir. Özellikle aşırı sert dokuya sahip ve geleneksel yollarla işlenemeyen ve sertleştirilmiş karbür malzemelerin işlenebilmesi endüstriyel uygulamalar için önemli bir avantaj sağlar.

2. İşlem, sertleştirilmiş iş parçası malzemeleri üzerinde yapılabilir. Böylelikle sertleştirme işlemi sonucunda oluşan boyutsal değişimler önlenir.

3. İşleme, çapaksız bir yöntemdir. Takım elektrotu üzerinde, işleme sırasında yüksek mekanik kuvvetler ve titreşim olmadığı için, iş parçası üzerinde, istenilen ince ve hassas kesitler, şekil bozuklukları oluşturmadan işlenebilir.

4. Geleneksel yöntemle üretimi imkansız gibi görülen karmaşık biçimli formlar kolaylıkla işlenebilir. Ölçü ve hassasiyet belirlenen sınırlar içerisinde gerçekleştirilebilir.

5. Karmaşık biçimli geometrilerin, tek bir tezgahta, parça tabladan sökülmeden işlenebilmesi, işçilik ve üretim maliyetlerini önemli ölçüde düşürür.

6. Bir kalıp zımbası veya bir dişli, istenildiğinde bir elektrot gibi kullanılabilir.

Bu üstünlüklere karşın, EAİ yöntemi beraberinde aşağıda ifade edilen olumsuzluklara da sahiptir.

Bunları maddelersek;

1. İş parçasından talaş kaldırma hızı diğer alışılmış tezgahlara göre azdır.

2. İşlenen metal malzeme mutlak suretle elektrik iletkenliğine sahip olmalıdır.

3. Üretilen/yapılan oyuklar/boşluklar ve delikler, takım aşınmasından dolayı koniktir. Ancak, koniklik belli sınırlar içerisinde kontrol edilebilir.

4. Bazı EAİ tezgah tiplerinde, hızlı elektrot aşınması olabilir. Böylece, elektrotun şeklini işlem sırasında korumak zor olmaktadır. Bir geometriyi elde etmek için birden fazla elektrot kullanılması gerekir.

5. İşlenen yüzeylerde, hızlı ısınma ve soğuma çevrimlerinden ötürü, yapısal bozulmalar söz konusudur. Yüzey sertleşmesi meydana gelebilir. Ancak, bazı uygulamalarda bu sonuç bir üstünlük olabilir.

6. EAİ'nin performansını etkileyen birçok fiziksel parametre mevcuttur. Bu durum işlemin kontrolünü güçleştirmektedir.

7. Malzeme kaldırma hızı alışılmış tezgahlara nazaran oldukça düşüktür. Örnek verilecek olursa, bir torna tezgahı ile EAİ yönteminden 50 kat daha hızlı işleme yapılabilir.

8. Malzeme kaldırmak için harcanan enerji verimliliği oldukça düşüktür.

1.4 EAİ UYGULAMALARI

EAİ'de işleme operasyonlarını, işlemin temel özelliğini de dikkate alarak üç ana grupta toplamak mümkündür.

1. EAİ ile Delme ve Oyma İşlemi

2. EAİ ile Kesme İşlemi

3. EAİ ile Taşlama İşlemi

1.4.1 EAİ ile Delme ve Oyma İşlemi

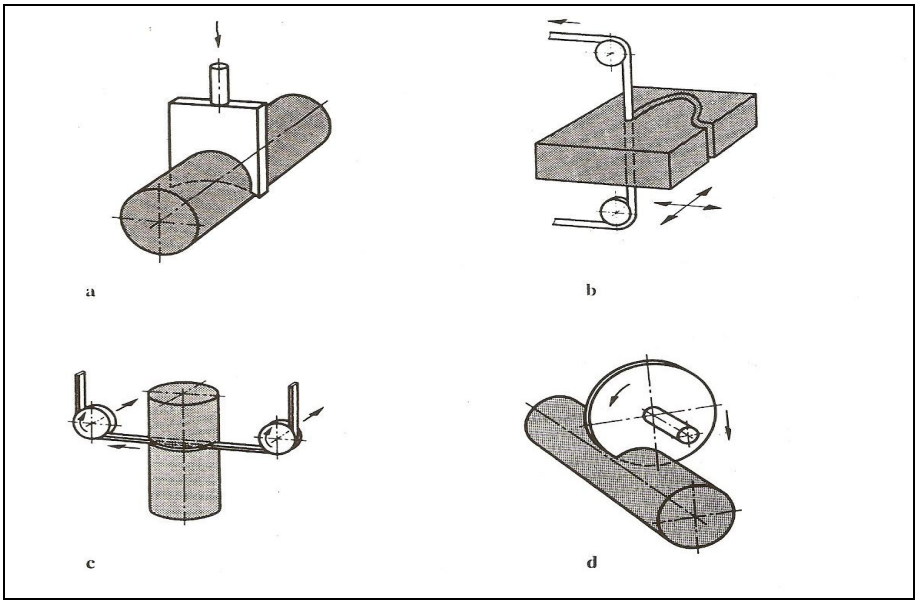
Operasyonlardaki farklılıklar kolayca ayırt edilebilir. Delme işleminin yanında kör delik, oyuk işlemleri de elektro-erozyon takım tezgahında yapılabilmektedir. Şekil 1.2'de üç boyutlu bir elektrotla oyuk işleme örneği görülmektedir.



Şekil 1.2 EAİ oyma işlemi ile işlenen çeşitli ürünler.

1.4.2 EAİ ile Kesme İşlemi

EAİ ile kesme işlemi, iş parçasının çeşitli profilde kesilip koparıldığı veya çentiklendiği bütün işleme operasyonlarını kapsamaktadır. Tel erozyon, üzerinde yüksek yoğunlukta akım geçirilen bir tel yardımıyla kesme yöntemidir. Klasik olmayan imal usulleri arasında yer alan bu yöntemle, sert ve karmaşık profilli iletken parçaların mikron hassasiyetinde işlenebilmesi mümkündür. Bu tezgâhlarda, farklı elektriksel kutuplara bağlanan tel elektrot, iş parçasına yaklaştırıldığında elektriksel boşalımlarla yüksek bir sıcaklık meydana gelmekte ve yerel metal ergime yolu ile talaş kaldırılmaktadır. Kesme sonucunda erozyon hem iş parçasında hem de kısmen de olsa telin yüzeyinde meydana gelmekte ve tel çapında belli bir oranda incelme ve kraterler şeklinde ortaya çıkmaktadır. Telde meydana gelen deformasyon sonucu tel ikinci kez kullanılamamakta ve atık tel deposunda toplanmaktadır. Ergiyen küçük metal parçacıkları devir daim yapan di-elektrik sıvı vasıtasıyla ortamdan uzaklaştırılmakta ve kesme işlemi tamamen bu sıvı içersinde gerçekleşmektedir. Bu sayede sabit bir işlem sıcaklığı sağlamak için tel ve iş parçasının soğuması ve malzemeden kaldırılan talaşın kıvılcım aralığından uzaklaştırılması temin edilmektedir. Şekil 1.3.(a)'da bıçak tipi bir elektrotla kesme işlemi, Şekil 1.3.(b)'de telle kesme işlemi, Şekil 1.3.(c)'de şerit tipi bir elektrotla kesme işlemi ve Şekil 1.3.(d)'de ise döner disk bir elektrotla kesme işlemi örneği görülmektedir. Şekil 1.4'de EAİ kesme işlemi ile üretilmiş malzemeler görülmektedir.



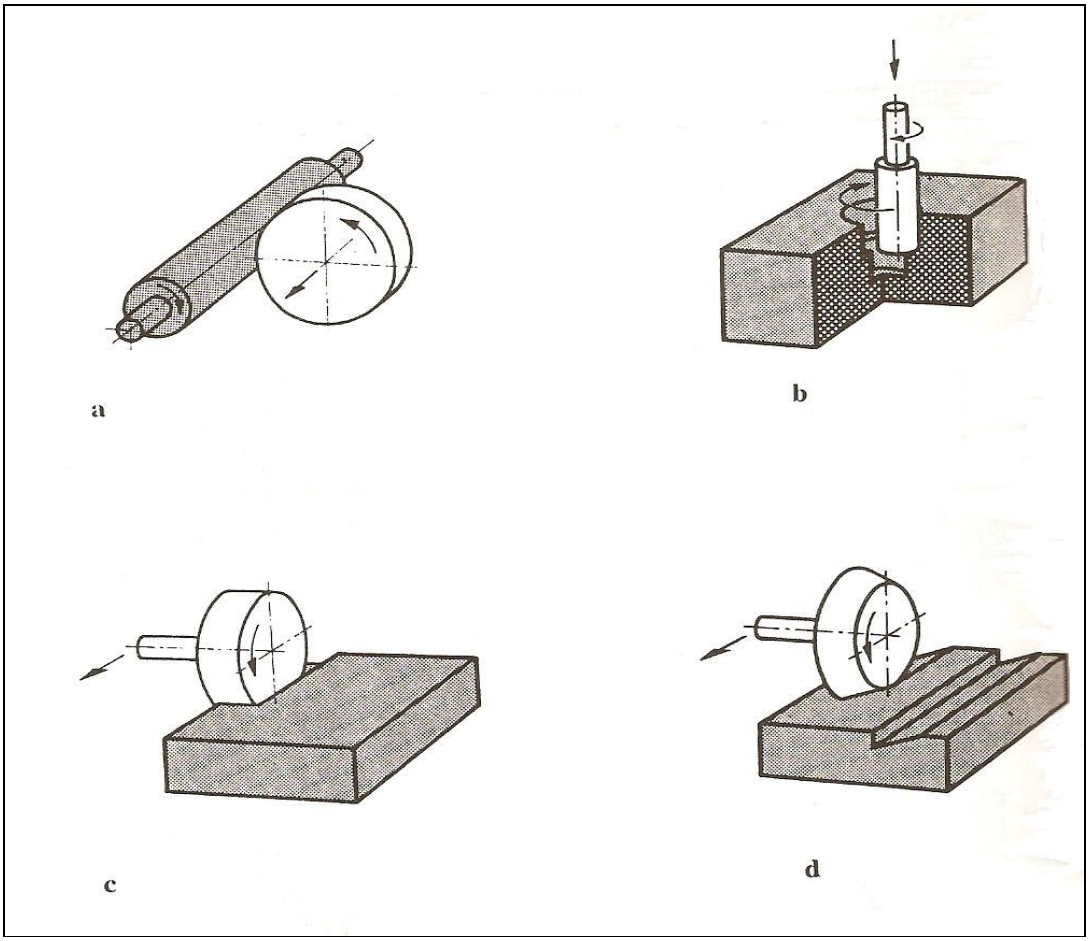
Şekil 1.3.(a)-(b)-(c)-(d) EAİ ile kesme işlemi ile ilgili örnek uygulamalar.



Şekil 1.4 EAİ kesme işlemi ile üretilmiş malzemeler.

1.4.3 EAİ ile Taşlama İşlemi

EAİ ile taşlama işlemi, ekseni etrafında dönen elektrotla yapılan bütün kesme işlemi operasyonlarını kapsamaktadır. Şekil 1.5.(a)'da EAİ ile silindirik dış yüzey taşlama, Şekil 1.5.(b)'de EAİ ile iç yüzey/delik taşlama ve Şekil 1.5.(c)-(d)'de ise, EAİ ile düzlem ve profil yüzey taşlama işlemi örneği görülmektedir.



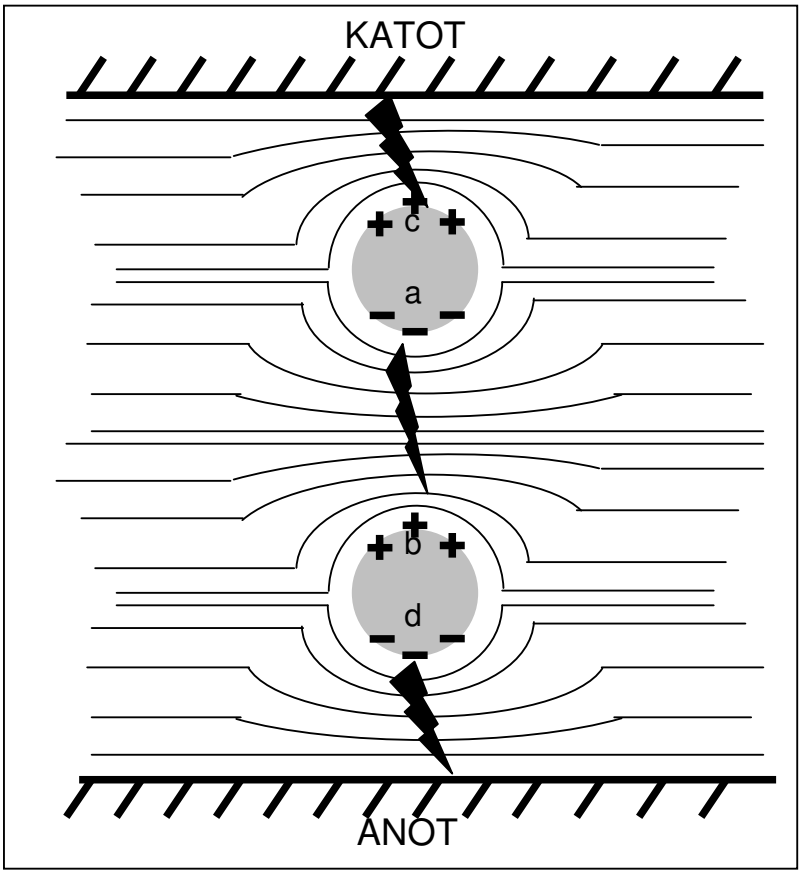
Şekil 1.5.(a)-(b)-(c)-(d). EAİ ile taşlama işlemi ile ilgili örnek uygulamalar.

1.5 TOZ KATKILI Dİ-ELEKTRİK SIVI İLE İŞLEME

Konvansiyonel EAİ yönteminde di-elektriğin işleme bölgesinde aynı yalıtım özelliğini göstermesinden dolayı düzgün yoğunlukta bir elektrik alanı meydana gelir. Bu da kısıtlı sayıda elektrik boşalımlarına ve küçük (dar) boşalım aralığına sebep olur. Toz Katkılı Elektriksel Aşındırma ile işleme (TK-EAİ) yönteminde, uygulanan çalışma geriliminin etkisi altında boşalım aralığındaki elektrik aralığı bölünür. Toz tanelerinin üst ve alt kısımlarında pozitif ve negatif elektrik yükleri toplanır. (Şekil 1.6).

Toz tanesinin üst veya alt bölgeleri elektrik yük yoğunluğunun en yüksek olduğu yerlerdir. Birbirinin yakınında bulunan iki toz tanesinin elektrik alan yoğunluğunun en yüksek olduğu a ve b noktaları civarında ilk boşalım meydana gelir. Bu boşalımdan sonra iki toz tanesi

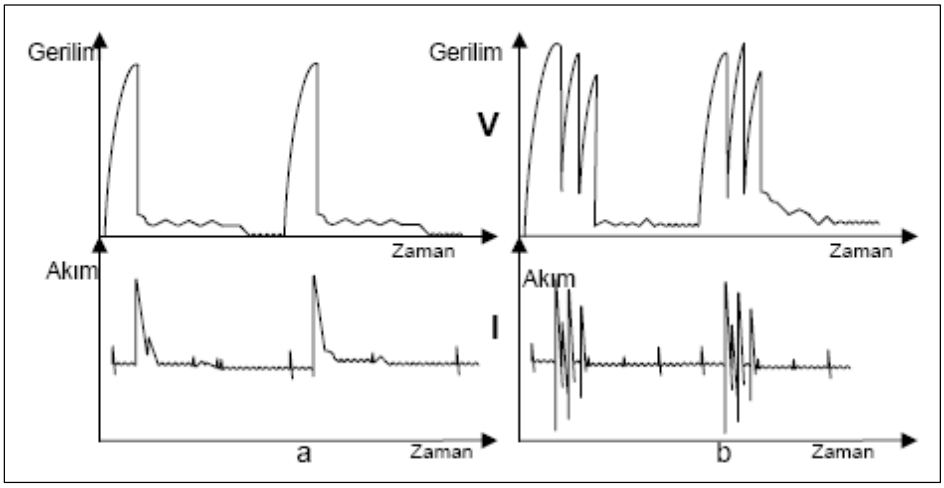
arasında kısa devre meydana gelerek elektrik yüklerinin bu bölgede dağılması gerçekleşir. Bundan sonra yüksek elektrik yükü toz tanelerinin c ve d noktalarına yoğunlaşır. Bu elektrik yükü yoğunlaşması bu iki toz tanesi ile diğer toz taneleri, elektrot ve iş parçası arasında boşalım etkisinin "ardışık boşalımlar" şeklinde oluşumunu sağlar (Zhao et al. 2002). Böylece TK-EAİ yönteminde elektriksel boşalımlar daha kolay oluşur.



Şekil 1.6 Toz tanelerinin davranışı (Zhao et al. 2002).

Dolayısı ile di-elektriğe karıştırılan tozların oluşturduğu köprü sayesinde elektrik alan yoğunluğu azalır ve tozların işleme bölgesinde bulunmasından dolayı elektriksel iletkenlik artar. Sonuçta işleme bölgesindeki tozlar di-elektrik sıvının elektriksel yalıtkanlığının kırılmasını kolaylaştırarak elektriksel darbelerin bekleme süresini kısaltır. Ayrıca çok sayıda küçük boşalım kıvılcımları neticesinde iş parçasında daha küçük kraterler oluşturarak yüzey pürüzlülüğünde önemli oranda azalma meydana gelir (Zhao et al. 2002, Wong et al. 1998).

Di-elektrik sıvıya karıştırılan tozların TK-EAİ yönteminde, darbe gerilimi ve akımın, dalga biçimine etkisi belirgindir. Şekil 1.7 alışılmış EAİ ve TK-EAİ yöntemlerinde meydana gelen, farklı boşalım dalga biçimlerini göstermektedir.



Şekil 1.7 Gerilim ve akım değişimi (a) Konvansiyonel EAİ yöntemi (b) SiC karışımlı di-elektrik sıvı ile işleme (Özerkan ve Çoğun 2005).

1.6 AMAÇ VE KAPSAM

TK-EAİ yönteminde, fiziksel işleme parametrelerinin sayısı oldukça fazladır. Darbe akımı, gerilimi süresi gibi elektriksel parametreler, elektrot ve iş parçasının, elektriksel ve ısı iletkenliği, erime ve kaynama noktası, ısı kapasitesi gibi malzeme özellikleri, di-elektrik sıvı ve sıvı içine konulan katkı malzemelerinin özellikleri, boyutları ve yoğunluğu bu parametrelere örnek olarak verilebilir.

TK-EAİ yöntemi ile yapılan çalışmalar, di-elektrik sıvı içerisinde asılı taneciklerin, işlem karakteristiğini önemli ölçüde değiştirdiğini ortaya kaymaktadır. Literatürde, genel olarak, TK-EAİ yönteminde malzeme kaldırma hızı, takım elektrot aşınma hızı ve yüzey pürüzlülüğü performans kriterleri temel alınarak araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmalarda, çeşitli darbe akımı ve gerilimleri kullanılarak, farklı toz katkı malzemeleri için işlemin performans çıktıları incelenmiştir. Yapılan araştırmalar, di-elektrik sıvı içerisindeki toz katkılarının, malzeme kaldırma hızını arttırdığını, takım aşınmasını ve yüzey pürüzlülüğünü azalttığını göstermiştir. Ancak TK-EAİ yönteminde, fiziksel işleme parametrelerinin oldukça fazla olması, konu ile elde edilebilen verilerin kısıtlı olması sonucunu doğurmuştur.

İşlemin karmaşık doğası ve hızlı ısıl çevrimlerin varlığı, işlenen yüzey üzerinde yapısal bozulmalara yol açmaktadır. Di-elektrik sıvı içerisindeki toz katkılarının, bu yapısal bozulmalara ne şekilde katkı sağladığı, elde edilen bulguların yetersiz olmasından ötürü, açıklanamamıştır. Bu çalışmada, farklı di-elektrik sıvılar içerisinde, çeşitli miktarlarda katılan SiC (500 Mesh) tozlarının, IF çeliğinin yüzeyinde oluşturduğu yapısal değişimler konu edilmiştir. Bu çalışmanın soncunda, TK-EAİ yöntemi ile işlenmiş yüzeylerde, toz katkı malzemesinin, topografik ve mikro yapısal değişimlere ne şekilde katkı sağladığının daha iyi anlaşılması hedeflenmektedir.

Bölüm 2'de TK-EAİ yöntemi hakkında yapılan araştırmalar özetlenmiş, Bölüm 3'de konu ile ilgili hazırlanan deney düzenekleri, numune hazırlama aşamaları ve kullanılan cihazlar tanıtılmıştır. Bölüm 4'de bu çalışma ile elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Bölüm 5'de elde edilen bulgular değerlendirilmiş ve tartışılmıştır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR TARAMASI

EAİ yöntemi ile işlenmiş yüzeylerde meydana gelen bozulmalar işlem sırasında malzeme kaldırmak için kullanılan enerji ile ilişkilidir. Bu bakımdan yöntem ile işlenmiş yüzeyin kalitesinin geliştirilebilmesi, işleme etki eden fiziksel parametreler ve yüzey kalitesi arasındaki ilişkiselliğin anlaşılabilmesi ile mümkündür. Bu bakımdan, EAİ ve TK-EAİ yöntemi ve bu yöntemler ile işlenmiş yüzeylerde meydana gelen yüzey bozulmaları hakkında yapılan çalışmalar birlikte incelenmiştir.

2.1 EAİ UYGULAMALARINDA YÜZEY TOPOLOJİSİ

İşlenmiş yüzeylerde topolojik özelliklerin karakterize edilebilmesi, yüzey kalitesinin anlaşılabilmesi açısından önemli bir yer tutar. Saito (1962) bir elektriksel boşalım darbesi sonunda, yüzeyde oluşan kraterin şekli ve boşalım koşulları arasındaki ilişkiselliği araştırmış ve işleme aralığının (takım elektrotu ve iş parçası arasındaki mesafe) krater boyutları üzerinde etkili olduğu sonucuna varmıştır. Lloyd and Warren (1965) anot yüzeyinde oluşan kraterleri kristal oryantasyonundan bağımsız, dairesel çöküntüler şeklinde tanımlamış, baskılanarak çeperlere doğru yükselen eriyik metalin krater çeperlerindeki yığılmaları oluşturduğunu, katot yüzeylerinde oluşan kraterlerin ise gerçekte tam dairesel geometriye sahip olmadığını, ancak kristal düzlemlerinin simetrisini yansıtma eğiliminde olduklarını belirtmiştir. Greene and Alvarez (1974) bir profil-metre görüntüleme tekniği kullanarak, farklı elektrot malzeme yüzeylerinde oluşan kraterlerin hacmini ölçmüş, krater çeperleri etrafında oluşan radyal akış çizgilerini tanımlamıştır. Radhakrishnan and Achyutha (1980) kraterlerin genel görünümünün, çap ve derinlikleri dışında, farklı malzemeler için aynı olduğunu relokasyon tekniği ile göstermişlerdir. Wong et al. (2003) 50μJ den düşük darbe enerji formlarının kullanılması durumunda, oluşan kraterlerin düzgün ve belirgin çeper yapısına sahip olduklarını göstermişlerdir. EAİ yöntemi ile işlenmiş yüzeyler, elektriksel boşalımların ardışık etkimesi sonucunda üst üste kraterler şeklinde karakterize edilebilir. Yüzey pürüzlülüğü, literatürde yoğun olarak işlenmiş, darbe akımı, gerilimi ve süresi gibi farklı elektriksel işleme

parametreleri, farklı di-elektrik, takım elektrotu ve iş parçası kombinasyonları için birçok deneysel veri, ampirik modeller önerilmiştir (Saito 1962, Ramaswami and Raj 1973, Crookall and Khor 1974, Jeswani 1978, Rao and Faruqi 1982, Lee et al. 1988, Chen and Luo 1990, Cogun and Savsar 1990, Aspinwall et al. 1992, Rebelo et al. 1998, Chen and Mahdivan 1999, Chen and Mahdivan 2000, Tsai and Wang 2001, Rozenek et al. 2001, Lee and Li 2001, Halkacı and Erden 2002, Liu and Huang 2003, Lee and Tai 2003, Ghanem et al. 2003, Simao et al. 2003, Guu et al. 2003). Bütün çalışmalarda genel olarak, yükselen darbe sürelerine karşılık yüzey pürüzlülüğü, üssel fonksiyonlar şeklinde önerilmiştir. Yüksek darbe enerjileri sonucunda oluşan kraterlerin büyüklüğü, yüksek yüzey pürüzlülüğünü de yükseltmektedir. Bu bakımdan yöntemin, yüksek hassasiyet ve kararlık gerektiren uygulamalarda kullanılabilmesi için, düşük enerji seviyelerinde yoğun çalışmalar yapılmış ve 0.2µm düşük yüzey pürüzlülük değeri yöntem ile elde edilmiştir. (Mohri and Saito 1985, Luo et al. 1988, Luo and Chen 1990). Taramalı elektron mikroskobu ile yapılan bir çok çalışma (Crookall and Khor 1974, Greene and Alvarez 1974, Rao and Faruqi 1982, Lee et al. 1988, Thomson 1989, Rebelo et al. 1998, Ghanem et al. 2003, Lee and Tai 2003, Lee and Li 2003), EAİ ile işlenmiş yüzeylerde, özellikle krater çeperlerine entegre kürecikler ile birlikte eriyik malzemenin kaynaması esnasında sıkışan gazların oluşturduğu bacamsı yapılar gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, kaynayan eriyik malzemenin aniden katılaştığını ortaya koymaktadır. EAİ ile işlenen yüzeylerde, özellikle yüksek darbe enerjilerinin kullanılması durumunda, mikro çatlaklar gözlemlenmiştir. Bu sonuç, işlemin ısınma ve soğuma çevrimleri sırasında, malzemenin kopma mukavemetinden daha yüksek çekme gerilmelerinin varlığını gösterir (Mamalis et al. 1988, Thomson 1989, Lee and Tai 2003, Ekmekçi et al. 2005).

Mikro çatlaklar, işleme koşullarına bağlı olarak, yüzeyde gelişigüzel dağılabildiği gibi, krater etrafında oluşan başka bir elektriksel boşalım etkisi ile ilerleyerek belirgin çatlama ağları da oluşturabilirler Ekmekçi (2009).

2.2 EAİ İLE İŞLENMİŞ YÜZEYLERİN METALÜRJİK YAPISI

İşlemin sert doğası gereği, oluşan kraterlerin metalürjik karakteristikleri oldukça karmaşıktır. Bu bakımdan, etkilenmiş katmanların kalınlıkları ve yapısal değişimlerin özellikleri ile ilgili bir çok soru gündeme gelmiştir. Mikroskobik çalışmalar, işlenmiş yüzeylerde, işlem sırasında yüksek noktasal sıcaklık seviyelerine ulaşılmasından ötürü, alışılmamış faz değişimlerinin oluştuğunu göstermiştir. Elektriksel boşalımın hemen sonrasında, krater içerisindeki eriyik

malzeme havuzu aniden di-elektrik sıvı ve takım elektrotunun alaşımlama etkisine maruz kalır, ardından di-elektrik sıvının ısı taşınımı ve ana faz malzemesinin ısı iletim etkisi ile aniden katılaşır (Opitz 1960, Barash and Sri-Ram 1962, Green and Alvarez 1974, Crookall and Khor 1974, Ramarao and Fruqi 1982, Ramulu and Garbini 1991, Tabrett 1996). Yeniden katılaşan malzeme hızla kompleks yapısal dönüşümlere uğrar (Crookall and Khor 1974, Massarelli and Marchionni 1977, Wallbank 1980). Hidro-karbon bazlı di-elektrik sıvı kullanılması durumunda saf titanyum (Lloyd and Warren 1965), TI-6AL-4V (Chen et al. 1999) uranyum ve zirkonyum (Lim et al. 1991) yüzeylerinde karbür formasyonu gözlemlenmiştir. Su bazlı di-elektrik sıvıların kullanılması sonucunda ise oksit formasyonu gözlemlenmiştir. Qin et al. (2003) Ti-46A1-2Cr malzemesinin su bazlı di-elektrik sıvı ile işlenmesi sonucunda yüzeyde yeni bir fazın oluştuğunu ortaya koymuştur. Bu faz kafes parametresi 4.49-4.5 YMK (Yüzey Merkezli Kübik) titanyum hidrat yapısı ile uyumludur.

Lloyd and Warren (1965) EAİ ile işlenmiş saf titanyum yüzeylerinde yüksek sertlik değerlerini ölçmüşler, Hung et al. (1994) silisyum karbür tanecikleri ile güçlendirilmiş dökme alüminyum matrisli kompozit malzemelerin işlenmesi durumunda yüzeylerde yumuşama gözlemlemişlerdir. Qu vd. (2003) WC-Co kompozit malzemesini su bazlı di-elektrik sıvı kullanarak işlemiş ve döküm yüzeyinin ana faz malzemesine oranla daha düşük sertliğe ve elastik modülüne sahip olduğunu göstermiştir. Lee and Li (2003) EAİ ile işlenmiş tungsten karbür üzerinde çalışmış ve döküm yüzeyinde mikro çatlamalara rastlamıştır. Ancak ana faz malzemesi ve döküm yüzeylerinde sertlik değişimlerine rastlamamıştır.

2.2.1 Beyaz Tabaka

Saf demir ve demir alaşımları üzerinde yapılan çalışmalar, dağlamaya dirençli ve ana faz malzemesinden çok daha sert beyaz dökme bir tabakanın varlığını ortaya koymuştur. Bu sebeple, bu katman literatürde beyaz tabaka olarak adlandırılmıştır. Bu katman elektrot malzemesinden alaşımlama izleri taşımakta ve incelenen bütün fiziksel parametreler altında gözlemlenmektedir (Optiz 1960, Brash and Sri-Ram 1962, Lloyd and Warren 1965, Crookall and Khor 1974, Ramulu and Garbini 1991). Bu sonuç, takım elektrotunun yüzey kalitesini değiştirmesi açısından önemlidir. Bundan dolayı, takım elektrot malzemesinin doğru seçilerek yüzey kalitesinin artırılabileceği öne sürülmüştür (Lloyd and Warren 1965, Crookall and Khor 1974, Ramulu and Garbini 1991).

Llyod and Warren (1965) hidro-karbon bazlı parafin di-elektrik sıvısı ve grafit elektrot kullanarak, yüksek darbe akımı ve sürelerinde işlenen çeliklerde beyaz tabakanın, dentritik östenit ve östenit-sementit ötektik yapılarını içerdiğini, bakır elektrot kullanarak kısmen daha düşük darbe akımları ve sürelerinde işlenen çeliklerde beyaz tabakanın ise tamamı ile östenitik bir katmanın ardından östenit-sementit oluşumunun meydana geldiğini öne sürmüştür. Optiz (1960) sıcak dövülmüş çeliklerin bu yöntem ile işlenmesi sonucunda hiper ötektik döküm tabakası oluştuğunu bildirmiştir. Massarelli and Marchionni (1977) östenit matris içerisinde benzer karbür oluşumlarını raporlamış, ancak takım elektrot malzemesinin bu yapıyı değiştirmediğini öne sürmüştür. Onlara göre, takım elektrot malzemesi, beyaz tabaka içerisinde, sadece östenit ve karbür oranlarını değiştirmektedir. Buna karşılık Simao et al. (2003) sinterlenmiş TiC/WC/Co elektrotunun işlem sırasında kullanılması sonucunda, beyaz tabaka sertliğinin arttığını belirtmişlerdir. Çalışmalarında akkor boşalım optik emisyon spektrometresi kullanarak EAİ ile işlenmiş AISI D2 çeliği yüzeyinde Ti ve W ile birlikte di-elektrik sıvıdan karbon dekompozisyonunu, beyaz tabaka üzerinde gözlemlemişlerdir. Benzer şekilde Tsai et al. (2002) Cr/Cu bazlı takım elektrotundan yüzeye Cu ve Cr taşınımını raporlamışlardır. Rebelo et al. (1998) beyaz tabakada karbon yoğunluğunun, işlenen malzemenin karbon yoğunluğundan 9 kat daha fazla olduğunu mikroprob analizi ile göstermiştir. Ghanem et al. (2003) akkor boşalım optik emisyon spektrometresi kullanarak işlenmiş yüzeylerde karbon ve hidrojen içeriğinde yükselmeleri ölçmüşlerdir. Araştırmacıların önemli bir bölümü, beyaz tabaka içerisindeki karbon yükselişini, hidro- karbon bazlı di-elektrik sıvının işlem sırasında ısıl kırılımı ve bu kırılım sonucunda ortaya çıkan karbon atomlarının iş parçası yüzeyine taşınımı sonucunda yükseldiğini belirtmişlerdir. Ancak bazı araştırmacılar, karbon atomlarının işlem sırasında di-elektrik sıvıya nazaran, grafit elektrot yüzeylerinden daha hızlı emilebileceğini öne sürmüşlerdir. Thomson (1989) ise karbon taşınımının tamamı ile di-elektrik sıvıdan kaynaklandığını belirmiştir. Rebelo et al. (1998) martensitik çelik yüzeylerinde Fe_3C (sementit) oluşumunu bildirmiş, Cabanillas et al. (2000) iki farklı karbür oluşum rejimi tanımlamıştır. Saf demir malzemesi için, işlem sırasında uygulanan darbe enerjisinin 0.5 J den düşük olması durumunda, östenit ve martensit içerisinde ε-karbürler, darbe enerjisinin daha yüksek olması durumunda ise östenit ve az oranda martensit içerisinde Fe_7C_3, yada Fe_5C_2 oluştuğunu bildirmiştir.

Lim et al. (1991) alışılmamış dağlama ajanları kullanarak, bazı malzemeler için beyaz tabakayı dağlayabilmiş ve bu tabaka üzerinde çeşitli mikro yapı özelliklerini gözlemleyebilmiştir. Beyaz tabaka kalınlıklarına göre gözlemlerini üç ana grupta

sınıflandırmıştır. Birinci grupta kalınlıkları 20 μm ile 50 μm arasında değişen beyaz tabakaların, benzer mikro yapıların üst üste binmesi ile oluştuğunu, kalınlıkları 10 μm ile 20 μm arasında değişen beyaz tabakaların genel olarak kolonsu ve dentritik yapılardan oluştuğunu ve 10 μm ince beyaz katmanların ise özelliksiz yapısını koruduğunu (dağlamadan etkilenmediğini) belirtmişlerdir. Ekmekçi (2009) ise çeliklerde, alışılmış ve alışılmamış dağlama ajanlarını ardışık kullanarak, beyaz tabakada matris malzemesinin ısı iletimi sonucunda soğuyan, martensitik ve di-elektrik sıvının kırınım ürünlerinden etkilenmeyen, bir ara katılaşma tabakasının varlığını ortaya koymuştur.

2.2.2 Katı Fazda Isıl Etkilenmiş Tabakalar

Isıl etkilenmiş tabaka çoğunlukla, yeniden oluşan tabakanın altında bulunmuştur (Optiz 1960, Lloyd and Warren 1965, Crookall and Khor 1974, Bucklow and Cole 1969, Massarelli and Marchionni 1977, Wallbank 1980). Bu tabaka, kısmen di-elektrik sıvı tarafından sürüklenen karbondan etkilenir. Genellikle bu tabakanın temperlenmiş bir mikro yapısı vardır. Bu tabakanın sertlik değeri, altındaki tabakadan daha azdır. Birkaç çalışmada, yeniden oluşan ve temperlenen tabakalar arasında bir orta tabaka daha olduğu gözlemlenmiştir (Optiz 1960, Lloyd and Warren 1965, Crookall and Khor 1974, Massarelli and Marchionni 1977). Bu tabaka, takım elektrotundan kopan malzemelerin etkisini ve karbon eğilimini sergileyebilmek için bulunmuştur. Bu tabakanın, optik mikroskopta ana malzemeden daha koyu görünen, daha zor işleme koşulları altında, katı fazda oluşan yayınımın olduğu bölgeye ilaveten, ergimiş tabakanın bir parçasını içerdiği ve kompleks bir yapı içerdiği söylenebilir. Bu tabakanın kalınlığı, nispeten boşalma enerjisine göre artar ama işlenen malzemenin kimyasal yapısının çoğunlukla etkili olduğu da görülür. Orta tabaka, kalınlık olarak beyaz tabaka kadar olabilir. Bu tabaka, ana malzemedeki karbür taneciklerinden boyut olarak daha büyük ve daha yuvarlak olan ikinci faz taneciklerini yoğun olarak içerir (Lee et al. 1988). Bu tabakanın sertliği, yeniden oluşan tabaka ile kıyaslanabilmesi için bulunur (Lim et al. 1991). EAİ esnasında karmaşık faz dönüşümlerine maruz kalmayan tek-fazlı malzemeler için plastik deforme olmuş bir bölge olduğu raporlanmıştır (Bucklow and Cole 1969). Bu plastik şekilde bozulan tabakanın, on mikrometreden yüz mikrometre kalınlığa kadar bir aralıkta olabildiği bulunmuştur. Zor işleme koşulları altında, gevrek malzemelerde, ana malzeme içine doğru tane sınırlarında çatlaklar gözlendi (Optiz 1960, Llyod and Warren 1965, Lee et al. 1988).

Yapılan çalışmalar neticesinde, bu bölgelerin dışında, malzeme içinde işlemeden etkilenme olmamıştır.

2.2.3 Mikro Çatlaklar

Çatlak yapısı, işleme koşullarına bağlı gerilme ve ısıyla yorumlanabilir. Isıl gerilmeler, elektrik boşaltması yüzeyde kıvılcım ürettiği ve ısıttığı zaman oluşur. Gerilme direnci önce, etkilenmemiş ana malzemeden daha çok, ergimiş malzemede oluşur. Di-elektrik sıvıdan karbonun yayılması ve takım elektrotundan kopan alaşım malzemeleri, malzemenin büzülme oranını etkileyebilir. Yüzeydeki gerilmeler malzemenin maksimum çekme mukavemetini aştığı zaman, çatlaklar oluşur (Lenz and Katz 1975, Schachrai and Lenz 1976, Thomson 1998, Mamalis et al. 1987, Lee et al. 1990). Önceki çalışmaların sonuçları (Mamalis et al. 1987, Lee et al. 1988, Lee et al. 1990, Lee et al. 1992), vuruş enerjisi artarsa, çatlatmanın arttığını gösterdi. Ama maksimum çatlak yoğunluğunun gerçekte, minimum vuruş akımı altında maksimum sürede meydana geldiği belirtilmiştir (Lee and Tai 2003). Di-elektrik sıvı olarak su kullanıldığında çatlakların azaldığı görülmüştür (Kruth et al. 2001). Çatlaklar, yüzeyden başlar ve ana malzeme içine dik olarak uzanır. Çoğu araştırmada çatlakların, beyaz tabakanın içinde veya beyaz tabaka ile ısıl etkilenmiş tabaka arasında sonlandığı görüldü. Yine de bazı kritik işleme koşullarında, çatlakların ana malzeme içine girebildiği görülür.

Yorulma mukavemeti, yüzey ve yüzeye yakın bölgelerin özelliklerine bağlıdır (Zeid 1996, Zeid 1997). Yüzey kusurlarının arasındaki çatlaklar, özellikle yükleme koşulları altındaki gerilmeler (Thomson 1998), korozyon ve yorulmanın malzeme direncinde azalmaya sebep olduğundan dolayı önemlidir (Lim et al. 1991).

2.3 TK-EAİ YÖNTEMİ

Araştırmacılar EAİ sistemlerindeki etkili malzeme kaldırma mekanizmalarını elde etmek için çeşitli denemelerde bulunmuşlardır. Al ve SiC tozları karıştırılmış di-elektrik sıvı kullanıldığında, boşalım aralığının büyüdüğü, en yüksek iş parçası işleme hızının, SiC tozlu çalışmada elde edildiği ve yüzey pürüzlülüğünün Al tozlu di-elektrik sıvıda belirgin şekilde azaldığı görülmüştür. (Chow et al. 2000, Lim et al. 1991). Elektroerozyon ve ultrasonik işleme mekanizmalarını birleştirerek gerçekleştirdikleri çalışmada işleme hızını arttırmak ve boşalım enerjisinin işleme yüzeyine daha homojen dağılmasını sağlamak amacıyla saf su ve

gazyağı di-elektrik sıvı içine 3 μm ve 9 μm ortalama boyutlu SiC tozlarını karıştırmışlardır. EAİ yöntemine göre toz konsantrasyonu arttıkça işleme hızının arttığını ve en yüksek işleme hızına 9 μm boyutundaki SiC tozu karıştırılmış saf sulu çalışmada ulaştıklarını belirtmişlerdir. SiC tozunu gazyağına karıştırdıklarında saf su kullanılan deneylere göre vurum süresi arttıkça daha iyi yüzey pürüzlülüğü elde etmişlerdir. (Uno et al. 2001), Al-bronz malzemeden yapılan plastik enjeksiyon kalıpların Ni kaplanmasına ve takım çeliklerinin yüzeyinde sert TiC tabakası oluşturulmasına yönelik yaptıkları çalışmada di-elektrik içine Ni ve C tozlarını karıştırmışlardır. Kalıpların imalatında yaygın olarak kullanılan SK3 karbonlu elektrot ve SKD11, SKD61 alaşımlı takım çeliklerini Si tozlu di-elektrik sıvıda işlemişlerdir. Ni tozlu di-elektrik sıvıda işlenen Al-bronz malzeme yüzeyinde, Ni tozu konsantrasyonunun artmasıyla krater boyutlarının azaldığını ergiyip katılaşan tabakanın kalınlığının arttığını, bu tabakada Ni biriktiğini belirtmişlerdir. Ti elektrot ve C tozu karışımlı gazyağı kullanarak yaptıkları çalışmada ise elektrot aşınmasını arttırmak ve böylece TiC içeren iş parçası yüzey katmanı oluşumunu kolaylaştırmak için elektrotu ters kutuplayıp sert TiC içeren yüzey katmanı elde etmişlerdir. Si tozlu di-elektik sıvı ile işlenen yüzeylerin pürüzlülüğünün EAİ ile işlenen yüzeylere göre belirgin şekilde azaldığını belirtmişlerdir. (Zhao et al. 2002), Cu elektrotla çelik iş parçası işledikleri çalışmada 10 μm boyutundaki Al tozlarını di-elektrik sıvı içine karıştırmışlardır. Boşalım aralığının büyüdüğünü, boşalım kanalının genişlediğini, yüzeylerde düzgün, geniş ve sığ görünümlü kraterler oluştuğu saptamışlardır. (Ming and He 1995), gazyağına iletken ve inorganik toz karıştırıldığında di-elektrik iyonizasyon geriliminin düştüğünü, boşalım aralığının genişlediğini, ısıl gerilmelerin, mikro çatlakların azaldığını ve işlenmiş yüzey katmanlarında mikro serlikte artış olduğunu tespit etmişlerdir. (Narumiya et al. 1989), Si, Al, C tozlu di-elektrik sıvı kullanıldığında, boşalım aralığının genişlemesi sebebiyle işleme artıklarının yüzeylerden daha iyi süpürülerek işleme hızının arttığını vurgulamışlardır. En iyi yüzey pürüzlülüğü değerine Al tozlu çalışmada (0,8 μm ortalama toz boyutu) ulaşıldığını ve işleme süresinin en çok bu toz kullanımında kısaldığını ve toz karışımlı bütün işlemlerde işlenen yüzeylerin korozyon dayanımının arttığını ifade etmişlerdir. (Wong et al. 1998), C, Si, MoS_2 tozlarının, Al, SiC ve cam tozlarına nazaran ayna görünümlü yüzeyler elde edilmesinde daha etkili olduklarını tespit etmişlerdir. Diğer bir çalışmada, EAİ yüzeyi ile işlenmiş yüzeyleri daha sonra bitirme işlemi olarak Si tozlu di-elektrik sıvıda işleyerek işleme süresinin EAİ yöntemine göre kısaldığını, işlenmiş yüzeylerin pürüzlülük değerlerinde önemli oranda azalma olduğu ve korozyon dayanımının arttığını belirtmişlerdir. (Mohri et al. 1991). Döner disk ve ince tel şeklindeki Cu elektrotlar, Ti tozlu di-elektrikte kullanılan bir çalışmada, yüzeylerde TiC alaşımlı ve tozsuz işlemeye göre daha sert ve daha az pürüzlü yüzeylerin

oluştuğu belirtilmiştir. (Furutani et al. 2001), toz metalurjisi yöntemiyle imal edilmiş elektrotları ters kutuplama yapılarak işleme yapıldığında işleme yüzeylerinde % 40 oranında elektrot malzemesi ile alaşımlanmış tabaka elde edildiğini ve W, Co, Mo, Mn tozlu di-elektrik sıvı kullanıldığında tozların işlenmiş yüzeye %10 üzerinde alaşımlandığını, ortalama yüzey pürüzlülüğünün (Ra) 0,2 μm'nin altında olduğunu belirtmişlerdir. Her iki tip uygulamada da ters kutuplama (iş parçası pozitif, elektrot negatif) gerektiği vurgulanmıştır. (Tzeng and Lee 2001), Al, Cr, Cu ve SiC tozlarını kullandıkları çalışmalarında, 100 μm boyutundaki büyük tozların elektrik boşalım aralığını büyük oranda genişlettiğini ve toz konsantrasyonu arttığında büyük toz boyutlarının elektrot aşınmasını arttırdığını, küçük boyutlu tozlarda ise işleme hızının arttığını ve elektrot aşınmasının azaldığını ifade etmişlerdir. En yüksek işleme hızına ve en düşük elektrot aşınma hızına Cr tozlu çalışma hızında ulaşılmıştır (Masui et al. 1995). W tozu kullanılan takım çeliklerinin alaşımlanan yüzey tabakasındaki W miktarının, elektrotun negatif kutuplanması ile arttığı gözlemlenmiştir. W toz karışımlı di-elektrik sıvı kullanımında işlenmiş yüzeyin pürüzlülüğü, sertliği, korozyon, aşınma dayanımı gibi özelliklerin önemli derecede iyileştiği görülmüştür. (Klocke 2004), mikro dalma erozyonu ile işlemede toz parçacıkların etkisini ve termal etkilenmiş tabakayı araştırdı. Raporlarında, toz eklenmesiyle katmanlardaki şekil ve bileşim değişiminin çok önemli olduğunu gözlemledi. Deney sonuçlarına göre iki önemli bulguyu elde etti:

1. Al tozları ince bir tabaka meydana getirir ve daha yüksek malzeme kaldırma oranı oluşturur.
2. Si tozları gri bölge altında gerçek beyaz tabakayı meydana getirmektedir.

(Özerkan ve Çoğun 2005) borik asit ve grafit tozları katılarak hazırlanan gazyağı di-elektrik sıvıda işlenen numunelerde, toz konsantrasyonu ve vurum süresi arttığında saf gazyağı ve borik asit tozlu deneylere nazaran çok daha yüksek işleme hızı değerlerine ulaşılmıştır. Daha uzun vurum sürelerinde elektrot aşınmasının azaldığı, tüm tozlu deneylerde konsantrasyon ve vurum süresi arttıkça beyaz katman kalınlığının arttığı tespit edilmiştir.

2.4 EAİ TEKNİĞİ SİSTEMLERİ

Benzer çalışmalarda;
1. İşleme hızının arttığı
2. İş parçası yüzey pürüzlülüğünün ve mikro çatlakların azaldığı

3. İş parçası yüzey tabaka kalınlıklarının azaldığı
4. Aşınma ve korozyon dayanımının arttığı
5. Daha az gözenekli ve malzeme tozları ile alaşımlanmış bir yüzey elde edildiği belirtilmiştir.

TK/EAİ yönteminde;

1. Toz konsantrasyonunun işleme süresince azalması
2. Homojen toz-di-elektrik dağılımının oluşturulamaması
3. Di-elektrik filtrasyonu ve sirkülasyonundaki zorluklar
4. Yüksek toz konsantrasyonlarında işleme aralığında toz yığılması ve tıkanması gibi problemler mevcuttur.

Kalıp boşluğunun işlenebilmesi için boşluk geometrisine sahip, elektrik iletkenliği olan takım elektrotu kullanılır.

BÖLÜM 3

DENEY DÜZENEKLERİ VE DENEY AŞAMALARI

Bu bölümde, deney düzenekleri ve deney takımları ile bunların özellikleri, tanımlamaları açıklanacaktır. Bölüm boyunca, EAİ tekniği ile işlenen yüzeylerin bütün deneysel işleme detayları anlatılacaktır.

3.1 EAİ ARAŞTIRMA LABORATUARI

EAİ araştırma laboratuarı (Metalografi) Karaelmas Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde bulunmaktadır. Laboratuarda, AJAN Elektronik Servis San ve Tic.Ltd.Şti.'den gerekli olan ekipmanları ile birlikte alınan 3 eksenli (4.eksen opsiyonel) yüksek hassasiyetli elektro erozyon (AJAN, EDM CNC Model 983) tezgahı, IMM 901 optik mikroskop ve Clemex görüntü analiz yazılımı ile çalışan dijital kamera, Metkon Ltd.'den temin edilen sıcak bakalit presi ve hassas kesici bulunmaktadır. Şekil 3.1'de kalıplama amacıyla Metkon'dan alınan sıcak kalıp presi gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Sıcak bakalit kalıp presi.

Şekil 3.2'de laboratuarda bulunan ve çeliği (numuneleri) kesmek için kullanılan düşük hızlı Boehler'in hassas dairesel testeresi görülmektedir.



Şekil 3.2 Hassas düşük hızlı kesici testere.

Şekil 3.3'de İşlenmiş yüzeylerin optik olarak incelenebildiği IMM 901 optik mikroskop verilmiştir.



Şekil 3.3 IMM 901 model optik mikroskop.

Şekil 3.4'de Zonguldak Karaelmas Üniversitesi' nde bulunan FORCİPOL-1 zımparalama ve parlatma tezgahı verilmiştir.



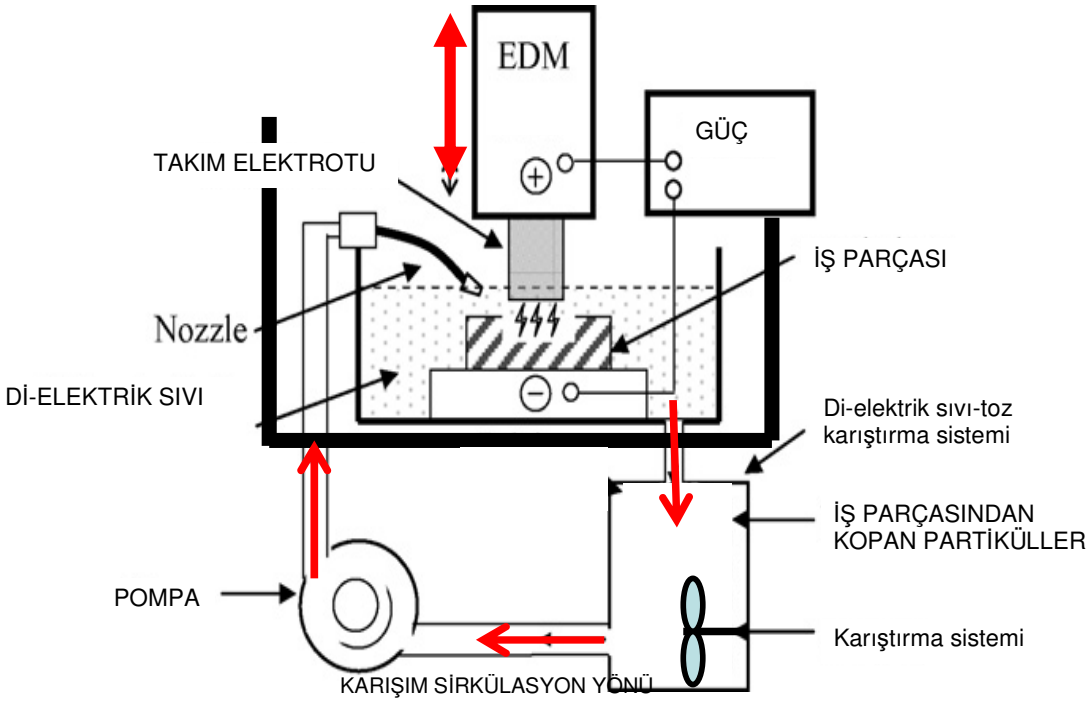
Şekil 3.4 Zımparalama ve parlatma tezgahı.

Şekil 3.5'de metalografik inceleme cihazlarının tamamı görülmektedir.



Şekil 3.5 Elektro erozyon laboratuarı genel görünüm.

Şekil 3.6 ve Şekil 3.7'de EAİ tezgahının şematik ve genel görünümleri verilmiştir.



Şekil 3.6 EAİ deney düzeneğinin şematik görünümü.



Şekil 3.7 EAİ deney düzeneğinin genel görünümü.

3.2 EAİ TEZGÂHI VE DONANIMLARI

AJAN marka elektro erozyon tezgahının genel görünümü Şekil 3.8'de verilmiş olup, Şekil 3.9'da EAİ tezgahında, malzeme işleme sırasında toz konsantrasyonu ilave edilmiş di-elektrik sıvı içinde çalışma görülmektedir.

1. Makina gövdesine entegre servo sürücü, elektrik ve kontrol sistemleri
2. Gerilim giderilmiş rijit çelik konstrüksiyon gövde
3. Merkezi yağlama sistemi

4 Hızlı di-elektrik dolaşım sistemi

5. İş mili ve ilerleme eksenlerinde AJAN AC servo motorlar ve sürücüleri
6. Lineer kızak sistemi
7. Kolay erişimli di-elektrik filtreleri
8. Standart DIN/ISO G kodları ile çalışabilme imkanı

2 veya 3 boyutlu AUTOCAD .dxf dosyalarından direkt makineye kumanda özelliği, tüm popüler CAD/CAM program çıktılarının işlenebilme imkanı

1- Çalışma Başlığı:

1.1. Hareketli Kolon Kursu: 250(mm)
1.2. Maksimum hareket hızı: 600(mm/min)
1.3. Kafa yataklama kapasitesi: 250(kg)
1.4. Maksimum elektrot ağırlığı: 150(kg)
1.5. Elektriksel anma gücü: 1.1(KVA)

2- Jeneratör:

Ortalama Elektrot Akımı: 50(A)
2.1. Maksimum anma gücü: 4.5(KVA)
2.2. Darbe gerilimi: 75-150(V)
2.3. Maksimum aşındırma hızı: 600(mm/min)
2.4. En pürüzsüz yüzey: 0.5(micron)

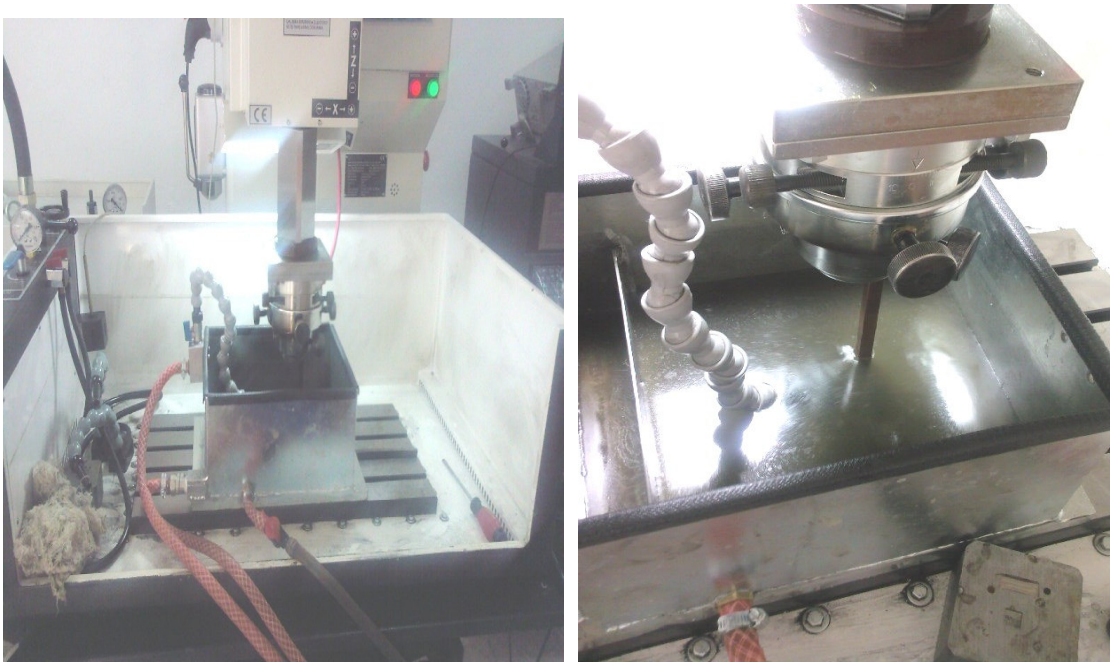
3- Ölçme Sistemi:

3.1. Derinlik Durdurma Hassasiyeti: 0.01(mm)
3.2. Dijital Okuma Hassasiyeti: 0.01(mm)

CAM programları ile çalışılmaktadır.



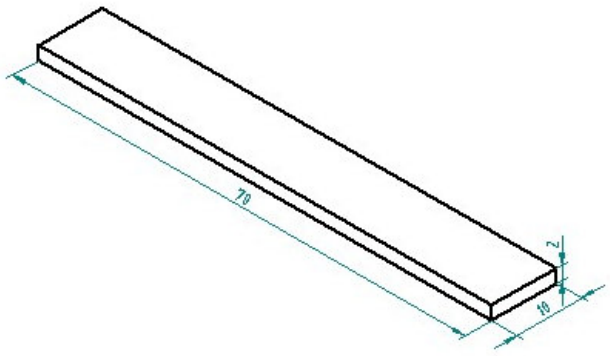
Şekil 3.8 EAİ tezgahı.



Şekil 3.9 Elektro erozyon tezgahında işlem yapılırken.

3.3 YÜZEY İŞLEMEDEKİ MALZEME KULLANIMI

Şekil 3.10'da gösterilen IF çeliği, deney numunesi olarak kullanılmaktadır. 10x10 mm standart ebattaki bakır takım elektrotu, işleme elektrotu olarak kullanılmaktadır. Çizelge 3.1'de bakır elektrotun özellikleri verilmiştir.



Şekil 3.10 EAİ'de deney numunesi olarak kullanılan IF çeliği.

EAİ uygulamalarında, tungsten karbit ile işleme zordur. Anormal deşarj riskleri, metalik elektrotlara göre daha yüksektir. Yüksek yoğunluklu grafitler, aşınma ve köşe gerilmelerinin kritik olduğu durumlarda kullanılır. Diğer yandan aşınmanın önemsenmediği ve hassas girinti ve çıkıntıların olmadığı uygulamalarda diğer tür grafitler de kullanılır.

Çizelge 3.1 Bakır takım elektrotunun özellikleri.

Özgül ağırlığı ($\mathbf{g/}cm^3$)	**Kopma gerilmesi** ($\mathbf{kg/}cm^2$)	**Elektriksel direnci** (**Ohm** mm^2/m)
2,4 - 3,2	700 - 900	3 - 5

Di-elektrik sıvılar, iş parçası ve elektrot takımı arasında kıvılcım oluşturulmasına yardım eder. Kıvılcım yolunu dar bir kanala dönüştürür. Buna deşarj tüneli denmektedir. İş parçası ve elektrot takımı arasında yalıtkan gibi hizmet verir. İş parçasından ve elektrot takımdan aşınmış olan parçaları işleme bölgesinden uzağa sürüklemeye çalışır. İş parçası ve elektrot takımının her ikisi için de soğutucu gibi etki eder. Çok yaygın olarak kullanılan EAİ di-elektrik sıvıları, di-elektrik özellikleri yeterince kanıtlanmamış hafif yağlama yağları, transformator yağları, silikon esaslı yağlar, kerosene (gaz yağı) gibi çeşitli petrol ürünleri

olmaktadır. Di-elektrik sıvı içine deney şartlarına bağlı olarak SiC (Silisyum Karbür) tozu ilave edilecektir. SiC tozlarının özellikleri Çizelge 3.2'de verilmiştir. Di-elektrik sıvı, işleme anında oluşan yüksek ısıyı azaltmak için kullanılır. Di-elektrik sıvının özellikleri Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.2 SiC tozlarının özellikleri (500 Mesh).

Toz Cinsi	**Yoğunluk (gcm^{-1})**	**Termal iletkenlik ($W\ cm^{-1}\ ^0C^{-1}$)**	**Elektriksel direnç (μΩcm)**	**Erime noktası (^0C)**	**Özel Sıcaklık ($Cal\ g^{-10}C^{-1}$)**
SiC	3,21	1,0 - 5,0	$1x\ 10^{9}$	2987	0,18

Çizelge 3.3 Di-elektrik sıvı özellikleri (Gazyağı).

Özellik	Gazyağı
Di-elektrik katsayı	2
Elektriksel iletkenlik, λ	$1.6 \times 10^{\pm 14}$ S/m
Kütle yoğunluğu, ρ	728 kg/m^3

3.4 İŞLEM PARAMETRELERİ

Deneyde toplam işleme derinliği 0,4 ± 0,05 mm dir. Deneylerde di-elektrik sıvının işleme yüzeyine aktarılması yanal püskürtme şeklinde uygulanmıştır. Dikdörtgen şeklinde işleme yüzeyi seçilmesi, düzgün bir püskürtme ve işleme sonrası mikroyapı incelemesinin kolaylığı açısındandır. Şekil 3.6'da gösterilen deney düzeneğinde, işleme parametrelerine göre değişen sıvının oranını ayarlamak üzere bir düzenek hazırlanmıştır. Elektro erozyon tezgahının, işleme sıvısı dolan haznesi, çelik malzemeden krom kaplama yapılarak dizayn edilmiş ve hazneye sıvı giriş çıkışı için vana düzeneği oluşturulmuştur. İşleme haznesi, 20 lt.lik plastik kap, ½" borular ve sıvı dolaşımını sağlayacak elektriksel pompa ile irtibatlandırılmıştır. Plastik kap, toz ilavesini ve di-elektrik sıvı muhafazasını sağlayacak şekilde seçilmiştir. Çizelge 3.4'de deneylerde kullanılan işleme parametreleri verilmektedir.

Özetle, elektro erozyon tezgahı orijinal yapısında bulunan ve di-elektrik sıvının işlem sırasında homojen dolaşımını sağlayan, iş parçasından ve elektrottan işlem sırasında kopan parçaların işleme yüzeyine etki etmemesi için ortamdan uzaklaştırılmasını sağlayan düzenek,

farklı işleme şartları için, sıvı ve toz değişiminin daha hızlı ve etkin yapılabilmesi amacıyla oluşturulmuştur.

Çizelge 3.4 Deneylerde kullanılan işleme parametreleri.

IF ÇELİĞİ EDM İŞLEME ŞARTLARI

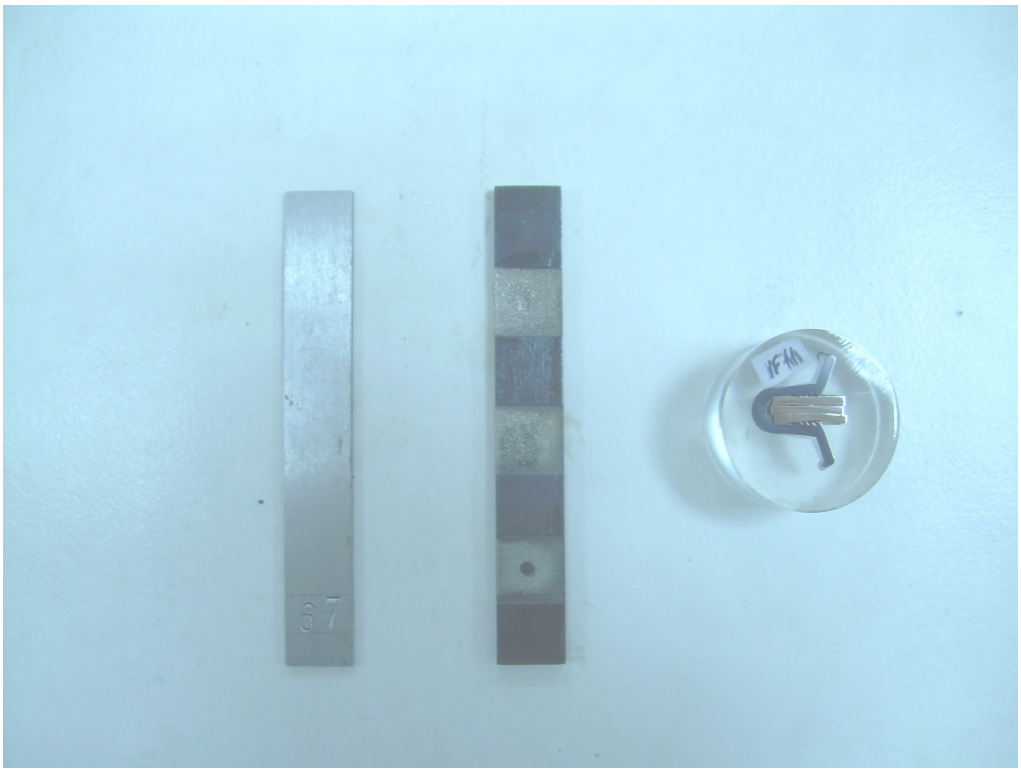
NUMUNE NO	ÇALIŞMA KOŞULU (Di-elektrik sıvı)	KATKI MALZEMESİ	GÜÇ	(25 µs) tA , tB	(100 µs) tA , tB	(400 µs) tA , tB
1	SAF SU	-	PW 4 (22A)	6 - 5	8 - 7	10 - 9
2	SAF SU + SiC	5 gr/lt SiC	PW 4 (22A)	6 - 5	8 - 7	10 - 9
3	SAF SU + SiC	10 gr/lt SiC	PW 4 (22A)	6 - 5	8 - 7	10 - 9
4	SAF SU + SiC	15 gr/lt SiC	PW 4 (22A)	6 - 5	8 - 7	10 - 9
5	GAZYAĞI	-	PW 4 (22A)	6 - 5	8 - 7	10 - 9
6	GAZYAĞI + SiC	5 gr/lt SiC	PW 4 (22A)	6 - 5	8 - 7	10 - 9
7	GAZYAĞI + SiC	10 gr/lt SiC	PW 4 (22A)	6 - 5	8 - 7	10 - 9
8	GAZYAĞI + SiC	15 gr/lt SiC	PW 4 (22A)	6 - 5	8 - 7	10 - 9
9	SAF SU	-	PW 3 (14A)	6 - 5	8 - 7	10 - 9
10	SAF SU + SiC	5 gr/lt SiC	PW 3 (14A)	6 - 5	8 - 7	10 - 9
11	SAF SU + SiC	10 gr/lt SiC	PW 3 (14A)	6 - 5	8 - 7	10 - 9
12	SAF SU + SiC	15 gr/lt SiC	PW 3 (14A)	6 - 5	8 - 7	10 - 9
13	GAZYAĞI	-	PW 3 (14A)	6 - 5	8 - 7	10 - 9
14	GAZYAĞI + SiC	5 gr/lt SiC	PW 3 (14A)	6 - 5	8 - 7	10 - 9
15	GAZYAĞI + SiC	10 gr/lt SiC	PW 3 (14A)	6 - 5	8 - 7	10 - 9
16	GAZYAĞI + SiC	15 gr/lt SiC	PW 3 (14A)	6 - 5	8 - 7	10 - 9
17	SAF SU	-	PW 2 (7 A)	6 - 5	8 - 7	10 - 9
18	SAF SU + SiC	5 gr/lt SiC	PW 2 (7 A)	6 - 5	8 - 7	10 - 9
19	SAF SU + SiC	10 gr/lt SiC	PW 2 (7 A)	6 - 5	8 - 7	10 - 9
20	SAF SU + SiC	15 gr/lt SiC	PW 2 (7 A)	6 - 5	8 - 7	10 - 9
21	GAZYAĞI	-	PW 2 (7 A)	6 - 5	8 - 7	10 - 9
22	GAZYAĞI + SiC	5 gr/lt SiC	PW 2 (7 A)	6 - 5	8 - 7	10 - 9
23	GAZYAĞI + SiC	10 gr/lt SiC	PW 2 (7 A)	6 - 5	8 - 7	10 - 9
24	GAZYAĞI + SiC	15 gr/lt SiC	PW 2 (7 A)	6 - 5	8 - 7	10 - 9

3.5 İŞLEMİŞ YÜZEYLERİN KESİTLERİNİN ALINMASI

Elektro erozyon ile işlenen yüzeylerin incelemeleri kesit alınarak yapılmaktadır. Yüzey boyunca oluşan önemli hataların gözlemlenmesi, işlenmiş yüzeyin kesiti alındığında daha iyi anlamamıza yardımcı olur.

IF çeliğinden, işlenmiş olan yüzeyler, küçük parçalar halinde, Boehler marka hassas dairesel testere ile kesildi. 0.4mm'lik keskin diske sahip olan bu testere, malzemeleri çok az ya da hiç deforme etmeden kesebilir. Dairesel keskin diskin çevresel kısmına yani tanjantına çelik malzeme düzlemi yerleştirildi ve bu noktadan sonra düşük hızlarda kesme işlemi işlenen yüzeyin ortasından kesici disk geçecek şekilde yapıldı. Numune kesildikten sonra kalıplama aşamasına geçildi. Kalıplamadaki amaç bir sonraki aşama olan zımparalama ve parlatmada numuneyi daha rahat tutabilmektir. Metkon marka sıcak kalıp presi ile kalıplanan numuneler daha sonra diğer aşama olan zımparalama ve parlatma aşamasına alındı. Bu işlemin amacı, numunede mevcut çizikleri yok etmek ve deformasyonlardan temizlenmiş yüksek parlaklıkta yüzey elde etmektir. Mikroskobik analizlerde iyi yüzey elde etmek için FORCİPOL-1 marka zımparalama ve parlatma tezgahı ile otomatik kafası kullanılmıştır.

Şekil 3.11'de yukarıda uygulanan aşamalardan sonra mikroskopta incelemek için elde edilen yüzeyler görülmektedir.



a) **b)** **c)**

Şekil 3.11 Elektro erozyon tezgahı kullanılarak işlenmiş malzemeler
a) EAİ işlemeye hazır numune b)EAİ işlenmiş numune c)İncelemek üzere bakalite alınmış numune.

3.6 MİKROSKOP VE BOYUT ÖLÇÜMÜNÜN KULLANILMASI

İşlenmiş yüzeyler, IMM 901 optik mikroskobu altında incelenmiştir. Söz konusu cihazın 50x, 100x, 200x, 500x, 1000x olmak üzere 5 adet objektifi bulunmaktadır. Dijital kamera, mikroskobun üst kısmına monte edilmiş olup yüzeylerin resimlerini çekmek için kullanıldı. Resimleri çekilen yüzeyler bilgisayara aktarılır, bilgisayarda yüklü olan Clemex Captiva görüntü analiz ve ölçüm yazılımı ile yüzeylerin ölçümleri yapılmaktadır. Şekil 3.12'de görülen JOL 5600 model Taramalı Elektron Mikroskobunda 50x, 100x, 500x, 1000x olmak üzere 4 farklı objektifle görüntüler alındı.

Çizelge 3.5'de IF çeliğinin metalografik yapı bileşenleri belirtilmektedir.

Çizelge 3.5 IF çeliği (%) iç yapı bileşenleri.

C	0-0.007	Al	0.02-0.06	Ti	0.0324	Nb	0.005
Mn	0.10-0.20	Pb	0.005	Cr	0.020		
P	0.016	Cu	0.05	Mo	0.005		
S	0.016	Sn	0.007	V	0.005		
Si	0.030	As	0.015	Ni	0.040		

3.7 İŞLENMİŞ YÜZEYLERİN DAĞLANMASI

Kesitleri alınan işlenmiş yüzeylerde işlemeden dolayı meydana gelen deformasyonları anlamak için asitle dağlama işlemleri yapıldı. Bu tezdeki asitle dağlama işlemleri nital kullanılarak yapıldı.

Parlatılmış olan numuneler nital ile dağlandı. Nital, % 1 HNO_3 ve % 99 Etil Alkol olacak şekilde hazırlandı. Nital ile dağlama işlemi için bir kaba az miktarda nital dolduruldu. Numuneler nital içine sadece kesiti alınmış kısımları asit ile temas edecek şekilde daldırıldı. 10-12 sn bekletildi ve daha sonra suyun altına sokulup dağlanmış yüzey temizlendi. Ön kurutma işlemi için basınçlı hava kullanıldı. Sonra kesitleri alınan yüzeye alkol sürülüp tekrar kurutuldu. Bu şekilde kesitleri alınan yüzeylerin iç kısımlarındaki deformasyonlar, mikroskopta incelenmeye hazır hale getirildi.

Şekil 3.13'de görülen Mikro sertlik ölçüm cihazı ile işlenmiş yüzeye yakın bölgelerdeki tabakaların kalınlıkları ölçüldü. Şekil 3.14'de görülen X Işını difraktometre cihazı (XRD) ile işlenmiş malzemenin kimyasal bileşenleri incelendi.



Şekil 3.12 Jeol 5600 Taramalı elektron mikroskobu (SEM).



Şekil 3.13 Mikro sertlik ölçüm cihazı.



Şekil 3.14 X Işını difraktometre cihazı (XRD).

BÖLÜM 4

DENEYSEL SONUÇLAR

Bu bölümde incelenen yüzeylere ait deneysel sonuçlar sunulmuştur. Yüzeylerin topolojik yapısı ve işlem sonucunda oluşan yapısal değişimler farklı işleme koşulları göz önünde bulundurularak gözlemlenmiştir. İncelemelerde, hidro-karbon bazlı bir sıvı ve su farklı işleme sıvıları olarak ele alınmıştır. Bu sıvılar içinde saf ve farklı konsantrasyonlarda SiC tanecikleri homojen şekilde karıştırılarak farklı darbe süresi ve akımlar kullanılarak numuneler işlenmiştir. İşlenmiş numunelerin yüzey topolojisi taramalı elektron mikroskobu ile incelendikten sonra, standart metalürjik numune hazırlama aşamalarından geçirilerek optik mikroskop ile kesitler incelenmiştir. Elektriksel aşındırma ile işleme sonucunda, işleme sıvısı içine katılan SiC partiküllerinin yoğunluğuna, uygulanan farklı darbe süreleri ve akımlarına karşılık, yüzeyde farklı topolojik oluşumları, kesitlerde ise farklı mikro yapı özellikleri ile karşılanmıştır.

4.1 YÜZEY TOPOLOJİSİ

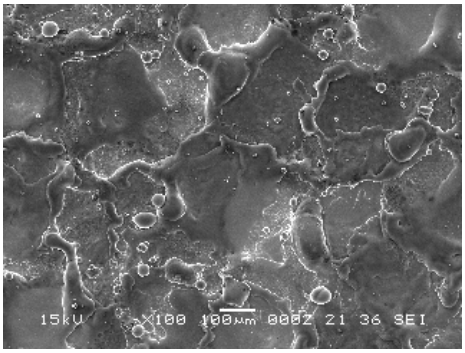
Elektriksel aşındırma sırasında aniden oluşan ısınma-soğuma çevrimleri, işleme sıvısı içine katılan SiC partiküllerinin yoğunluğuna bağlı olarak işlenmiş yüzey topolojilerinde farklılıkları da beraberinde getirmiştir. İşlenmiş yüzeyler, hidrokarbon bazlı di-elektrik sıvıda, artan toz yoğunlukları açısından değerlendirildiğinde, özellikle krater çeperlerinde oluşan eriyik metal yığılmalarının azaldığı söylenebilir (Şekil 4.1). Toz yoğunluğunun artması ile birlikte oluşan kraterlerin derinliği ve özellikle küçük kürecikler şeklinde oluşan eklentiler de azalmaktadır. Bu sonuç, toz katkılarının, darbe geriliminin sonlanması ile oluşan eriyik metal havuzunda kaynama mekanizmasının, toz katkılarından ötürü etkilendiğini göstermektedir. Yayvanlaşan kraterler ise bir elektriksel darbe sonucunda akım yoğunluğunun düştüğü şeklinde değerlendirilebilir. Di-elektrik sıvı olarak su kullanılması durumunda toz katkılarının etkileri farklıdır. Özellikle, toz katkı taneciklerinin eriyik malzeme içine kısmen gömülmesi ilgi çekicidir (Şekil 4.2). Bu durum, bir elektriksel darbenin sonlanması ile, hızla düşen plazma basıncı neticesinde, di-elektrik sıvı ile birlikte asılı toz taneciklerinin, eriyik metal

havuzuna hücum ederek, katılaşma öncesinde eriyik metale nüfuz ettiğini göstermektedir. SiC taneciklerinin sahip olduğu yüksek erime ve kaynama sıcaklıkları, toz taneciklerin eriyik metal içerisinde erimesini önlediği düşünülmektedir. Diğer numuneler üzerinde yapılan çalışmalar, bu durumun özellikle düşük darbe akımlarının kullanılması neticesinde daha yoğun şekilde gerçekleştiğini göstermiştir.

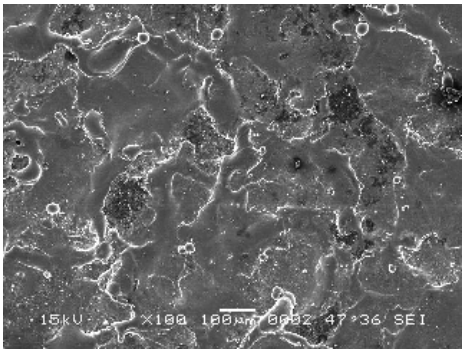
Topolojik açıdan incelendiğinde ise, hidrokarbon bazlı di-elektrik sıvı kullanımına göre önemli farklılıkların oluştuğu söylenebilir. Di-elektrik sıvı içerisindeki toz katkı yoğunluğu arttırıldıkça krater çevresindeki yığılmalar ve küresel eklenti yoğunluklarının arttığı söylenebilir. Bu durum, ancak toz katkı malzemesi ile iş parçası malzemesi arasındaki karbon etkileşimi ile açıklanabilir. Toz katkısız de-iyonize su ile yapılan çalışmalar (Ekmekci vd. 2005), takım elektrot malzemesinin karbon bileşikleri içermediği taktirde eriyik metalin kaynaması ve aniden katılaşması sonucunda oluşan küresel eklentilerin oluşmadığını ortaya koymuştur. Ancak, grafit gibi karbon içeren bir takım elektrotu kullanılması durumunda, eriyik metal havuzunda kaynama tetiklenmiş ve bu eklentiler oluşmaya başlamıştır. Benzer şekilde, di-elektrik sıvıya SiC toz katkısının eriyik metalin kaynamasını tetiklediği söylenebilir. Ancak bu durum, hidrokarbon bazlı sıvılarda kullanılan toz katkısının yüzey pürüzlülüğünü azaltma etkisi ile çelişmektedir.

4.2 MİKRO YAPI

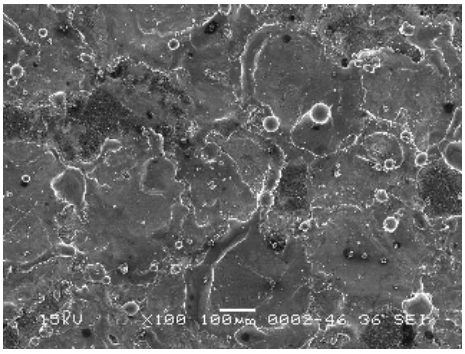
TK-EAİ ile işlenmiş yüzeylerin kesit görünümleri temel olarak üç katmanı göstermektedir (Şekil 4.3). En üst katman, işlem sırasında hızla eriyen ve katılaşan beyaz tabakadır. Kullanılan dağlama sıvısı bu katmanı belli ölçüde ortaya çıkarmıştır. Bu katmanda işlemin hızlı erime ve soğuma etkileri net olarak görülebilmektedir. İğnemsi martensitik yapılar bu katman sertliğinin, ana faz malzemesinin sertliğinden çok daha yüksek olduğuna işaret etmektedir. Bu katmanın altında, katı fazda işlemin ısıl etkilerine maruz kalmış ince bir katman görülmekte ve bu katmanı ana faz malzemesi takip etmektedir. Sabit darbe akımı ve farklı darbe süreleri ile işlenmiş yüzeylerde, ısıl etkilenmiş katman kalınlıkları hızla artmıştır (Şekil 4.4). Benzer şekilde sabit darbe süresi ve farklı darbe akımları ile işlenmiş yüzeylerde ısıl etkilenmiş katman kalınlıklarının arttığı görülmüştür. Ancak darbe akımının artması ile birlikte ısıl etkilenmiş katman kalınlıklarının yüksek oranda değiştiği söylenebilir. Oldukça kalın katılaşmış katmanlar yanında, oldukça ince katılaşmış katmanlara rastlanmıştır.



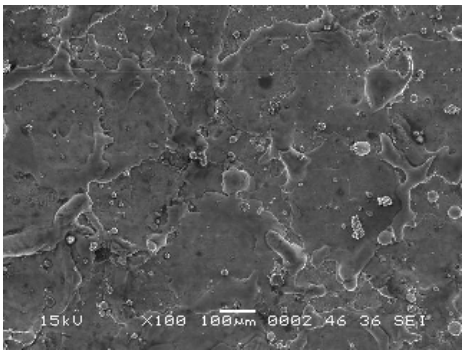
a)



b)

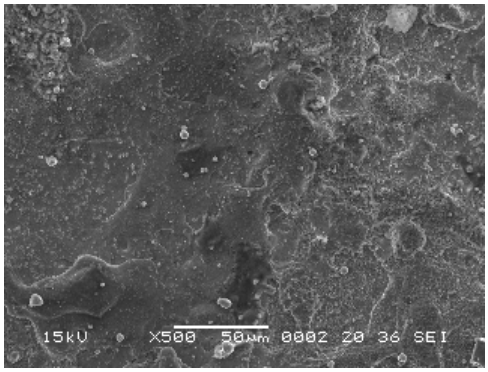


c)

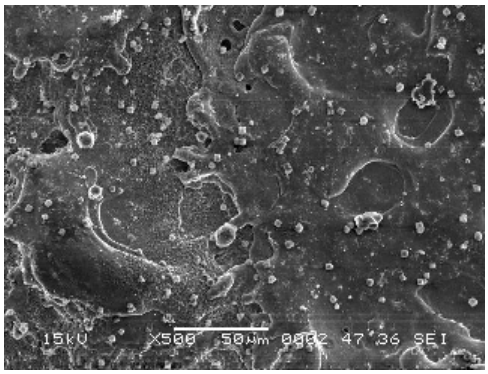


d)

Şekil 4.1 TK-EAİ ile işlenmiş yüzeyler. Hidrokarbon bazlı di-elektrik sıvıda a) saf, b) 5 gr/lt, c) 10 gr/lt, d) 15 gr/lt SiC, darbe süresi: 100 µs, darbe akımı: 22 A.

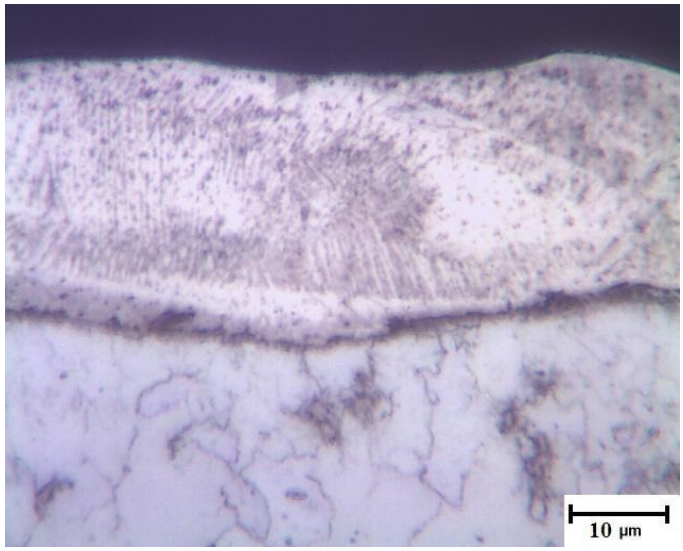


a)



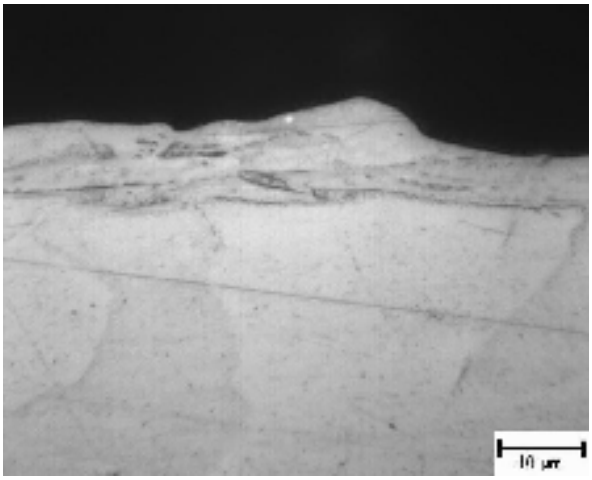
b)

Şekil 4.2 TK-EAİ ile işlenmiş yüzeyler. Su bazlı di-elektrik sıvıda a) saf, b) 5 gr/lt SiC, darbe süresi: 100 µs, darbe akımı: 22 A.

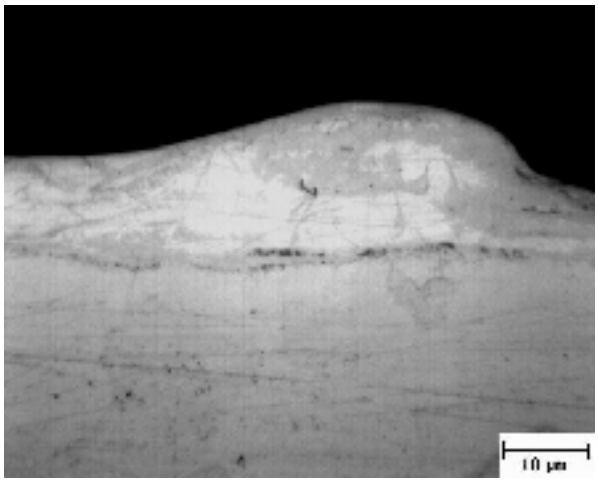


Şekil 4.3 TK-EAİ ile işlenmiş bir yüzeyin kesit görünümü (Darbe süresi: 400 µs, darbe akımı: 14 A, di-elektrik sıvı: gazyağı+15 gr/lt SiC).

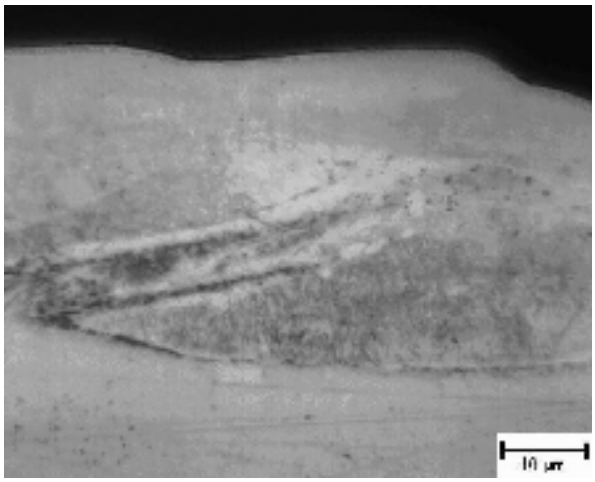
Di-elektrik sıvıda karıştırılan SiC taneciklerinin konsantrasyonlarının arttırılması ile, ısıl etkilenmiş katman kalınlığının az da olsa arttığı görülmüştür (Şekil 4.5).



a)

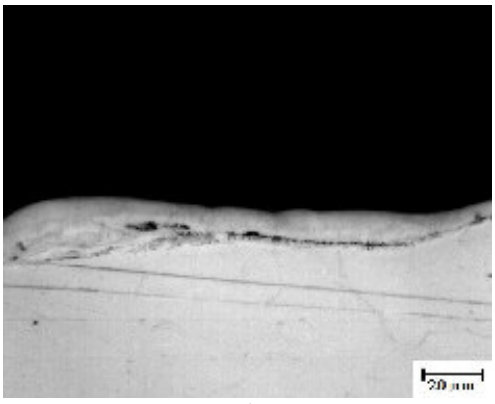


b)

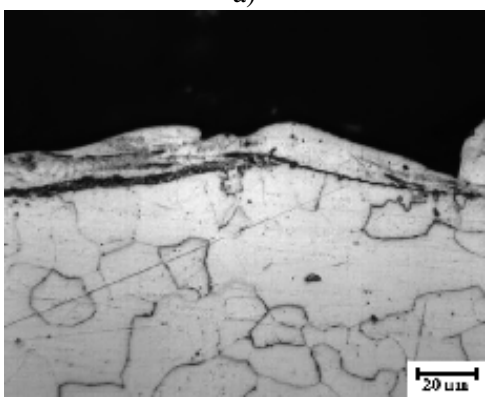


c)

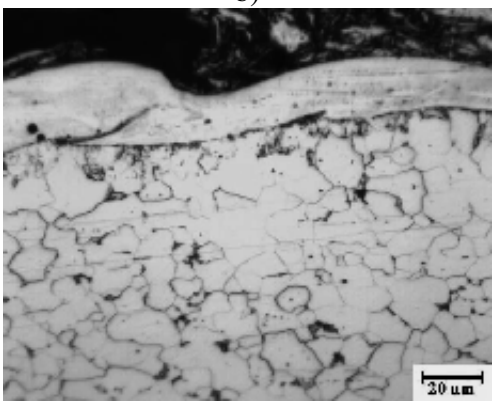
Şekil 4.4 TK-EAİ ile işlenmiş yüzeylerin kesit görünümü. Darbe akımı: 22 A, di-elektrik sıvı: gazyağı+15 gr/lt SiC, darbe süresi: a) 25 µs, b) 100 µs, c) 400 µs.



a)



b)

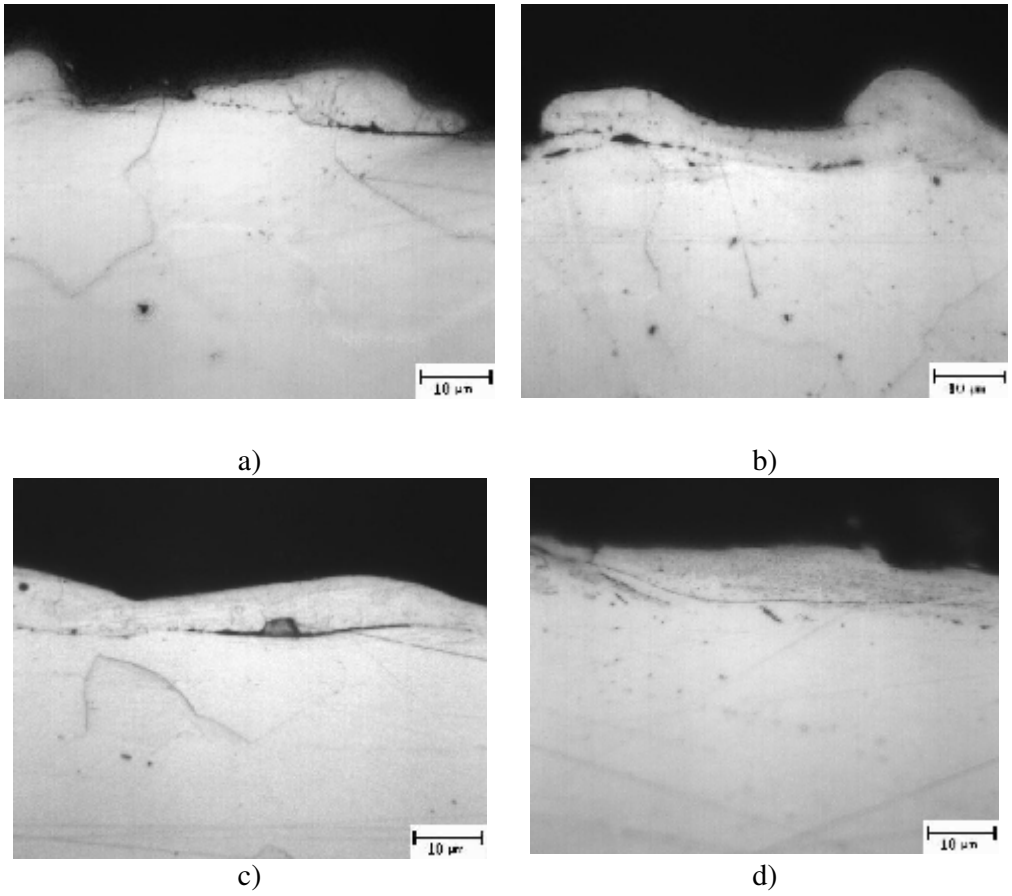


c)

Şekil 4.5 TK-EAİ ile işlenmiş yüzeylerin kesit görünümü. Darbe akımı: 14 A, darbe süresi: 100 µs, di-elektrik sıvı: gazyağı +, a) 5, b) 10, c) 15 gr/lt SiC.

Di-elektrik sıvı olarak toz katkısız su kullanılması durumunda, beyaz tabakanın özelliksiz kaldığı, katı fazda yoğun metalürjik değişimlerin görüldüğü ara katman oluşumunun meydana gelmediği görülmüştür. Di-elektrik sıvıya toz katkısı eklendikçe, beyaz katman içerisinde martensitik dokular ortaya çıkmış ve ara katmanın kalınlığı artmıştır (Şekil 4.6). Elde edilen bu bulgular, işlem sırasında toz katkılarının ne şekilde yüzey mikro yapısını değiştirdiğini ortaya koymaktadır.

Di-elektrik sıvı olarak toz katkısız hidrokarbon bazlı bir sıvı kullanıldığında oluşan kesit mikro yapısının, suda yoğun toz katkılı işlenmiş numunelerin kesit mikro yapısına benzediği söylenebilir. Belirlenen şartlarda işlenen IF çeliği numunelerinin Optik mikroskop görüntüleri EK AÇIKLAMALAR B'de yer almaktadır.



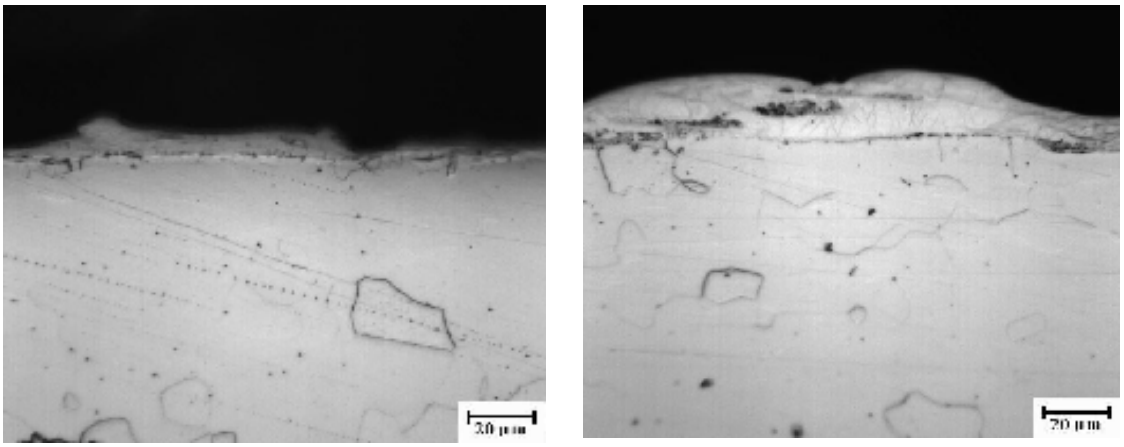
Şekil 4.6 TK-EAİ ile işlenmiş yüzeylerin kesit görünümü. Darbe akımı: 22 A, darbe süresi: 25 μs, di-elektrik sıvı: a) su, b) su+5, c) su+10, d) su+15 gr/lt SiC.

4.3 ISIL ETKİLENMİŞ KATMAN KALINLIKLARI

İşlenmiş yüzeylerde beyaz katman kalınlıkları, optik mikroskop ile 400 ve 1000 büyütme kullanılarak, her numune için 6 ayrı ölçüm noktasında 5 farklı kalınlık ölçümü olmak üzere, toplam 30 ölçüm değerinin ortalaması alınarak bulunmuştur. Ölçümler sonucunda, incelenen her parametre için farklı katman kalınlıkları gözlemlenmiştir. Çizelge 4.1'de ölçülen beyaz tabaka kalınlıklarının ortalama değerleri ve Çizelge 4.2'de bu ölçümlerin standart sapma değerleri verilmiştir. Di-elektrik sıvı olarak su kullanıldığında, beyaz tabaka kalınlığının, gazyağı ile işlenmiş numunelere oranla daha ince olduğu görülmektedir (Şekil 4.7).

Çizelge 4.1 İşleme koşullarına bağlı olarak beyaz tabaka kalınlığındaki değişim (µm).

NUMUNE SINIFLANDIRMA		İŞLEME ZAMANI			DİELEKTRİK SIVI	AKIM
		25 µs	100 µs	400 µs		
	IF 01 (-)	7,63530	8,48500	9,58010	SU	22 A
	IF 02 (5 g/lt SiC)	8,04957	9,23390	10,56243		22 A
	IF 03 (10 g/lt SiC)	9,04387	9,67950	11,04767		22 A
	IF 04 (15 g/lt SiC)	10,68127	11,20510	11,66743		22 A
	IF 05 (-)	7,44183	12,24270	29,39523	GAZYAĞI	22 A
	IF 06 (5 g/lt SiC)	8,14060	12,86537	32,98133		22 A
	IF 07 (10 g/lt SiC)	9,15693	14,68230	33,34133		22 A
	IF 08 (15 g/lt SiC)	10,49163	16,41407	35,20433		22 A
	IF 09 (-)	5,40713	6,64727	7,75577	SU	14 A
	IF 10 (5 g/lt SiC)	6,60793	7,59788	9,75003		14 A
	IF 11 (10 g/lt SiC)	7,79890	8,79580	10,65923		14 A
	IF 12 (15 g/lt SiC)	7,80530	9,09788	11,13677		14 A
	IF 13 (-)	7,45177	11,46890	17,10080	GAZYAĞI	14 A
	IF 14 (5 g/lt SiC)	7,76907	12,47880	18,74933		14 A
	IF 15 (10 g/lt SiC)	8,94550	14,01500	19,78633		14 A
	IF 16 (15 g/lt SiC)	9,83977	16,78900	25,61800		14 A
	IF 17 (-)	3,95380	4,06733	4,80627	SU	7 A
	IF 18 (5 g/lt SiC)	4,49433	4,72287	5,01273		7 A
	IF 19 (10 g/lt SiC)	4,88030	5,11317	5,42613		7 A
	IF 20 (15 g/lt SiC)	5,45683	6,45879	8,34887		7 A
	IF 21 (-)	8,13840	12,05978	16,60243	GAZYAĞI	7 A
	IF 22 (5 g/lt SiC)	8,45690	13,02840	17,02933		7 A
	IF 23 (10 g/lt SiC)	9,21943	14,01970	18,43367		7 A
	IF 24 (15 g/lt SiC)	10,41967	15,08971	19,12100		7 A



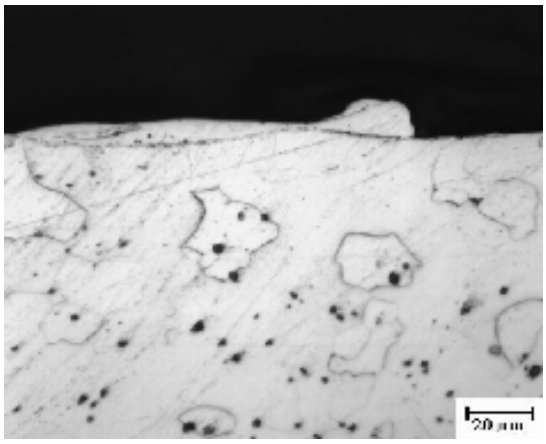
a) b)

Şekil 4.7 TK-EAİ ile işlenmiş yüzeylerin kesit görünümü. Darbe akımı: 14 A, darbe süresi: 100 µs, di-elektrik sıvı: a) su, b) gazyağı.

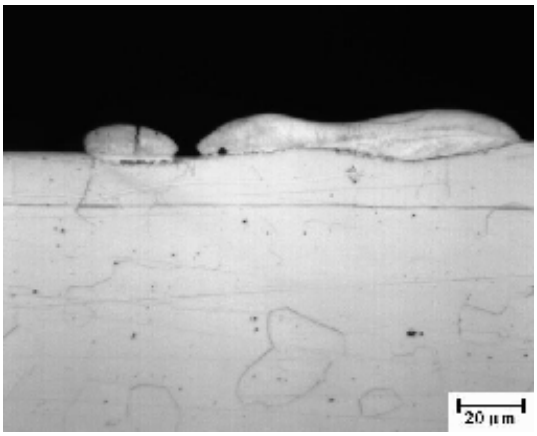
Çizelge 4.2 İşleme koşullarına bağlı olarak beyaz tabaka kalınlığındaki değişimin standart sapması.

NUMUNE SINIFLANDIRMA		İŞLEME ZAMANI			DİELEKTRİK SIVI	AKIM
		25 µs	100 µs	400 µs		
	IF 01 (-)	3,0	2,1	2,1	SU	22 A
	IF 02 (5 g/lt SiC)	3,4	3,1	2,9		22 A
	IF 03 (10 g/lt SiC)	3,7	2,9	4,2		22 A
	IF 04 (15 g/lt SiC)	4,7	3,4	2,3		22 A
	IF 05 (-)	3,4	6,0	12,0	GAZYAĞI	22 A
	IF 06 (5 g/lt SiC)	3,3	5,7	8,4		22 A
	IF 07 (10 g/lt SiC)	2,9	4,6	6,2		22 A
	IF 08 (15 g/lt SiC)	5,9	6,6	18,5		22 A
	IF 09 (-)	2,0	2,0	3,9	SU	14 A
	IF 10 (5 g/lt SiC)	2,6	2,8	3,5		14 A
	IF 11 (10 g/lt SiC)	2,7	2,1	3,5		14 A
	IF 12 (15 g/lt SiC)	2,1	3,3	6,6		14 A
	IF 13 (-)	2,4	6,1	4,7	GAZYAĞI	14 A
	IF 14 (5 g/lt SiC)	1,6	7,9	3,6		14 A
	IF 15 (10 g/lt SiC)	3,5	6,8	5,9		14 A
	IF 16 (15 g/lt SiC)	5,5	6,3	8,3		14 A
	IF 17 (-)	1,0	1,1	1,8	SU	7 A
	IF 18 (5 g/lt SiC)	1,6	1,2	1,5		7 A
	IF 19 (10 g/lt SiC)	1,1	1,0	1,5		7 A
	IF 20 (15 g/lt SiC)	2,2	1,7	2,7		7 A
	IF 21 (-)	2,3	2,9	3,9	GAZYAĞI	7 A
	IF 22 (5 g/lt SiC)	2,6	3,5	2,3		7 A
	IF 23 (10 g/lt SiC)	2,1	3,1	2,5		7 A
	IF 24 (15 g/lt SiC)	2,4	2,1	2,7		7 A

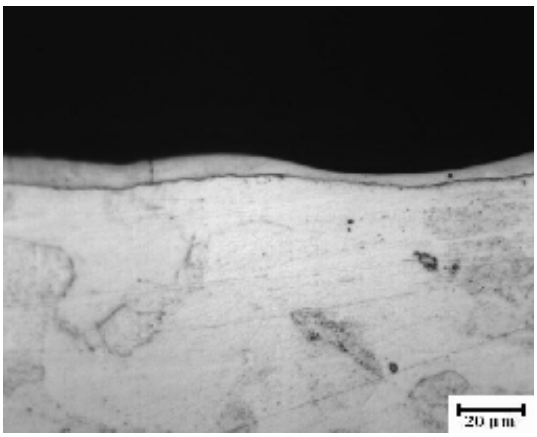
Diğer bir nokta ise, su ile işlenen numunelerde, beyaz tabaka kalınlığının, artan darbe süresi yada akımına karşılık, gazyağı ile işlenen numunelere oranla oldukça yavaş artmasıdır. Benzer şekilde ölçüm verilerinin standart sapma değerleri incelendiğinde, gazyağı ile işlenen numunelerde, darbe akımının artması ile birlikte standart sapma değerlerinin artığı görülmektedir. Bu veriler darbe akım seviyesinin yükselmesi ile, beyaz tabakada oluşan süreksizliklere işaret eder (Şekil 4.8). Darbe akımının artması ile yüzeyde, özellikle krater çeperlerinde eriyik metal kümelenmiş ve katılaşmıştır. Bu durum, akımın yükselmesi ile birlikte plazma kanalı içerisinde oluşan basıncın, eriyik metal havuzundaki malzemenin katılaşmadan çeperlere akışını sağlayacak kadar yüksek olduğunu göstermektedir. Ancak su ile işlenen numuneler için benzer bir sonucu çıkarmak oldukça güçtür. Bu durumda standart sapma değerlerindeki değişimler, bütün işleme koşulları için birkaç mikrometre seviyesinde kalmaktadır. Belirlenen şartlarda işlenen IF çeliği numunelerinin SEM görüntüleri EK AÇIKLAMALAR A'da yer almaktadır.



a)

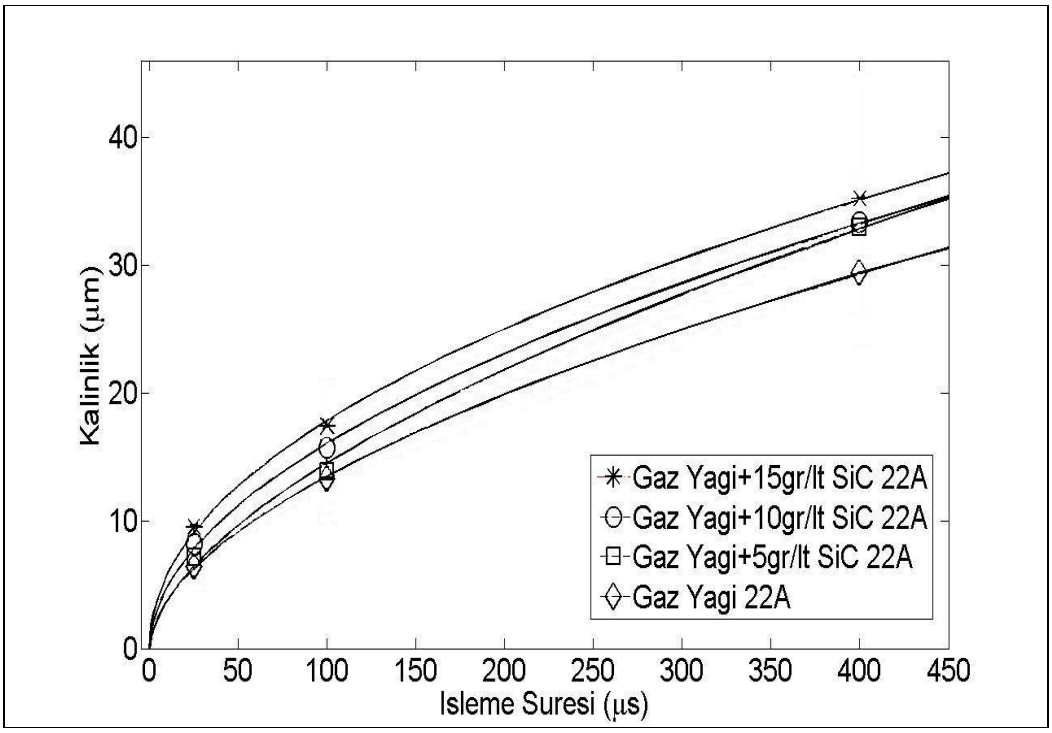


b)

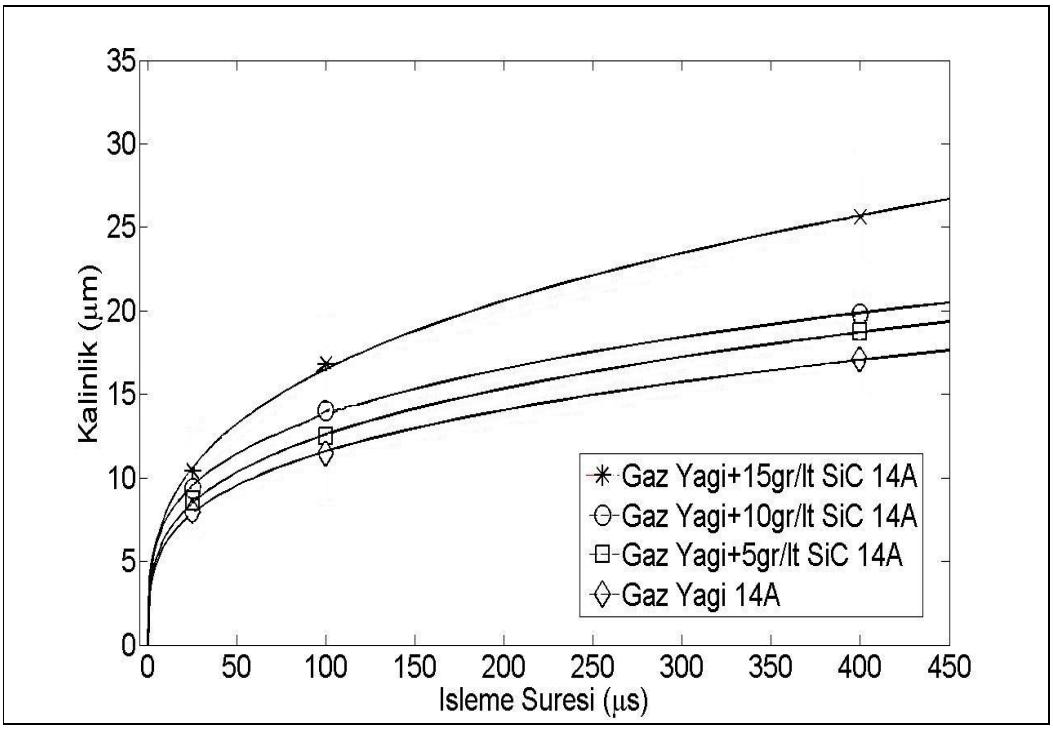


c)

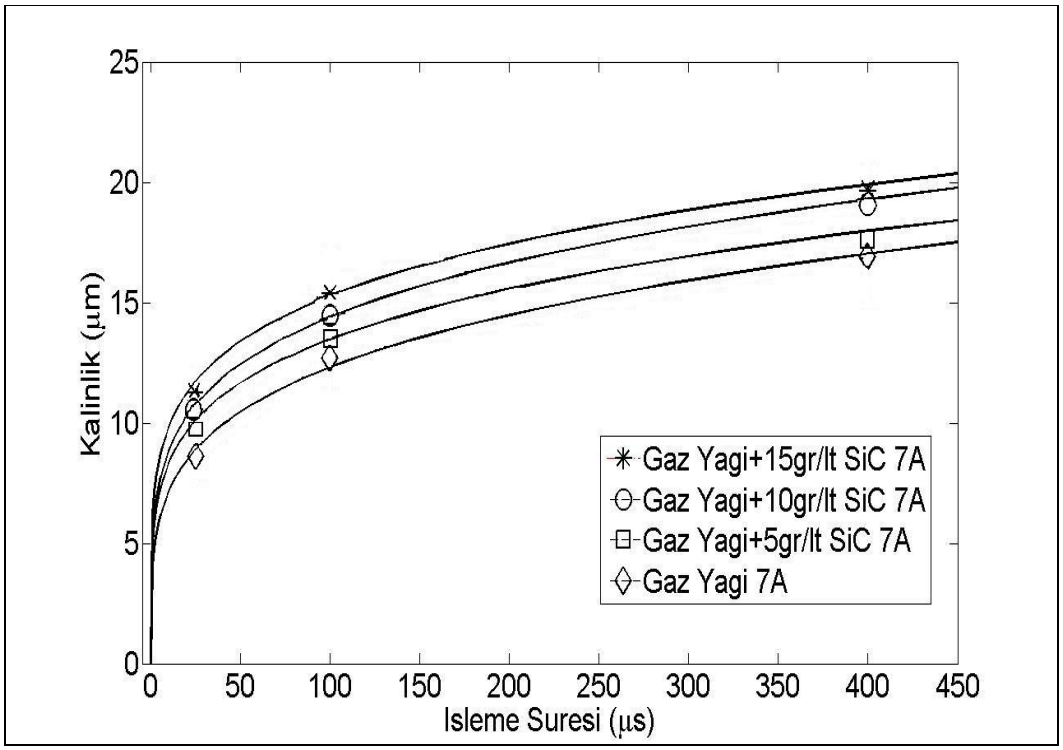
Şekil 4.8 TK-EAİ ile işlenmiş yüzeylerin kesit görünümü. Darbe süresi: 100 µs, di-elektrik sıvı: gazyağı+5 gr/lt SiC, darbe akımı: a) 22 A, b) 14 A, c) 7 A



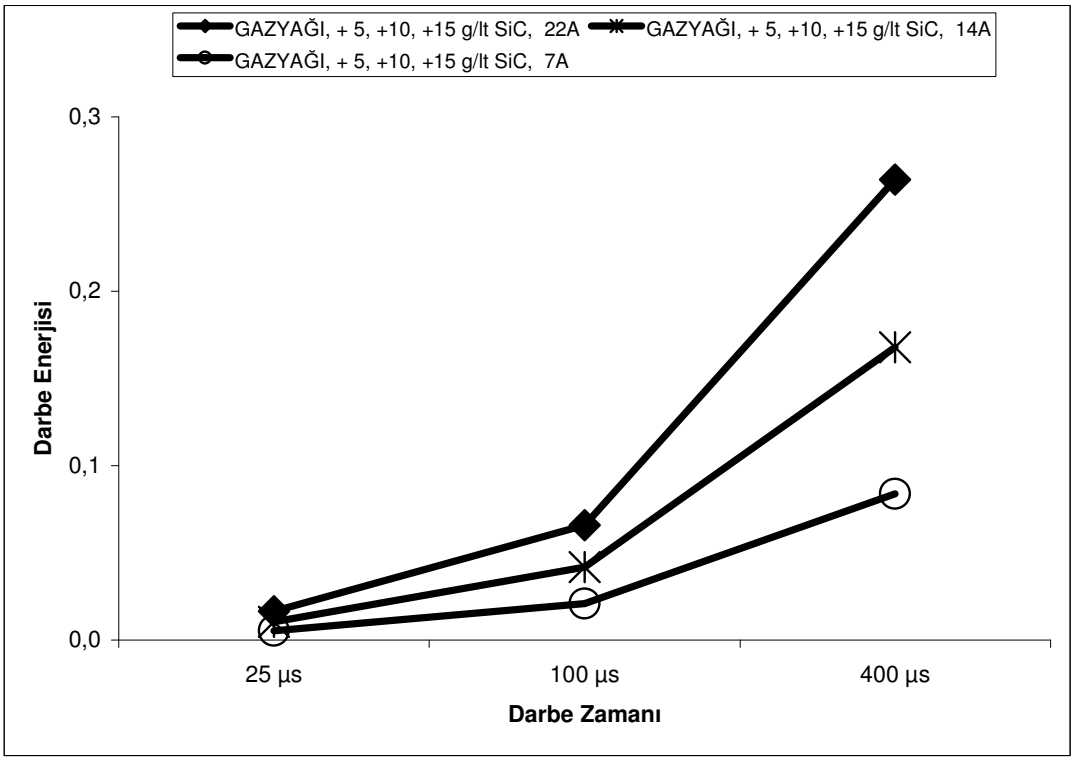
Çizelge 4.3 TK-EAİ ile işlenmiş yüzeylerde beyaz katman kalınlıklarının darbe süresine ve toz konsantrasyonuna bağlı değişimi. Darbe akımı: 22 A, di-elektrik sıvı: gazyağı.



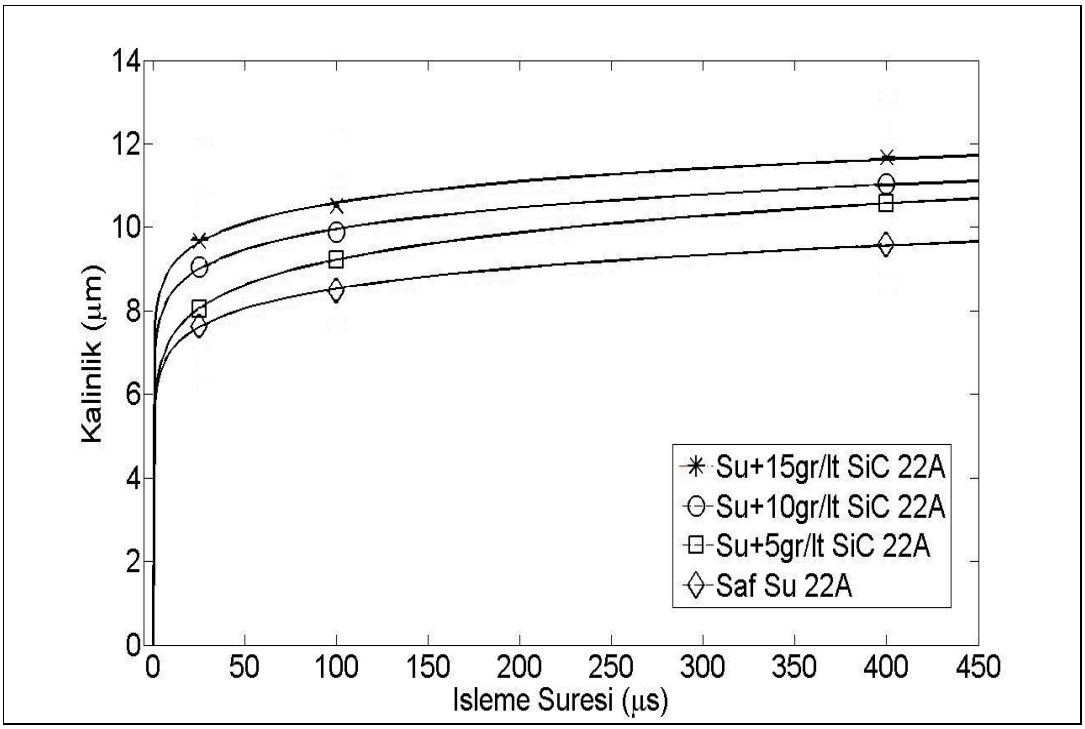
Çizelge 4.4 TK-EAİ ile işlenmiş yüzeylerde beyaz katman kalınlıklarının darbe süresine ve toz konsantrasyonuna bağlı değişimi. Darbe akımı: 14 A, di-elektrik sıvı: gazyağı.



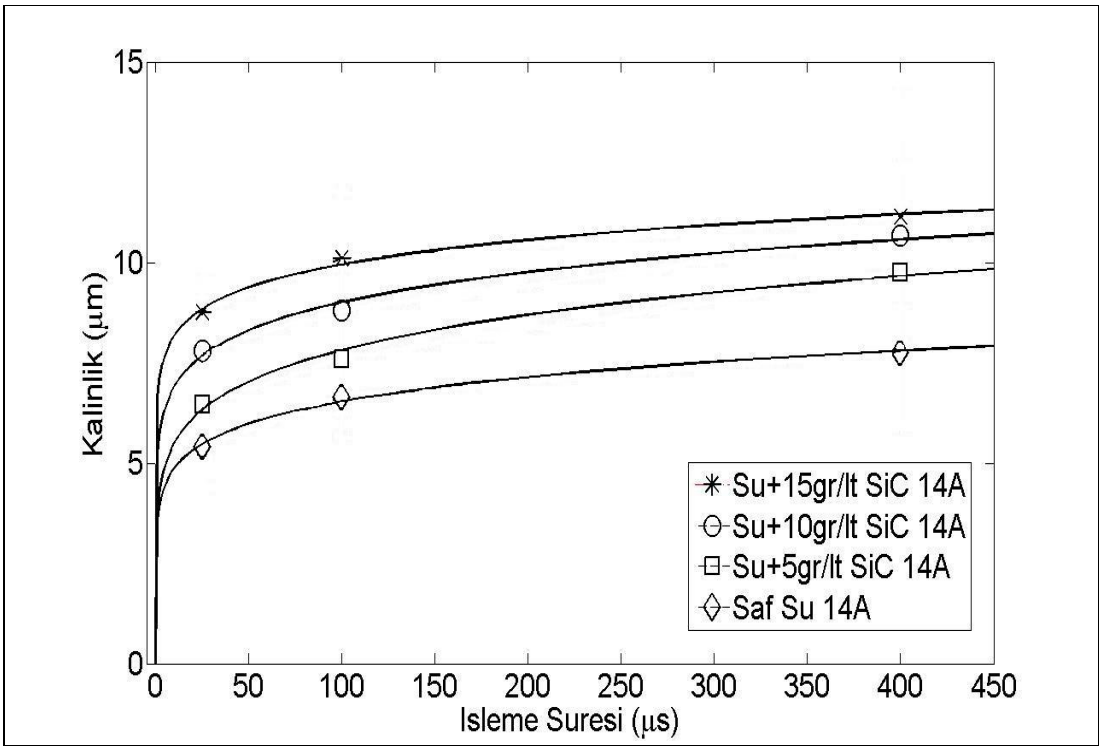
Çizelge 4.5 TK-EAİ ile işlenmiş yüzeylerde beyaz katman kalınlıklarının darbe süresine ve toz konsantrasyonuna bağlı değişimi. Darbe akımı: 7 A, di-elektrik sıvı: gazyağı.



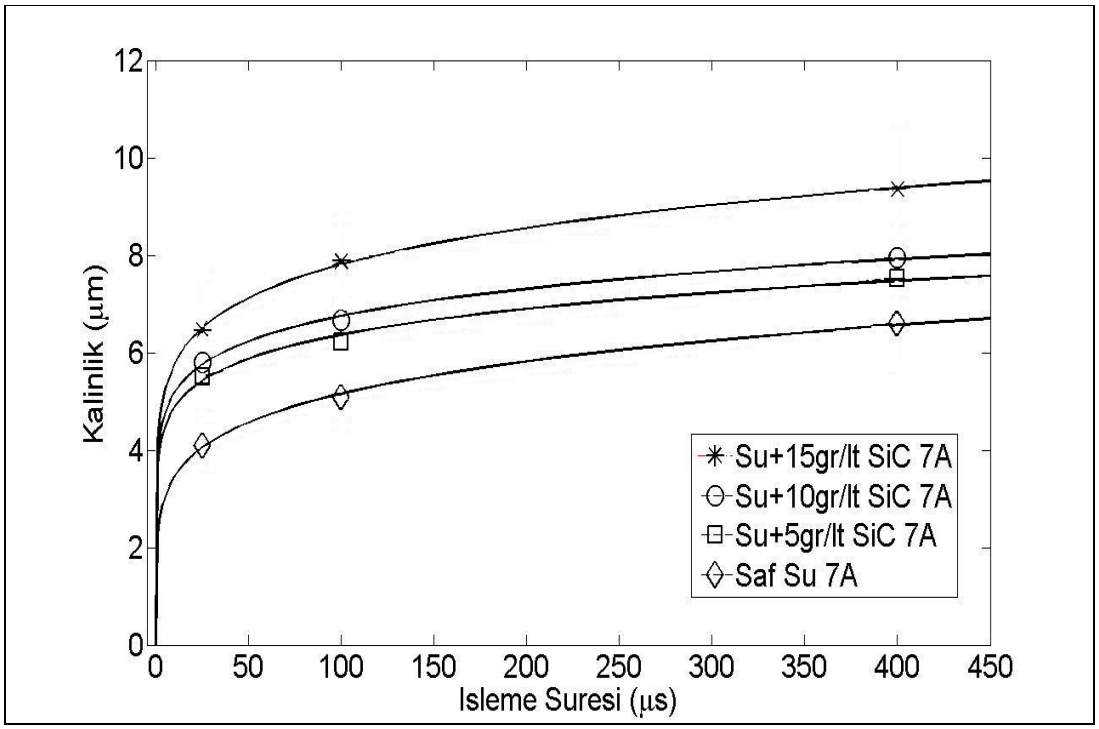
Çizelge 4.6 TK-EAİ ile işlenmiş yüzeylerde beyaz katman kalınlıklarının darbe enerjisine ve toz konsantrasyonuna bağlı değişimi. Di-elektrik sıvı: gazyağı.



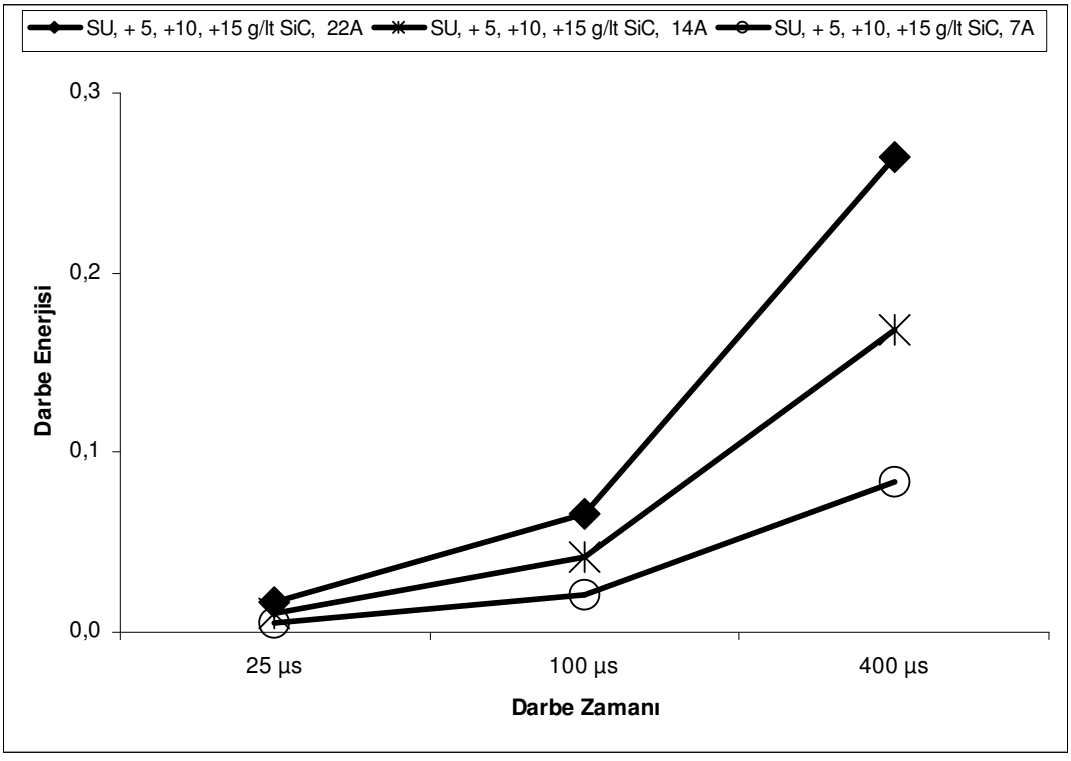
Çizelge 4.7 TK-EAİ ile işlenmiş yüzeylerde beyaz katman kalınlıklarının darbe süresine ve toz konsantrasyonuna bağlı değişimi. Darbe akımı: 22 A, di-elektrik sıvı: su.



Çizelge 4.8 TK-EAİ ile işlenmiş yüzeylerde beyaz katman kalınlıklarının darbe süresine ve toz konsantrasyonuna bağlı değişimi. Darbe akımı: 14 A, di-elektrik sıvı: su.



Çizelge 4.9 TK-EAİ ile işlenmiş yüzeylerde beyaz katman kalınlıklarının darbe süresine ve toz konsantrasyonuna bağlı değişimi. Darbe akımı: 7 A, di-elektrik sıvı: su.



Çizelge 4.10 TK-EAİ ile işlenmiş yüzeylerde beyaz katman kalınlıklarının darbe enerjisine ve toz konsantrasyonuna bağlı değişimi. Darbe akımı: 7 A, di-elektrik sıvı: su.

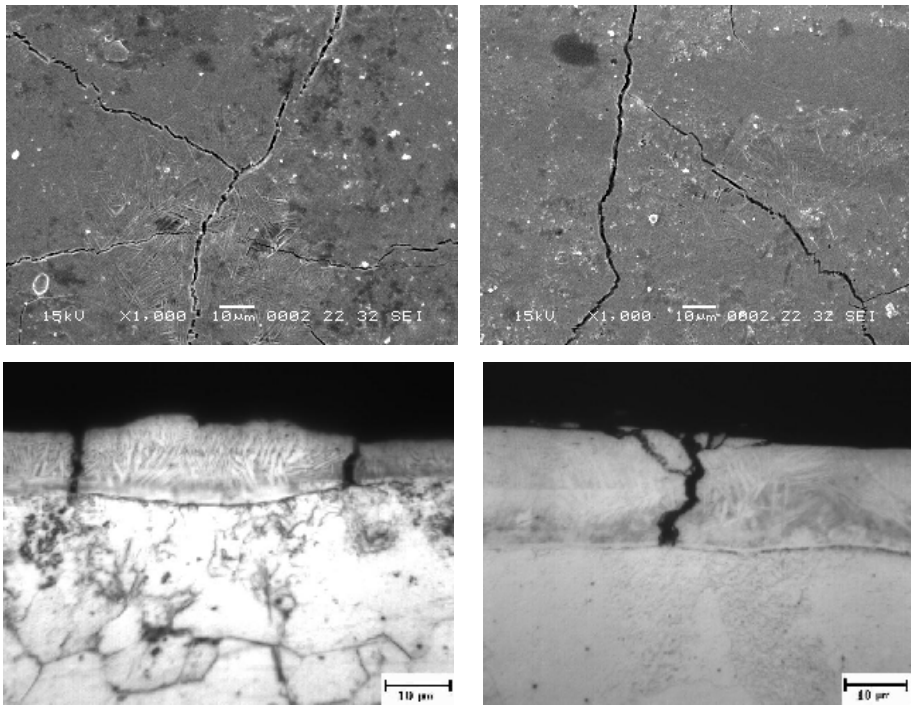
İşlem sırasında toplam elektriksel boşalım enerjisi,

$$E = U\int_0^t I(t)dt$$

olarak tanımlanabilir. Burada U elektriksel boşalım gerilimidir. Boşalım anında bu gerilimin yaklaşık değeri 30 V olarak ölçülmüştür. I, boşalım akımı ve t ise işleme zamanıdır. Sayısal entegrasyon yöntemi kullanılarak her bir darbe formu için darbe enerjisi hesaplanmıştır.

4.4 MİKRO ÇATLAKLAR

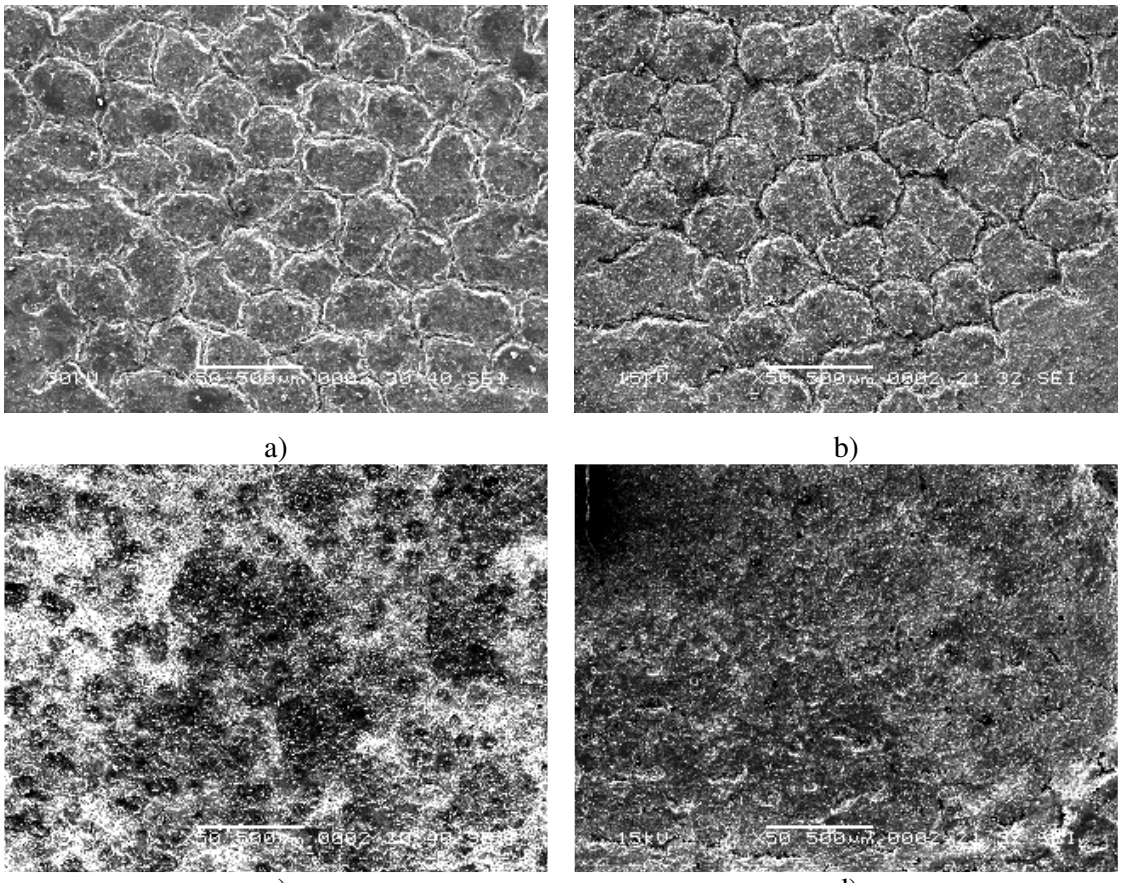
EAİ uygulamalarında artan darbe süreleri ve azalan darbe akımları ile birlikte, yüzeyde yoğun mikro çatlak ağlarının oluştuğu bilinmektedir. Yapılan çalışmalar (Ekmekci vd. 2009) iki farklı çatlama mekanizmasının EAİ uygulamalarında etkin olduğunu ortaya koymuştur. Bunlardan birincisi, beyaz katman içerisindeki faz dönüşümleri ve dönüşümler sırasında malzemenin kopma mukavemetini aşan yüksek gerilmelerin sebep olduğu çatlaklardır. Bu çatlaklar genel olarak beyaz katman boyunca ilerlemekte ve ara katman üzerinde sonlanmaktadır (Şekil 4.9).



a) b)

Şekil 4.9 TK-EAİ ile işlenmiş yüzeylerin kesit görünümü. Darbe süresi: 400 µs, darbe akımı: 7 A, di-elektrik sıvı: gazyağı+a) 10, b)15 gr/lt SiC.

Diğer çatlama türü ise, krater çeperleri boyunca oluşmakta ve ana faz malzemeye nüfuz etmektedir. Di-elektrik sıvı olarak saf su kullanıldığında yapısı net olarak görülebilen bu çatlama şekli özellikle malzemenin yorulma mukavemetini düşüreceğinden önemlidir (Şekil 4.10a). Di-elektrik sıvıya toz katkısının bu tür çatlama oluşumunu, yoğunluğuna bağlı olarak büyük oranda düşürdüğü söylenebilir (Şekil 4.10 b-d). Ancak bu tür çatlamaların, incelenen toz konsantrasyonları çerçevesinde, tamamının ortadan kaldırılabileceğini belirtmek bir hayli zordur. Çünkü, dikkatli bir inceleme ile bu çatlak oluşumunun toz katkısına rağmen kısmen devam ettiğini göstermektedir.



a) b)

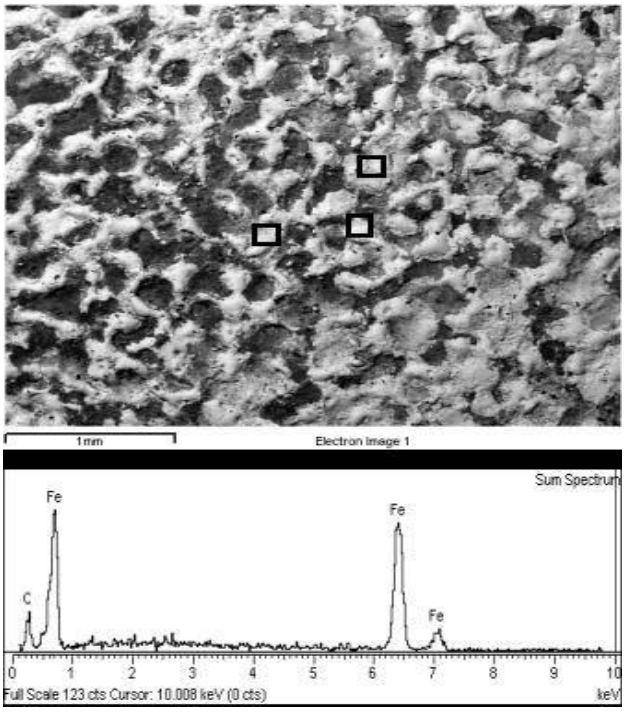
c) d)

Şekil 4.10 TK-EAİ ile işlenmiş yüzeyler. Su bazlı di-elektrik sıvıda a) saf, b) 5 gr/lt, c) 10 gr/lt, d) 15 gr/lt SiC (Darbe süresi: 400 µs, darbe akımı: 7 A.

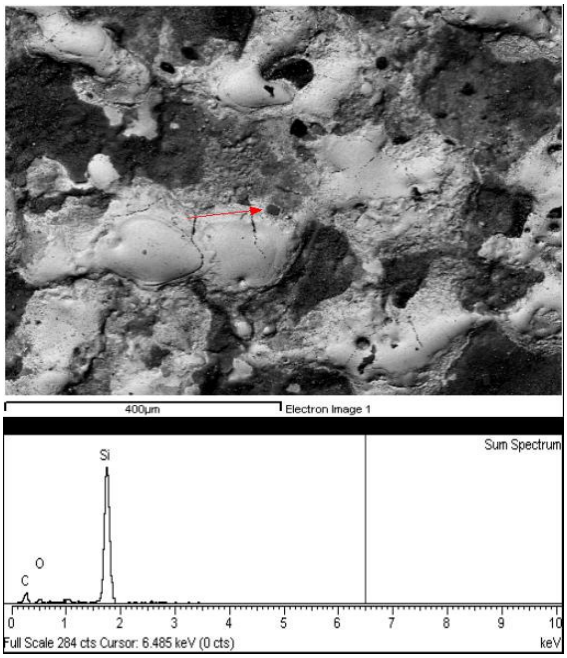
4.5 TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU İLE GERİ SAÇILIM ANALİZİ

Taramalı Elektron Mikroskobu ile analizde, numune üzerine odaklanan elektron demeti, numune atomları ile ayrıca elastik girişimlerde de bulunabilir. Bu girişimlerde demet elektronları, numune atomlarının çekirdeğinin çekim kuvveti ile saptırılarak numune

yüzeyinden geri saçılmaktadır. Bu elektronlar geri saçılmış (back scattered) elektronlar olarak tanımlanır (elektronlar, yüzeye gelen elektron demeti ile yaklaşık 180^0 açı yapacak biçimde saçılırlar) ve özel üç adet silikon detektörde (A, B, C) toplanarak görüntü oluşumunda kullanılır. Böyle bir görüntü, geri saçılmış elektron görüntüsü olarak tanımlanır. Geri saçılmış elektron miktarı, numunenin atom numarasıyla orantılıdır. Bu nedenle geri saçılmış elektron görüntüsü özellikle çok fazlı sistemlerde atom numarası farkına dayanan kontrast içerir. Geri saçılmış elektron detektöründe sinyaller toplandığında (A+B), atom numarası kontrastına bağlı kompozisyon görüntüsü elde edilir. Eğer sinyal farkı alınarak görüntü elde edilirse (A-B), topografik bileşim görüntüsü oluşur. Ayrıca üçüncü algılayıcı (C), bir açı altında tutulup sinyaller toplandığında (A+B+C) gölge görüntüsü (shadow) de elde edilir. Bu oluşumlar, EDS (Energy Dispersive Spectroscopy) grafiği ile incelendiğinde, yüzeyin malzeme özellikleri ortaya çıkmaktadır. Özellikle azalan darbe akımı ile birlikte, yüzey üzerinde gömülü çeşitli tanecikler saptanmıştır. Ayrıntılı olarak bu bölgeler SEM-EDS grafikleri ile incelenmiştir. Yüzeyin genel görünümünde, krater çeperleri üzerinde yapılan incelemeler (Şekil 4.11), demir ve karbon elementlerinin varlığını göstermektedir. Ancak katılaşmış malzeme içerisinde saplanmış tanecikler incelendiğinde (Şekil 4.12), Si ve C elementlerin varlığı görülmektedir.

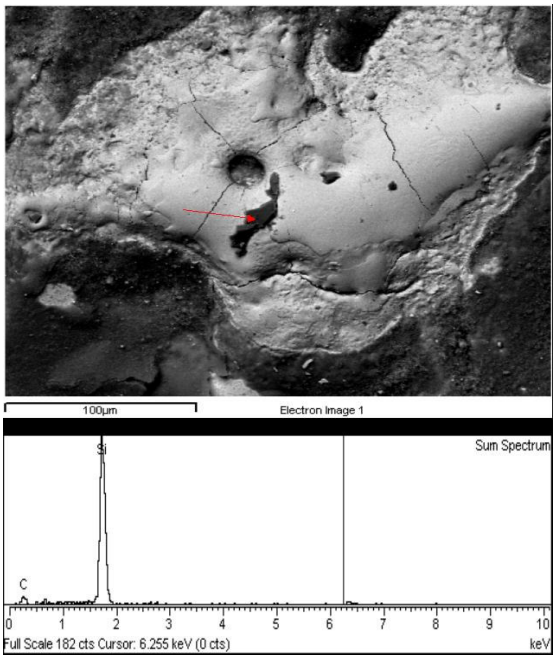


Şekil 4.11 TK-EAİ ile işlenmiş bir yüzeyin SEM Back Scattered Compo Mode analiz görüntüsü. Di-elektrik sıvı: gazyağı+10 gr/lt SiC, darbe süresi: 100 μs, darbe akımı: 14 A.



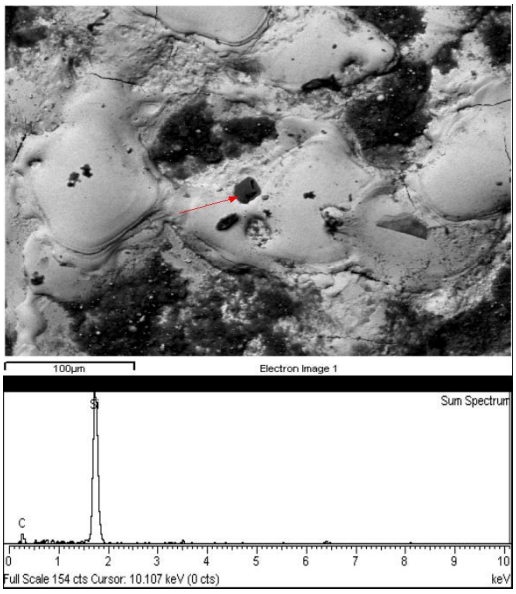
Şekil 4.12 TK-EAİ ile işlenmiş bir yüzeyin SEM Back Scattered Compo Mode analiz görüntüsü. Di-elektrik sıvı: gazyağı+10 gr/lt SiC, darbe süresi: 100 µs, darbe akımı: 14 A.

Bu tanecikler ayrıntılı şekilde incelendiğinde, oransal olarak az olmak ile birlikte düzgün bir geometriye sahip olmadıklarını ortaya koymuştur (Şekil 4.13).



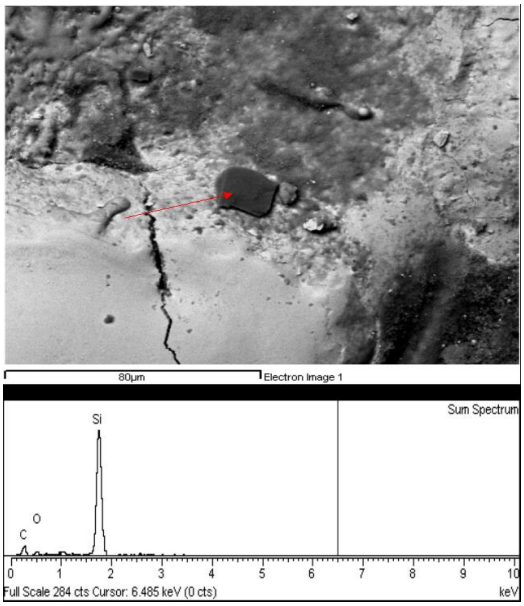
Şekil 4.13 TK-EAİ ile işlenmiş bir yüzeyin SEM Back Scattered Compo Mode analiz görüntüsü. Di-elektrik sıvı: gazyağı+10 gr/lt SiC, darbe süresi: 100 µs, darbe akımı: 14 A.

Yüzeyde genel olarak kübik geometriler ile malzeme içerisine gömüldüklerini (Şekil 4.14) ortaya koymuştur.



Şekil 4.14 TK-EAİ ile işlenmiş bir yüzeyin SEM Back Scattered Compo Mode analiz görüntüsü. Di-elektrik sıvı: gazyağı+10 gr/lt SiC, darbe süresi: 100 µs, darbe akımı: 14 A.

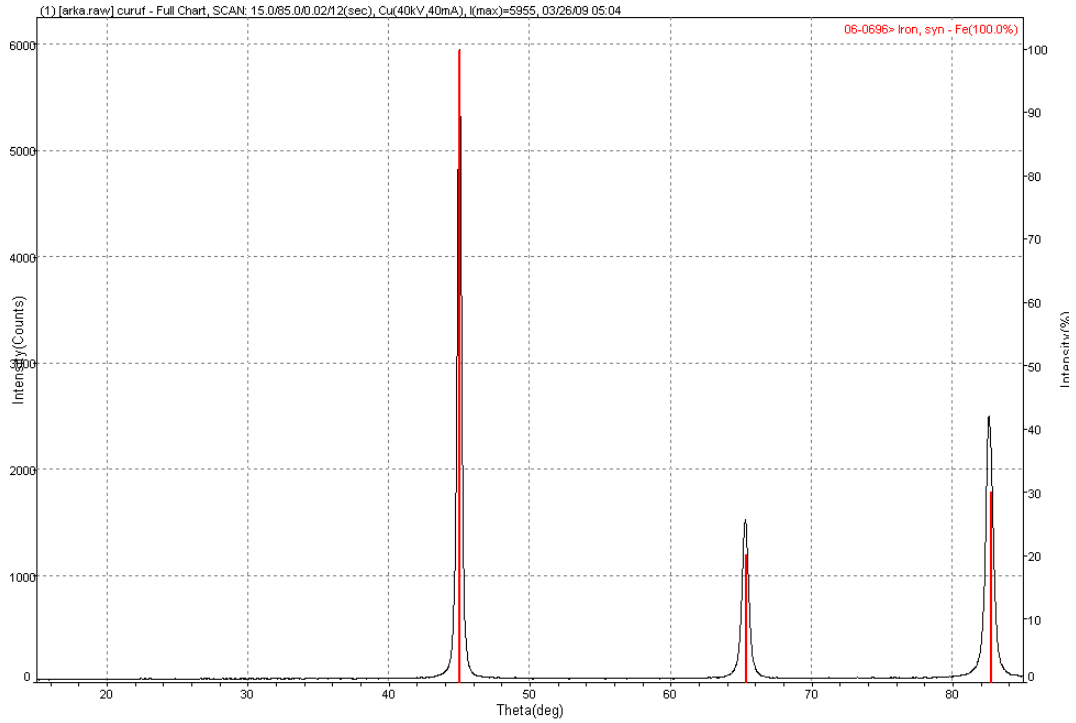
Buna göre taneciklerin, yüzeye etkili biçimde entegre oldukları düşünülmektedir (Şekil 4.15).



Şekil 4.15 TK-EAİ ile işlenmiş bir yüzeyin SEM Back Scattered Compo Mode analiz görüntüsü. Di-elektrik sıvı: gazyağı+10 gr/lt SiC, darbe süresi: 100 µs, darbe akımı: 14 A.

4.6 YÜZEYLERDE X-IŞINI SAÇILIMI ANALİZİ

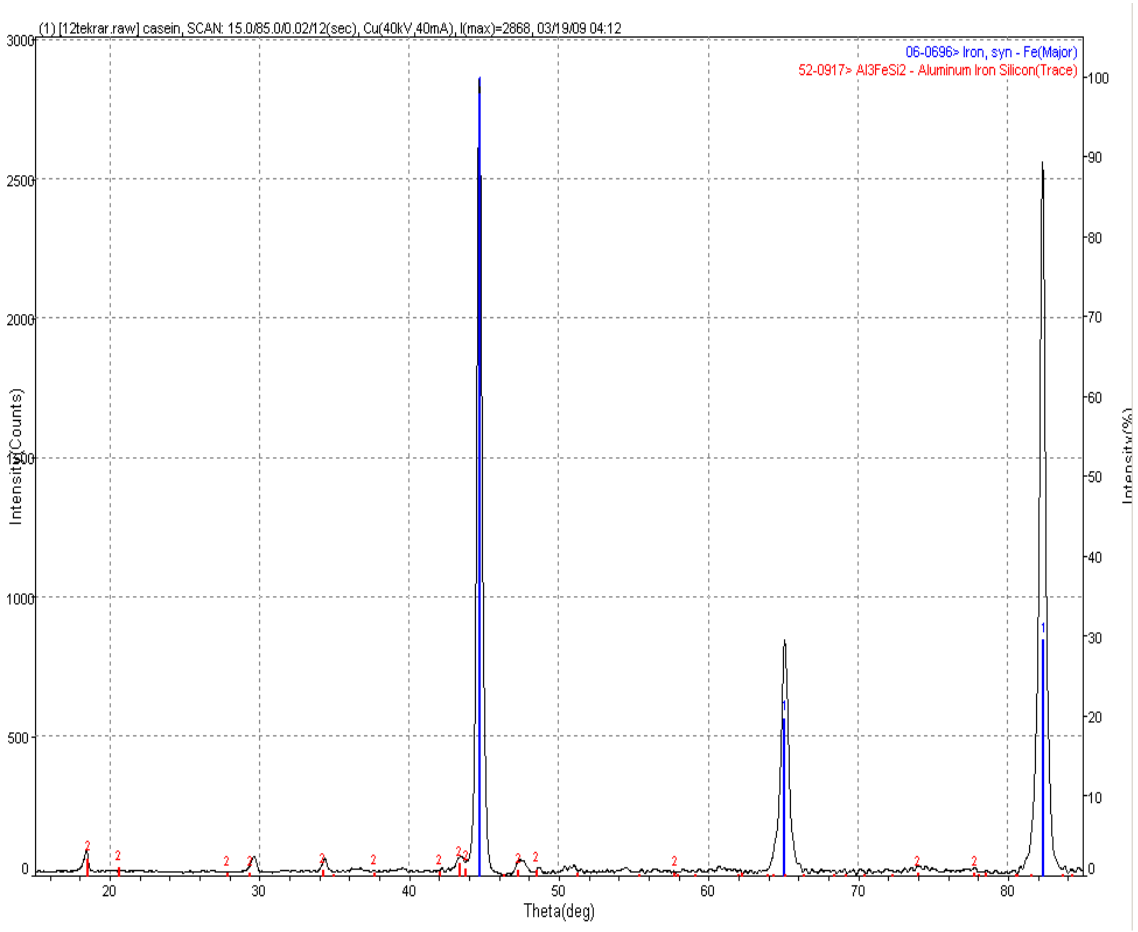
XRD sistemi; çoğunlukla ağır elementlerden oluşan, katı anorganik ve kristal maddelerin araştırılmasına uygun bir aletsel yöntemdir. Yöntem süper iletkenler, seramikler, metaller, alaşımlar, katı çözeltiler, heterojen katı karışımlar, korozif maddeler, çelik, kaplama malzemeleri, maden analizleri, toprak analizleri, safsızlık depo edilmiş yarı iletkenler, pigmentler, çimentolar, doğal veya yapay mineraller, herhangi bir malzemenin içerdiği bileşik veya elementlerin tayini, inorganik polimerler, faz diyagramlarının ve faz dönüşümlerinin araştırılması, bazı kristalin veya amorf kompleks bileşiklerinin incelenmesi gibi bir çok konuda yaygın kullanım alanına sahiptir. Çalışmada kullanılan Cu ($k\alpha$) tüplü cihaz ile, ışın odaklaması (focusing beam) yöntemi ile ölçüm yapılmış ve 40 kV, 40 mA konfigürasyonunda 1.6 kW güç ile intensity değerleri alınmaya çalışılmıştır. Sırası ile 9 nolu (Deiyonize su, 14 A işleme şartları), 12 nolu (Deiyonize su + 15 gr/lt SiC, 14 A işleme şartları) ve 16 nolu (Gazyağı + 15 gr/lt SiC, 14 A işleme şartları) numuneler, cihazda 2θ - θ açı aralığı kullanılarak, 15^o ile 85^o arasındaki peakler araştırılmıştır. Saptanan sonuçlar aşağıda özetlenmiştir. 9 nolu (Deiyonize su, 14 A işleme şartları) numunenin analizinde, 44.7^o açıda (1, 1, 0)-Fe, 65.2^o açıda (2, 0, 0)-Fe, 82.1^o açıda (2, 1, 1)-Fe kübik hacim merkezli demir fazı düzlemlerini temsil eden sonuçlar tespit edilmiştir (Şekil 4.16).



Şekil 4.16 9 nolu (Deiyonize su, 14 A işleme şartları) numunenin XRD analiz görüntüsü.

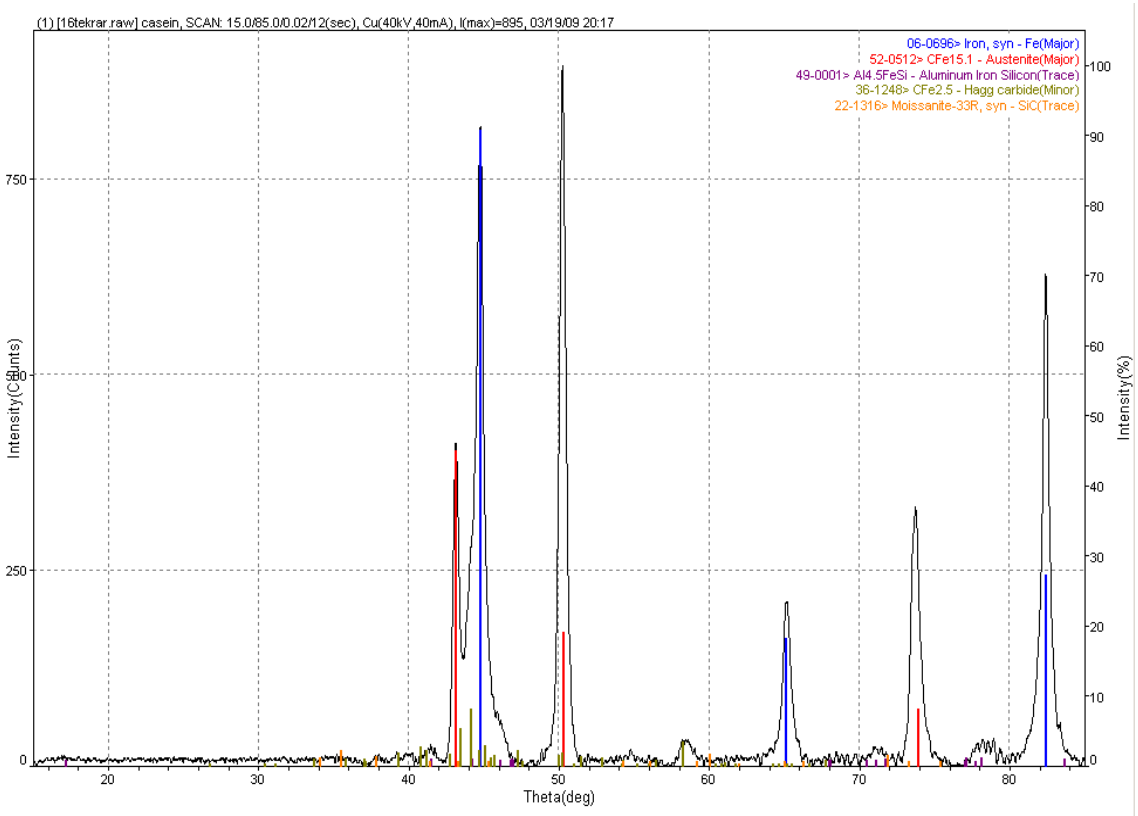
Yapılan XRD çalışmaları kapsamında amaç, yüzeyde oluşturulan anorganik fazların incelenmesi ve farklılıkların gözlenebilmesidir.

12 nolu (Deiyonize su + 15 gr/lt SiC, 14 A işleme şartları) numunenin analizinde 9 nolu (Deiyonize su, 14 A işleme şartları) numunede olduğu gibi (1, 1, 0)-(2, 0, 0)-(2, 1, 1) kübik hacim merkezli demir fazı düzlemlerini temsil eden sonuçlar gözlenmiştir. Bunun yanı sıra herhangi bir östenit demir yapısına rastlanmamıştır. Yalnızca muhtelif açılarda Al3FeSi2 (Alüminyum-Demir-Silisyum) fazına rastlanmıştır (Şekil 4.17).



Şekil 4.17 12 nolu (Deiyonize su + 15 gr/lt SiC, 14 A işleme şartları) numunenin XRD analiz görüntüsü.

16 nolu (Gazyağı + 15 gr/lt SiC, 14 A işleme şartları) numunede diğer numunelerde olduğu gibi (1, 1, 0)-(2, 0, 0)-(2, 1, 1) kübik hacim merkezli demir fazı düzlemlerini temsil eden sonuçlar tespit edilmiş olup, ilave olarak östenit demir fazları da tespit edilmiştir. Östenit fazları 43^{o}, 51^{o}, 73^{o}'lerde görülmüştür. Ayrıca muhtelif açılarda Al4.5FeSi (Alüminyum Demir Silisyum), SiC ve Hagg Carbide yapıları tespit edilmiştir (Şekil 4.18).



Şekil 4.18 16 nolu (Gazyağı + 15 gr/lt SiC, 14 A işleme şartları) numunenin XRD analiz görüntüsü.

BÖLÜM 5

SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Elde edilen bulgular TK-EAİ uygulamalarında yüzey topolojisinin ve mikro yapısının toz katkısı ile önemli ölçüde etkilendiğini göstermiştir. Özetle, di-elektrik sıvıya toz katkısı ile, ısıl etkilenmiş katmanların kalınlıkları artmakta ve katkı tozları ile iş parçası arasında metalürjik etkileşimler olmaktadır. Bu bölümde sonuçlar irdelenmiş ve ileriye dönük olası açılımlar ele alınmıştır.

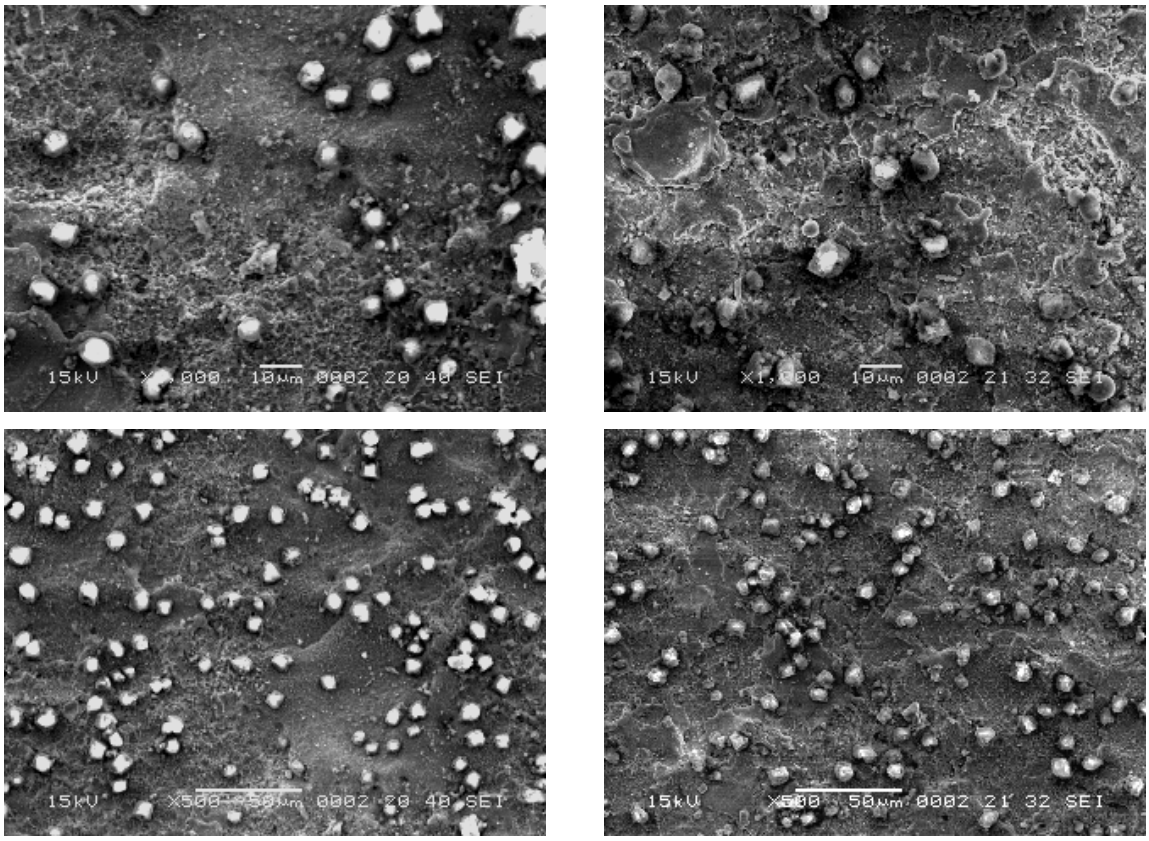
5.1 TK-EAİ MEKANİZMASI

Alışılmış EAİ yönteminde, di-elektrik sıvının işleme bölgesinde homojen yalıtım özelliği göstermesinden dolayı düzgün yoğunlukta bir elektrik alanı meydana gelir. Bu da kısıtlı sayıda elektrik boşalımlarına ve küçük (dar) boşalım aralığına sebep olur. Toz Katkılı Elektriksel Aşındırma ile işleme (TK-EAİ) yönteminde, uygulanan darbe geriliminin etkisi altında boşalım aralığındaki elektrik aralığı bölünür. Toz tanelerinin üst ve alt kısımlarında pozitif ve negatif elektrik yükleri toplanır. Toz tanesinin üst veya alt bölgeleri elektrik yük yoğunluğunun en yüksek olduğu yerlerdir. Birbirinin yakınında bulunan iki toz tanesinin elektrik alan yoğunluğunun en yüksek olduğu a ve b noktaları civarında ilk boşalım meydana gelir. Bu boşalımdan sonra iki toz tanesi arasında kısa devre meydana gelerek elektrik yüklerinin bu bölgede dağılması gerçekleşir. Bu elektrik yükü yoğunlaşması bu iki toz tanesi ile diğer toz taneleri, elektrot ve iş parçası arasında boşalım etkisinin "ardışık boşalımlar" şeklinde oluşumunu sağlar (Zhao W.S et al. 2002). Böylece TK-EAİ yönteminde elektriksel boşalımlar daha kolay oluşur. Dolayısıyla di-elektrik sıvıya karıştırılan tozların oluşturduğu köprü sayesinde elektrik alan yoğunluğu azalır ve tozların işleme bölgesinde bulunmasından dolayı elektriksel iletkenlik artar. Sonuçta işleme bölgesindeki tozlar, di-elektrik sıvının elektriksel yalıtkanlığının kırılmasını kolaylaştırarak elektriksel darbelerin bekleme süresini kısaltır. Çok sayıda küçük boşalım kıvılcımları ile, iş parçasında daha küçük kraterler oluşturarak, yüzey pürüzlülüğünde azalma meydana gelir (Wong Y.S. al. 1998).

Elde edilen bulgular, toz katkısının işleme mekanizması üzerinde salt elektriksel alan yoğunluğunun azaltılması ve bunun sonucunda darbe bekleme süresinin kısalması ile, iş parçası yüzeyinde daha küçük kraterler oluşturarak, yüzey pürüzlülüğünü azalması ile kısıtlı olmadığını göstermiştir. Genel olarak toz katkısı ile işlem sırasında oluşan etkileşimler, iş parçası yüzeyinde ısıl etkilenmiş katman kalınlıklarını arttırmaktadır. Bu durum, küçük boşalım kıvılcımlarının etkisi ile çelişmektedir. Çünkü oluşan küçük boşalım kıvılcımlarının sahip olduğu düşük darbe enerjileri sebebi ile daha ince ısıl etkilenmiş katman kalınlıklarının oluşması beklenmelidir. Sonuç olarak, eklenen toz katkılarının di-elektrik sıvı direncini düşürerek, iş parçası üzerinde düşen toplam ısıl enerjiyi arttırdığı ve böylelikle ısıl etkilenmiş katman kalınlıklarının arttığı söylenebilir. İlgi çekici bir diğer nokta Şekil 5.1'de gösterilmektedir. Düşük darbe akımlarında, su işleme sıvısı olarak kullanıldığında, di-elektrik sıvıya eklenen toz taneciklerinin yüzeye belli oranlarda ve homojen şekilde nüfuz ettikleri gözlemlenmiştir. Hidrokarbon bazlı di-elektrik sıvı ile iş parçasının işlenmesi durumunda ise, yüzeyde benzer yapılara rastlanılsa bile homojen sayılabilecek bir dağılım gözlenememiştir. Bu sonuç, toz taneciklerinin işleme mekanizmasında, di-elektrik sıvının elektriksel direncini düşürmesinin dışında farklı işlevlere sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Bir güç kaynağı vasıtası ile iş parçası ve elektrot arasında sağlanan darbe gerilimi, di-elektrik sıvıda güçlü bir elektriksel alan oluşturur. Bu elektriksel alan iş parçası ile elektrotun birbirlerine en yakın mesafede oldukları konumda en yüksek seviyededir. Bu konumda, di-elektrik sıvı molekülleri ve iyonları iki kutup arasında polarize olur. Toz katkıları ile düşen di-elektrik sıvının elektriksel yalıtım mukavemeti aşıldığında, di-elektrik sıvı içerisinde düşük dirençli bir plazma kanalı oluşur. Oluşan bu boşalım kanalı içinden elektronlar ve iyonlar anot ve katot (elektrot ve iş parçası) yüzeyine hızla çarparlar. Bu çarpışma elektronların ve iyonların kinetik enerjilerinin ısı ve basınç formuna dönüşümleri ile sonuçlanır. İşlem sırasında plazma kanalı içerisinde kalan toz tanecikleri bu safhada buhar fazındadır. Darbe gerilimi uygulandığı sürece, boşalım kanalı içindeki basınç, kanal çeperlerini genişletmekte ve akım yoğunluğunu düşürmektedir. Çoğu zaman boşalım kanalı içinde oluşan basınç, elektrot ve iş parçası yüzeylerinde kızgın eriyik metalin buharlaşmasını önleyecek kadar yüksektir. Darbe geriliminin sonlanması ile birlikte, kanal içinde basınç aniden düşer ve di-elektrik sıvı toz katkıları ile birlikte eriyik metal havuzuna hücum eder. Bu esnada iş parçası yüzeyindeki kızgın eriyik malzeme hızla kaynamaya ve buharlaşmaya başlamıştır. Eriyik malzemenin kaynaması sırasında oluşan sıcak buhar balonları ile toz katkılı di-elektrik sıvı karşılaşır. Düşük sıcaklıktaki di-elektrik sıvının soğutma etkisi bilinmektedir. Ancak, elde

edilen bulgular göstermektedir ki, toz tanecikleri eriyik metal havuzu katılaşmadan nüfuz etmekte ve buhar baloncuklarına, çökmeden hızla çarpmaktadır. Bu çarpışma ile eriyik metal havuzundaki malzemenin krater çeperlerine doğru akışı zorlanmakta ve böylelikle çeperlerde oluşan yığılmalar azalmaktadır. Benzer şekilde hızla buhar baloncuklarına çarpan toz tanecikleri baloncukları patlatmakta ve çok daha küçük tanecikler şeklinde katılaşmasını sağlamaktadır. Bu durum toz katkısının yüzey pürüzlülüğünü ne şekilde azalttığını ortaya koymaktadır.



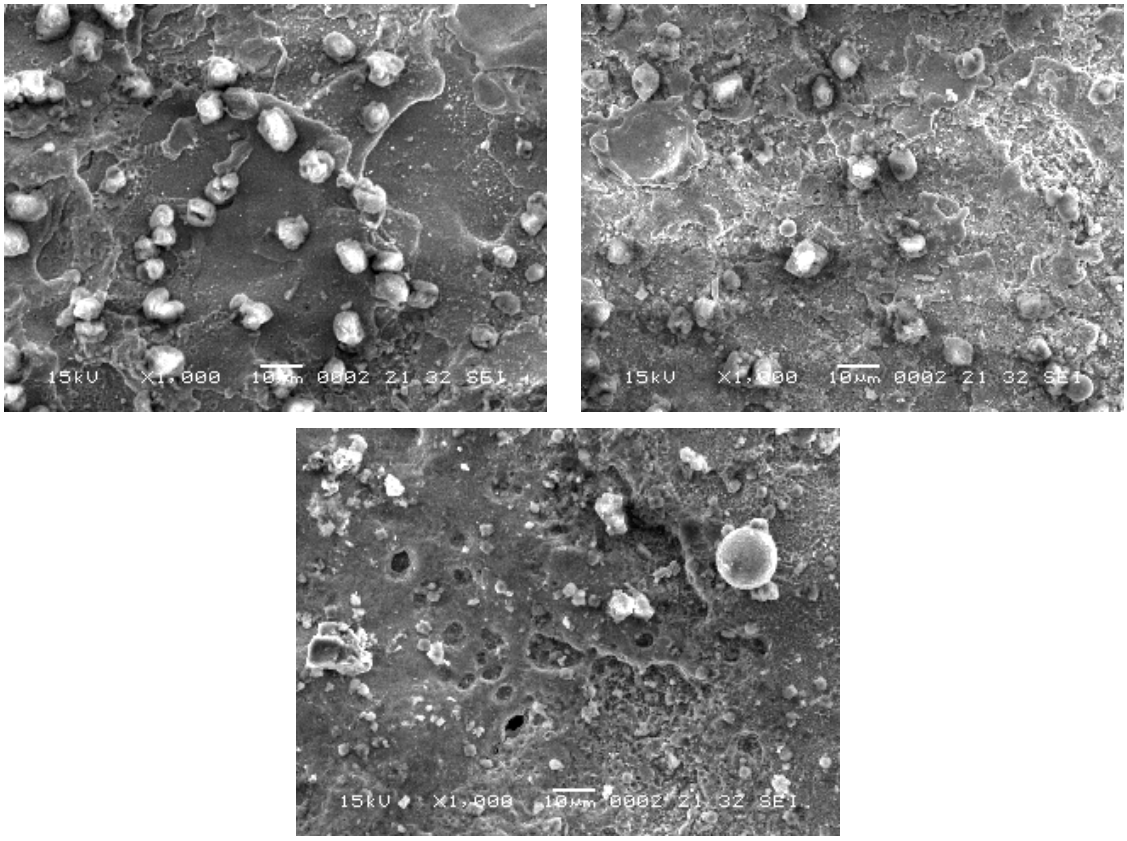
a) b)

Şekil 5.1 TK-EAİ ile işlenmiş yüzeyler. Di-elektrik sıvı: Su a) 10 gr/lt b) 15 gr/lt SiC (Darbe süresi: 100 µs, darbe akımı: 7 A).

Daha önce yapılan çalışmalar (Ekmekçi et al. 2005) di-elektrik sıvı ve takım elektrot özelliklerinin, işlem sırasında kaynama mekanizması üzerinde önemli etkilerinin olduğunu ortaya koymuştur. Hidrokarbon bazlı di-elektrik sıvıdan yada elektrottan taşınan karbon, eriyik metal içinde nüfuz ederek yüzey kaynamasını tetiklemektedir. Ancak işlem sırasında karbon dışı malzemeler kullanıldığında, kaynama tetiklenmemekte ve eriyik havuz çeperlerinde düzensiz yada baloncuklar şeklinde eklentiler oluşmadan katılaşmaktadır.

Bu sonuç su ile işlenen numunelerde homojen şekilde yüzeye nüfuz etmiş toz taneciklerini açıklamaktadır.

Bir diğer nokta ise, azalan darbe akımı ve darbe süresi ile birlikte toz taneciklerinin yüzeye nüfuz etme özelliğinin artmasıdır (Şekil 5.2). Düşük darbe süreleri, işleme sırasında oluşan plazma kanalının çapının düşük olmasına sebep olur. Uygulanan düşük darbe akımları ile birlikte eriyik metal havuzu yayvan ve ince olacaktır. Aynı zamanda uygulanan düşük darbe enerjisi, plazma kanalında oluşan basınç değerlerinin nispeten düşük değerlerde kalacağı düşünüldüğünde, birim alanda eriyik metale nüfuz eden toz taneciklerinin sayısında artış beklenebilir.



Şekil 5.2 TK-EAİ ile işlenmiş yüzeyler. Darbe akımı: 7 A, di-elektrik sıvı: su + 5 gr/lt SiC, darbe süresi: a) 25 µs b) 100 µs c) 400 µs.

Yapılan çalışmalar, 500 mesh SiC tozları ile yapılmıştır. Bu elek ölçüsü 25 µm.lik bir aralıktan geçen toz taneciklerini ifade etmektedir. Toz tanelerinin boyutları küçüldükçe eriyik metal havuzuna nüfuziyetlerinde artış beklenmelidir.

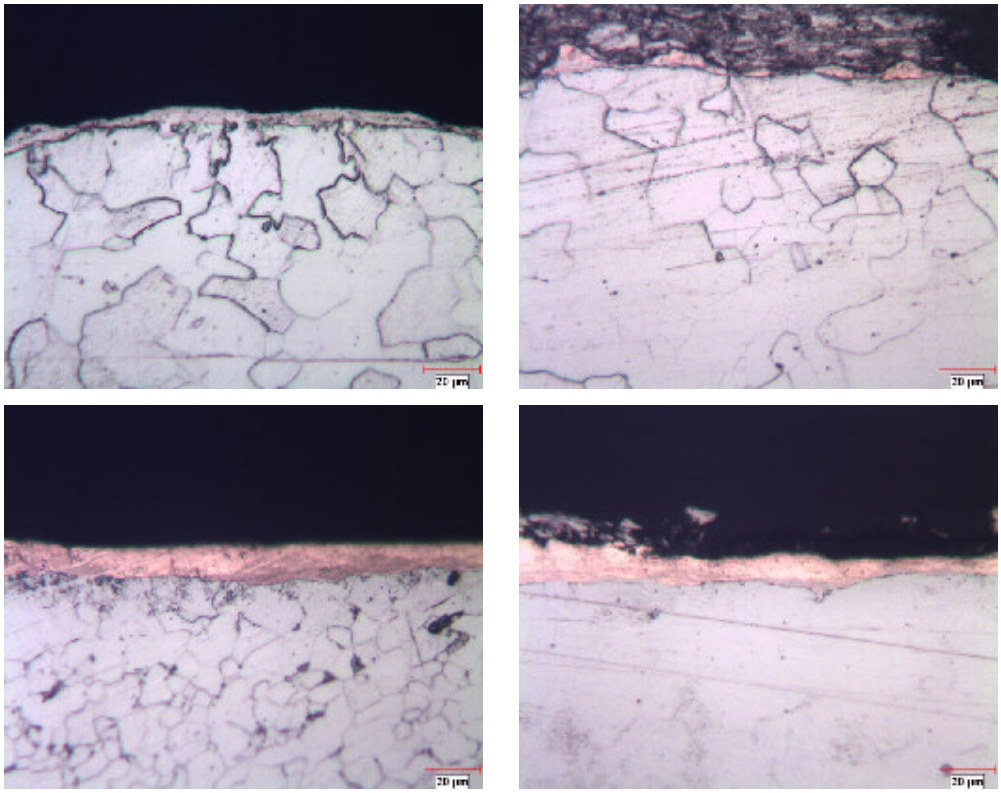
5.2 ELEKTRİKSEL AŞINDIRMA İLE İŞLEMEDE MİKRO YAPI DEĞİŞİMLERİ

İşlemin sert doğası gereği, oluşan kraterlerin metalürjik karakteristikleri oldukça karmaşıktır. Mikroskobik çalışmalar, işlenmiş yüzeylerde, işlem sırasında yüksek noktasal sıcaklık seviyelerine ulaşılmasından ötürü, alışılmamış faz değişimlerinin oluştuğunu göstermiştir. Yapılan çalışmalar, dağlamaya dirençli ve ana faz malzemeden çok daha sert beyaz dökme bir tabakanın varlığını ortaya koymuştur. Bu katman elektrot malzemeden alaşımlama izleri taşımakta ve incelenen bütün fiziksel parametreler altında gözlemlenmektedir. Hidrokarbon bazlı di-elektrik sıvı ile işlenen numunelerde, beyaz tabakanın, kalıntı östenit, matenzit ve karbür yapılarını içerdiğini göstermiştir. Bu sonuç yüksek oranda karbonun di-elektrik sıvıdan işlem yüzeyine taşındığını ortaya koymaktadır.

Numuneler saf su ile işlendiğinde kalıntı östenit ve karbür oluşumlarına rastlanmamıştır. Bu sonuçlar daha önce elektriksel aşındırma ile işlenmiş olan yüzeyler için elde edilen veriler ile örtüşmektedir. Toz katkılarının yüzey mikro yapısı üzerinde etkileri incelendiğinde, ilk göze çarpan değişim, toz katkısı ile birlikte beyaz tabaka kalınlıklarının az da olsa artmasıdır. Hidrokarbon bazlı di-elektrik sıvı ile birlikte toz katkılarının kullanılması östenit, martenzit ve karbür dokuyu değiştirmemek ile birlikte Si ve bileşiklerinin beyaz tabakada oluştuğu x-ışını saçılımı yöntemi ile belirlenmiştir. Benzer şekilde numunelerin su ile işlenmesi durumunda, toz katkısının beyaz tabaka üzerinde östenit fazının oluşumuna fazlaca katkıda bulunmadığı görülmüştür.

Toz taneciklerinin eriyik metal içinde saplanarak donması, işlemin devam etmesi ile birlikte, oluşan yeni elektriksel kıvılcımların etkisi ile bu toz taneciklerinin yüzeyde ana faz malzemesi ile birlikte buharlaşması, ergimesi ve katılaşması sonucunu doğuracaktır. Bu esnada beyaz tabaka kalınlığının artan toz katkısı ile homojen bir dağılıma (Şekil 5.3) sahip olması dikkat çekicidir.

Bu sonuç, toz tanecikleri vasıtası ile yüzeyin nasıl alaşımlanabileceği hakkında önemli bilgiler vermektedir. Farklı boyut, konsantrasyon ve malzemelerden hazırlanacak toz katkıları, yüzeyde farklı özelliklere sahip, beyaz katman oluşumuna olanak sağlayacaktır. Böylelikle bu yöntem ile endüstrinin talep edebileceği yüzey özelliklerine sahip parçaların üretilebileceği sonucuna varılabilir. Ancak bu noktanın yoğun deneysel çalışmalar ile incelenmesinin gerekliliği açıktır.



Şekil 5.3 TK-EAİ ile işlenmiş yüzeyler. Darbe akımı: 7 A, darbe süresi: 400 µs, di-elektrik sıvı: a) su b) su + 5 c) su + 10 d) su + 15 gr/lt SiC.

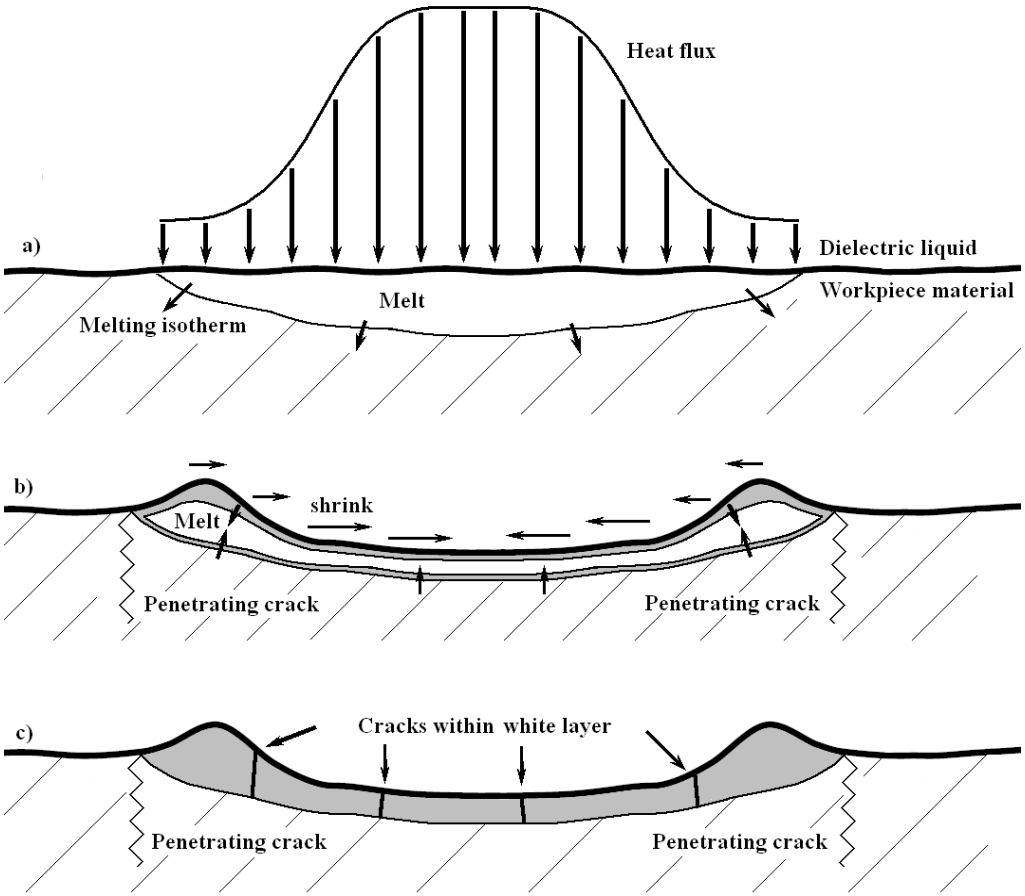
5.3 MİKRO ÇATLAKLAR

İşlenmiş yüzeylerde, işleme koşullarına bağlı olarak mikro çatlak oluşumu bilinmektedir. Genel olarak plazma kanalında akan yüksek sıcaklıklar, di-elektrik sıvının hızlı soğutma etkisi, di-elektrik sıvı ve takım elektrotu ile etkileşimler, yüzeyde önemli oranda metalürjik faz değişimleri ve homojen olmayan ısıl çevrimleri ile sonuçlanmaktadır. Farklı metalürjik fazlar arasında oluşan yüksek çekme gerilmelerinin, işlenen malzemenin kopma mukavemetini aşması ile mikro çatlaklar oluşmaktadır.

EAİ ile işlenmiş yüzeylerde yapılan çalışmalar düşük darbe akımları ve yüksek darbe süreleri ile işlenen yüzeyler üzerinde belirgin çatlak ağlarının oluştuğunu ortaya koymuştur. Benzer sonuçlar bu çalışma ile de elde edilmiştir. Toz katkısının ne şekilde mikro çatlak oluşumunu engellediği ise çatlama mekanizmasının daha iyi anlaşılabilmesi ile mümkündür.

(Ekmekçi 2009), toz katkısız numuneler üzerinde yaptığı çalışmalarda, mikro çatlamaların iki farklı mekanizma ile geliştiğini ortaya koymuştur. İşlem sırasında karbon içerikli di-elektrik

sıvı kullanıldığında, beyaz tabaka üzerinde oluşan farklı metalürjik fazlar arasındaki gerilmeler çatlamaya sebep olmakta ve bu çatlakların derinliği beyaz katman kalınlığı ile sınırlı olmaktadır. Benzer işleme koşullarında, karbon dışı bir sıvı, işleme sıvısı olarak kullanılırsa bu tür çatlaklar oluşmamaktadır. Ancak, malzemenin kırılganlık özelliğine bağlı olarak krater çeperleri boyunca kapalı çemberler çizen ve ana faz malzemesine uygulanan darbe enerjisine bağlı olarak nüfuz eden çatlamalar oluşmaktadır. Bu tür çatlakların oluşumu, elektriksel darbenin sonlanması ile birlikte, üstten di-elektrik sıvının ısı taşınımı, ana faz malzemesinin ısı iletimi neticesinde, her iki yönden soğuyan eriyik metal havuzu, yüzeyde ince bir kabuk oluşumunu sağlamakta ve bu kabuğun büzülmesi ile birlikte tutunduğu krater çeperlerinden çekmektedir. Krater çeperlerinde oluşan gerilmeler, ana faz malzemesinin kırılma mukavemetinden daha yüksek olduğu zaman çatlamalar oluşmaktadır (Şekil 5.4).



Şekil 5.4 EAİ yöntemi ile işlemede mikro çatlakların oluşumu.

Hidrokarbon bazlı di-elektrik sıvı ile işlenen yüzeylerde yapılan çalışmalar, her iki çatlama mekanizmasının aynı anda oluşabileceğini göstermiştir. Ancak, işleme ortamında karbon atomlarının yokluğu, beyaz katmanda metalürjik faz değişimlerinin etkisini kaldırmakta ve sadece krater çeperlerinden ana faz malzemeye nüfuz eden çatlamalar oluşmaktadır.

Di-elektrik sıvıya eklenen toz katkılarının etkisi ise ana faz malzemesine nüfuz eden çatlamalarda açıkça görülmektedir. Di-elektrik toz katkı yoğunluğunun artması ile bu çatlamalar önemli ölçüde azalmaktadır. Bu durumda bu taneciklerin elektriksel kıvılcımların sonlanması ile birlikte oluşan kabuk yüzeyine çarparak sürekliliğini bozduğu ve böylelikle çeperlerde oluşan yüksek gerilmeleri önlediği düşünülebilir. Bu durum düşük darbe akımı ve yüksek darbe süresi ile su bazlı sıvıda işlenen numuneler üzerinde görülmektedir (Şekil 4.10). Ancak benzer bir sonucu metalürjik faz değişimlerinden kaynaklanan mikro çatlaklar için söylemek mümkün değildir. Hidrokarbon bazlı sıvıda aynı darbe akımı ve sürelerinde yüksek toz katkı oranı kullanılarak işlenen numunelerde beyaz katman içinde yoğun mikro çatlaklar oluşmaya devam etmektedir (Şekil 4.9). Bu numunelerde ana faz malzemeye nüfuz eden çatlakların oluşmamasından ötürü, mikro çatlak yoğunluğu azalmıştır.

5.4 SONUÇLAR VE İLERİYE DÖNÜK ÇALIŞMALAR

TK-EAİ yönteminde, fiziksel işleme parametrelerinin sayısı oldukça fazladır. Darbe akımı, gerilimi, süresi gibi elektriksel parametreler, elektrot ve iş parçasının, elektriksel ve ısı iletkenliği, erime ve kaynama noktası, ısı kapasitesi gibi malzeme özellikleri, di-elektrik sıvı ve sıvı içine konulan katkı malzemelerinin özellikleri, boyutları ve yoğunluğu bu parametrelere örnek olarak verilebilir. Elde edilen bulgular, di-elektrik sıvı içinde asılı taneciklerin, işlem karakteristiğini önemli ölçüde değiştirdiğini ortaya kaymaktadır.

İşlemin karmaşık doğası ve hızlı ısıl çevrimlerin varlığı, işlenen yüzey üzerinde yapısal bozulmalara yol açmaktadır. Di-elektrik sıvı içindeki toz katkılarının, bu yapısal bozulmalara ne şekilde katkı sağladığı bu çalışma ile açıklanmaya çalışılmıştır.

Genel olarak topografik ve mikro yapısal değişimler ile yüzeyde mikro çatlak oluşumları irdelenmiş ve toz katkısının bu oluşumlara etkisi ortaya koyulmuştur. Elde edilen veriler, TK-EAİ yönteminde, işlemenin etkili yapılabilmesi açısından önemli bulguları ortaya koymaktadır.

Elde edilen bulgular şu şekilde özetlenmiştir:

1- Di-elektrik sıvıya toz katkısı, sıvının elektrik yalıtım direncini düşürerek daha fazla enerjinin iş parçası yüzeyine aktarımını sağlar. Böylelikle, iş parçası yüzeyinde ısıl etkilenmiş katman kalınlıkları artar.

2- Düşük darbe akımlarında ve sürelerinde, su işleme sıvısı olarak kullanıldığında, di-elektrik sıvıya eklenen toz tanecikleri, yüzeye homojen şekilde nüfuz eder. Ancak, hidrokarbon bazlı bir di-elektrik sıvı kullanılması durumunda, toz taneciklerinin yüzeye nüfuz etmesine karşılık, homojen sayılabilecek bir dağılım gözlenememiştir.

3- Elektriksel darbe geriliminin sonlanması, plazma kanalında ani basınç düşüşü ve toz katkılı di-elektrik sıvının eriyik metal havuzuna hücum etmesi ile sonuçlanır. Bu esnada iş parçası yüzeyindeki kızgın eriyik malzeme hızla kaynamaya ve buharlaşmaya başlamıştır. Toz taneciklerinin yüzeye nüfuz etmesi, eriyik metal havuzu katılaşmadan toz taneciklerinin malzemeye nüfuz ettiğinin göstergesidir.

4- Toz katkılarının yüzey pürüzlülüğünü azaltma etkisini, tozların eriyik metal havuzuna nüfuz etmesi ve metal havuzundaki malzemenin krater çeperlerine doğru akışını güçleştirerek sağladığı düşünülmektedir. Böylelikle krater çeperlerinde oluşan yığılmalar azalmıştır. Benzer şekilde, eriyik metalin kaynaması sırasında hızla buhar baloncuklara çarpan toz tanecikleri, baloncukları patlatarak yüzey pürüzlüğünü azaltmaktadır.

5- Hidrokarbon bazlı di-elektrik sıvı ile işlenen numunelerde, beyaz tabakanın kalıntı östenit, matenzit ve karbür yapılarını içerdiğini göstermiştir. Bu sonuç yüksek oranda karbonun di-elektrik sıvıdan işlem yüzeyine taşındığını ortaya koymaktadır. Numuneler saf su ile işlendiğinde ise kalıntı östenit ve karbür oluşumlarına rastlanmamıştır.

6- Di-elektrik sıvıda toz katkılarının kullanılması, östenit, martenzit ve karbür dokuyu değiştirmemekle birlikte Si ve bileşiklerinin beyaz tabakada oluşumunu sağlamaktadır.

7- Di-elektrik sıvıda toz katkılarının, ana faz malzemesine nüfuz eden çatlakların azaltılması açısından önemli bir rolü vardır. Toz taneciklerinin, elektriksel kıvılcımların sonlanması ile birlikte, yüzeyden başlayarak katılaşan ince kabuk yüzeyine çarparak sürekliliğini bozduğu ve krater çeperlerinde oluşan yüksek gerilmeleri önlediği düşünülmektedir.

8- İşlem sırasında, metalürjik faz değişimleri neticesinde oluşan mikro çatlakların önlenmesinde, di-elektrik sıvıya eklenen toz katkılarının önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

KAYNAKLAR

Aspinwall D K, Wise M L H, Stout K J, Goh T H A, Zhao F L and Menshawy M F (1992) Electric Discharge Texturing. *Int. J. Mach. Tools Manufact*. Vol. 32, No. 1/2, pp. 183-193.

Barash M and Sri-Ram M G (1962) Some Properties of Spark Machined Heat Treated Steel. *In Proc. 3rd Int. MTDR Conf.*, Birmingham, pp. 85-91.

Bucklow I A and Cole M (1969) Spark Machining. *Metall. Rev.*, Review No. 135, Vol. 3, No. 6, pp. 103-118.

Cabanillas E D, Desimoni J, Punte G and Mercader R C (2000) Formation of Carbides by Electro-Discharge Machining of Alpha Iron. *Mater. Sci. Eng.*, Vol. A276, pp. 133-140.

Chen Y and Mahdivan S M (1999) Parametric Study into Erosion Wear in a Computer Numerical Controlled Electro-Discharge Machining Process. *Wear*, Vol. 236, pp. 350-354.

Chen Y and Mahdivan S M (2000) Analysis of Electro-Discharge Machining Process and its Comparison with Experiments. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 104, pp. 150-157.

Chen S L, Yan B H and 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, pp. 107-111.

Chow H M, Yan B H, Huang F Y and Hung J C (2000) Study of added powder in kerosene for the micro-slit machining of titanium alloy using electro-discharge machining. *Journal of Materials Processing Technology,* 101 : 95–103.

Cogun C and Savsar M (1990) Statistical Modeling of Discharge Pulses in Electric Discharge Machining. *Int. J. Mach. Tools Manufact*., Vol. 30, No. 3, pp. 467-474.

Crookall J R and Khor B C (1972) Residual Stresses and Surface Effects in Electro Discharge Machining. *In Proc. of 13th MTDR Conf*., Birmingham, pp. 331-338.

Crookall J R and Khor B C (1972) Electro-Discharge Machined Surfaces. *In Proc. of 15th MTDR Conf.*, Macmillan, pp.1-12.

Ekmekçi B, Elkoca O and 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-B, pp. 117-24.

Ekmekçi B (2009) White Layer Composition, Heat Treatment, and Crack Formation in Electric Discharge Machining Process. *Metallurgical and Materials Transactions B*, Vol. 40-B, pp. 70-81.

Furutani K, Saneto A, Takezawa H, Mohri N and Miyake H (2001) Accertation of titanium carbide by electrical discharge machining with powder suspended in working fluid. *Precision Engineering,* 25 : 138–144.

Ghanem F, Braham C and Sidhom H (2003) Influence of Steel Type on Electrical Discharge Machined Surface Integrity. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 142, No. 1, pp. 163-173.

Greene J E and Guerrero-Alvarez J L (1974) Electro Erosion of Metal Surfaces. *Metallurgical Trans.*, Vol. 5, pp. 695-706.

Guu Y H, Hocheng H, Chou C Y and Deng C S (2003) Effect of Electrical Discharge Machining on Surface Characteristics and Machining Damage of AISI D2 Tool Steel. *Mater. Sci. Technol*., Vol. 358, pp. 37-43.

Halkacı S H and Erden A (2002) Experimental Investigation of Surface Roughness in Electric Discharge Machining (EDM). *In Proc. of 6th Biennial Conference on Engineering Systems Design and Analysis (ESDA)*, Istanbul, Turkey.

Hung N P, Yang L J and Leong K W (1994) Electrical Discharge Machining of Cast Metal Matrix Composites. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 44, pp. 229-236.

Jeswani M L (1978) Roughness and Wear Characteristic of Spark-Eroded Surfaces. *Wear*, Vol. 51, pp. 227-236.

Kansal H K, Singh S and Kumar P (2007) Technology and research developments in powder mixed electric discharge machining (PMEDM). *Journal of Materials Processing Technology,* 184 : 32–41.

Kansal H K, Singh S and Kumar P (2007) Effect of Silicon Powder Mixed EDM on Machining rate of AISI D2 Die Steel. *Journal of Manufacturing Processes Technology,* Vol.9 No.1.

Kruth J P, Lauwers B, Schacht B, Bleys P and Stucki M (2001) Comparison Between Oil and Water Dielectric in Wire EDM of Tool Steel. *In Proc. of 13th Int. Symp. for Electro-Machining*, 463-472, Bilbao.

Lee C Y (1999) Effects of powder characteristics on electro-discharge machining process. Master Thesis (unpublished), Taiwan Chang Gung University.

Lee H T and Tai T Y (2003) Relationship Between EDM Parameters and Surface Crack formation. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 142, No. 3, pp. 676-683.

Lee L C, Lim L C, Narayanan V and Venkatesh V C (1988) Quantification of Surface Damage of Tool Steels After EDM. *Int. J. Mach. Tools Manufact*., Vol. 28, No. 4, pp. 359-372.

Lee L C, Lim L C and Wong Y S (1990) Towards a Better Understanding of the Surface Features of Electro-Discharge machined Tool Steels. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 24, pp. 513-523.

Lee L C, Lim L C and Wong Y S (1992) Toward Crack Minimization of EDMed Surfaces. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 32, pp. 45-54.

Lee L C, Lim L C and Wong Y S (1992) Crack Susceptibility of Electro-Discharge Machined Surfaces. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 29, pp. 213-221.

Lee S H and Li X P (2001) Study of the Effect of Machining Parameters on the Machining Characteristic in Electrical Discharge Machining of Tungsten Carbide. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 115, pp. 344-358.

Lee S H and Li X (2003) Study of the Surface Integrity of the Machined Workpiece in the EDM of Tungsten Carbide. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 139, pp. 315-321.

Lenz E Katz E, Koning W and Wertneim R (1975) Cracking Behavior of Sintered Carbides During EDM. *Ann. of CIRP*, Vol. 24, No. 1, pp. 109-114.

Lim L C, Lee L C, Wong Y S and Lu H H (1991) Solidification Microstructure of Electrodischarge Machined Surfaces of Tool Steels. *Mater. Sci. Technol.*, Vol. 7, pp. 239-248.

Lin Y C, Yan B H and Chang Y S (2000) Machining characteristics of titanium alloy (Ti-6Al-4V) using a combination process of EDM with USM. *Journal of Materials Processing Technology,* 104 : 171-177.

Liu C C and Huang J L (2003) Effect of the Electrical Discharge Machining on Strength and Reliability of TiN/Si3N4 Composites. *Ceramics International*, Vol. 29, pp. 679-687.

Lloyd H K and Warren R H (1965) Metallurgy of Spark-Machined Surfaces. *J. of Iron and Steel Ins*., Vol. 203, No. 3, pp. 238-247.

Luo Y F and Chen C G (1990) Effect of a pulsed Electromagnetic Field on the Surface Roughness in Superfinishing EDM. *Precision Engineering*, Vol. 12, No. 2, pp. 97-100.

Luo Y F, Zhang Z Y and Yu C Y (1988) Mirror Surface EDM by Electric Field Partially Induced. *Ann. of CIRP*, Vol. 37, No. 1, pp. 179-181.

Mamalis A G, Vosniakos N M, Vacevanidis N M and Junzhe X (1988) Residual Stress Distribution and Structural Phenomena of High-Strength Steel Surfaces Due to EDM and Ball-Drop Forming. *Ann. CIRP*, Vol. 37, No. 1, pp. 531-535.

Massarelli L and Marchionni M (1977) Morphology of spark-affected surface layers produced on pure iron and steels by electro discharge machining. *Met. Technol.*, Vol. 4, No. 2, pp. 100-105.

Masui K, Demizu K, Sato Y and Sone T (1995) Surface modification of tool steels by alloying method using EDM process. *Proceedings of Int. Sympo. for Electro-Machining XI. Lauzanne*, Switzerland, p. 419–26.

Ming Q Y and He L Y (1995) Powder-suspension dielectric fluid for EDM. *Journal of Material Processing Technology*, 52 : 44–54.

Mohri N, Saito N, Takawashi T and Kobayashi K (1985) Mirror Like Finishing by EDM (Multi Divided Electrode Method). *In Proc. of 26th MTDR Conf.*, pp. 329-336.

Mohri N, Saito N and Higashi M (1991) A new process of finish machining on free surface by EDM methods. *Ann*. CIRP 40 (1) 207–210.

Narumiya H, Mohri N, Saito N, Ootake H, Tsunekawa Y, Takawashi T and Kobayashi K (1989) EDM by powder suspended working fluid. *Proceedings of Int. Sympo. for Electro-Machining IX. Nagoya, Japan*. p. 5–8.

Okada A, Uno Y and Çetin S (2001) *Surface modification of EDMed Surface with powder mixed fluid.* 2nd International Conference on design and Production of Dies and Molds, Kuşadası.

Opitz H (1960) Metallurgical Aspects and Surface Characteristics. *In Proc of Spark Machining Symposium.* Birmingham, pp. 237-251.

Özerkan B ve Çoğun C (2005) Elektro erozyon ile işlemede toz karışımlı di-elektriğin performans üzerine etkileri. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi,* 18 (2) : 211-228.

Qin G W, Oikawa K, Smith G D W and Hao S M (2003) Wire Electric Discharge Machining Induced Titanium Hydride in Ti-46Al-2Cr Alloy. *Intermetallics*, Vol. 11, No. 9, pp. 907-910.

Qu J, Riester L, Shih A J, Scattergood R O, Curzio E L and Watkins T R (2003) Nanoindentation Characterization of Surface Layers of Electrical Discharge Machined WC-Co. *Mater. Sci. Eng*., Vol. A344, pp. 125-131.

Radhakrishnan V and Achyutha B T (1980) Study of the Surface Formed in EDM Using Relocation Technique. *IE(I) Journal-ME*, Vol. 60, pp. 217-222.

Rama Rao P V and Faruqi M A (1982) Characteristics of the Surfaces obtained in Electro-Discharge Machining. *Precision Engineering*, Vol. 4, No. 2, pp. 111-113.

Rama Rao P V and Faruqi M A (1982) Time Series Modeling of the Surface Profile Produced by EDM. *In Proc. of the 10th All India Mach. Tool Design Conf.*, Durgapur, pp. 344-350.

Ramaswami R and Louis R S (1973) A Study of Wear and Surface Finish During Spark Erosion Machining of High Speed Tool Steel. *Wear*, Vol. 24, pp. 153-160.

Ramulu M and Garbini J L (1991) EDM Machined Surface Characterization of a Ceramic Composite, TiB2/SiC. *J. Eng. Mater. Technol.*, Vol. 113, No. 4, pp. 437-442.

Rebelo J C, Diaz A M, Kremer D and Lebrun J L (1998) Influence of Pulse Energy on the Surface Integrity of Martensitic Steels. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 84, pp. 90-96.

Rozenek M, Kozak J, Dabrowski L and Lubkowski K (2001) Electrical Discharge Machining Characteristics of Metal Matrix Composites. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 109, pp. 367-370.

Saito N (1962) The Mechanism of Surface Roughness on Electrical Discharge Machining. *Mitsubishi Denki Laboratory Reports*, pp. 375-390.

Schachrai A and Lenz E (1976) LBM and EDM –A Comparison on the Cracks Behavior. *Ann. of CIRP*, Vol. 25, No. 1, pp. 121-123.

Simao J, Lee H G, Aspinwall D K, Dewes R C and Aspinwall E M (2003) Workpiece surface Modification Using Electrical Discharge Machining. *Int. J. Machine Tools Manufact.*, Vol. 43, pp. 121-128.

Tabrett C P (1996) The Electro-Discharge Machining Surface of High Chromium White Irons. *J. Mater. Sci. Letters*, Vol. 15, pp. 1792-1794.

Thomson P H (1989) Surface Damage in Electrodischarge Machining. *Mater. Sci. Tchnol.*, Vol. 5, pp. 1153-1157.

Tsai H C, Yan B H and Huang F Y (2002) EDM performance of Cr/Cu-Based Composite Electrodes. *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, Vol. 43, pp. 245-252.

Tsai K M and Wang P J (2001) Semi-Empirical Model of Surface Finish on Electrical Discharge Machining. *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, Vol. 41, pp. 1455-1477.

Tzeng Y (2008) Development of a flexible high-speed EDM technology with geometrical transform optimization. *Journal of Materials Processing Technology,* 203 : 355–364.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

Tzeng Y and Chen F (2005) Investigation into some surface characteristics of electrical discharge machined SKD-11 using powder-suspension dielectric oil. *Journal of Materials Processing Technology,* 170 : 385–391.

Tzeng Y F and Lee C Y (2001) Effects of powder characteristics on electro discharge machining efficiency. *Int. Journal of Materials Processing Technology,* 17 : 586–592.

Uno Y and Okada A (1997) Surface generation mechanism in electrical discharge machining with silicon powder mixed fluid, *International Journal of Electrical Machining,* 2 : 13–18.

Uno Y, Okada A and Cetin S (2001) Surface Modification of EDMed Surface with Powder Mixed Fluid. *In Proc. of 2nd Int. Conf. on Design and Production of Dies and Molds*.

Wallbank J (1980) Effect of EDM on Material Properties of Die Steels. *Metallurgia*, Vol. 47, No. 1, pp. 356-362.

Wong Y S, Lim LC, Rahuman I and Tee W M (1998) Near-mirror-finish phenomenon in EDM using powder-mixed dielectric. *Journal of Materials Processing Technology,* 79 : 30–40.

Wong Y S, Rahman M, Lim H S, Han H and Ravi N (2003) Investigation of Micro-EDM Material Removal Characteristics using Single RC-Pulse Discharges. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 140, No. 1, pp. 303-307.

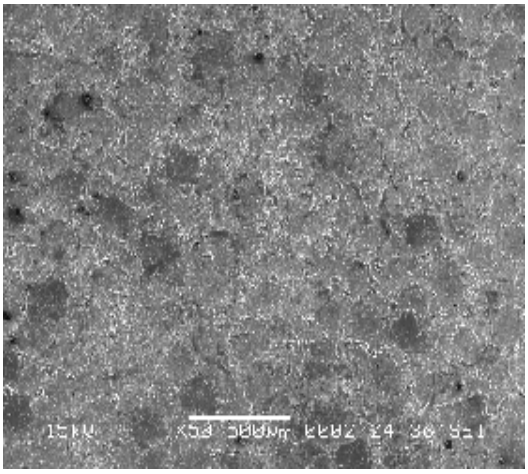
Zeid O A (1996) The Role of Voltage Pulse Off-Time in the Electrodischarge Machined AISI T1 High-Speed Steel. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 61, pp. 287-291.

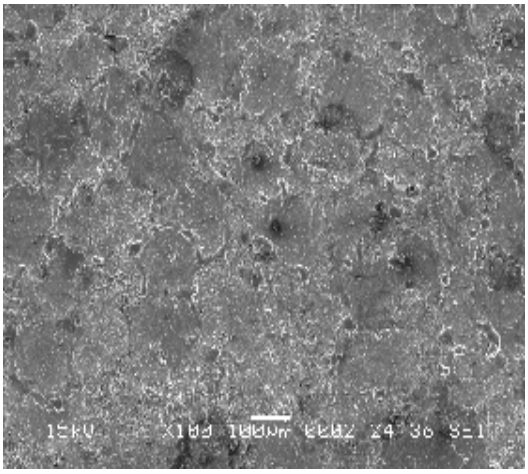
Zeid O A (1997) On the Effect of Electrodischarge Machining Parameters on the Fatigue Life of AISI D6 Tool Steel. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 68, pp. 27-32.

Zhao W S, Meng Q G and Wang Z L (2002) The application of research on powder mixed EDM in rough machining. *Journal of Materials Processing Technology,* 129 : 30–33.

EK AÇIKLAMALAR A

IF ÇELİĞİ NUMUNELERİNDE, İŞLEME ŞARTLARININ BEYAZ KATMAN ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ – SEM GÖRÜNTÜLERİ





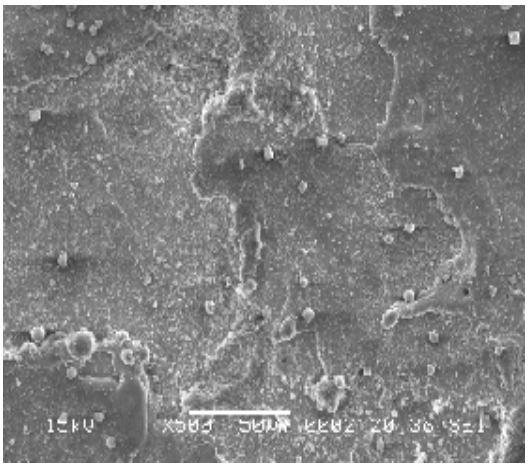
Numune Adı : IF 01

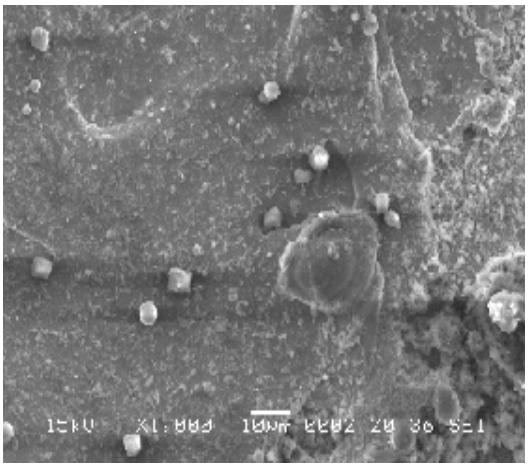
Akım : 22A

İşleme zamanı : 25 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 01

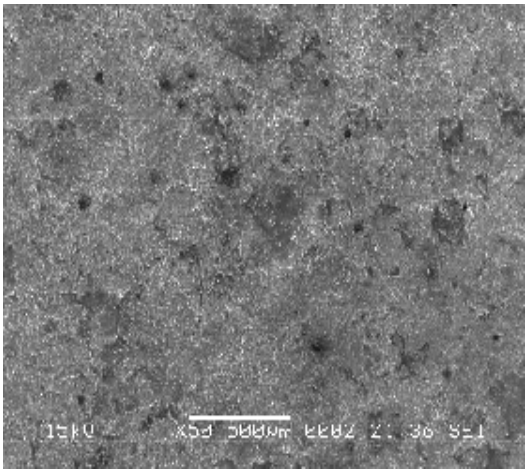
Akım : 22A

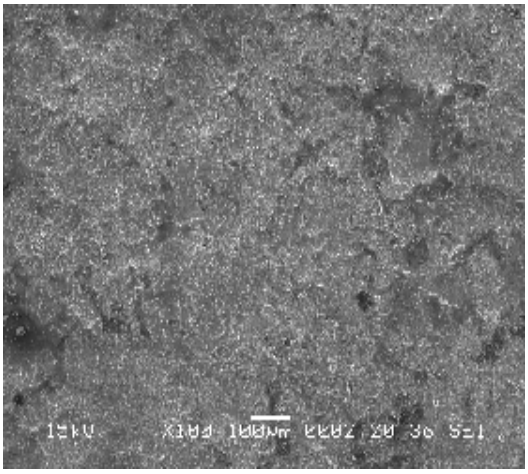
İşleme zamanı : 25 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.1 De-iyonize su, 22 A şartlarında işlenen numunenin 25 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





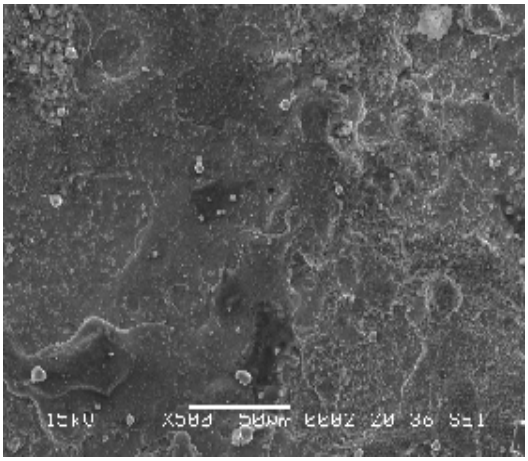
Numune Adı : IF 01

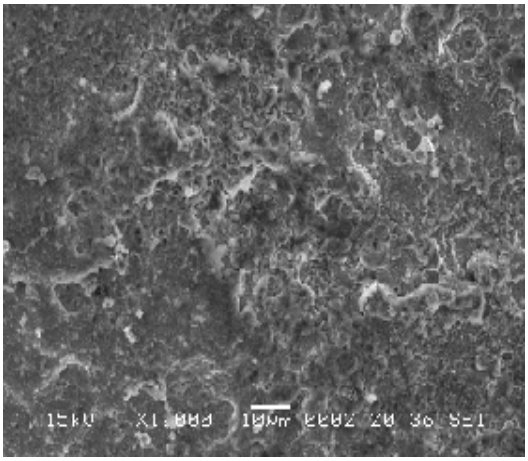
Akım : 22A

İşleme zamanı : 100 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 01

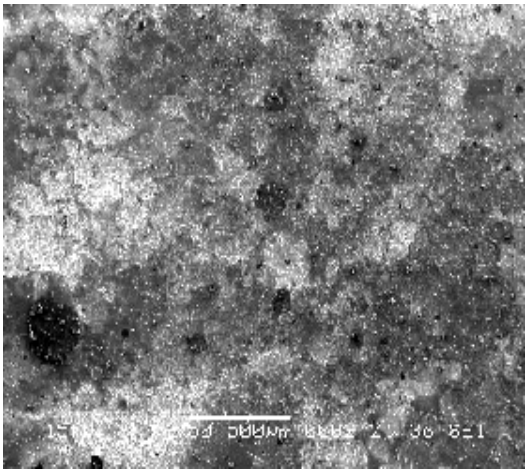
Akım : 22A

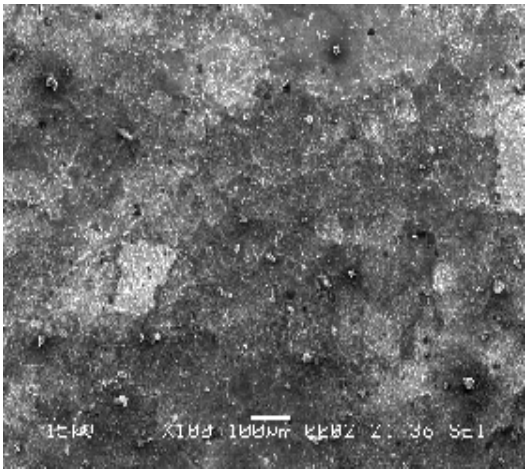
İşleme zamanı : 100 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.2 De-iyonize su, 22 A şartlarında işlenen numunenin 100 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





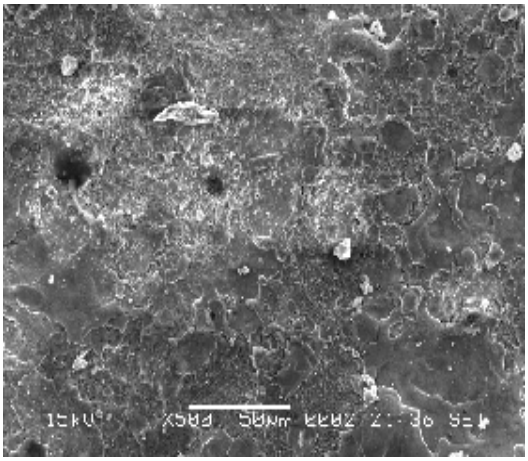
Numune Adı : IF 01

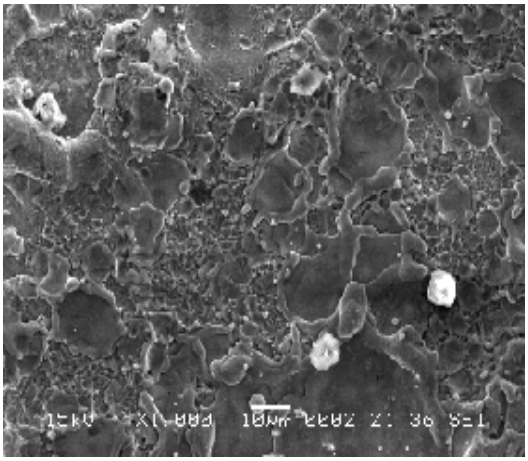
Akım : 22A

İşleme zamanı : 400 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 01

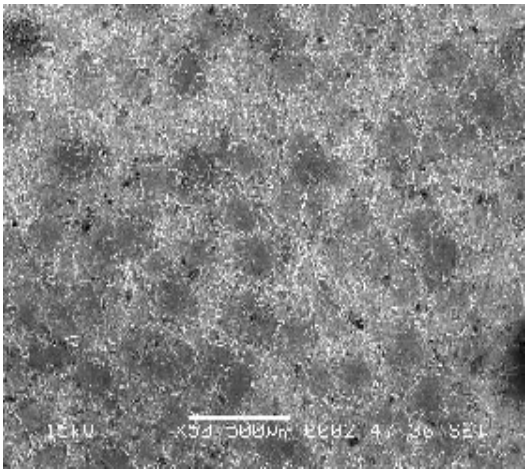
Akım : 22A

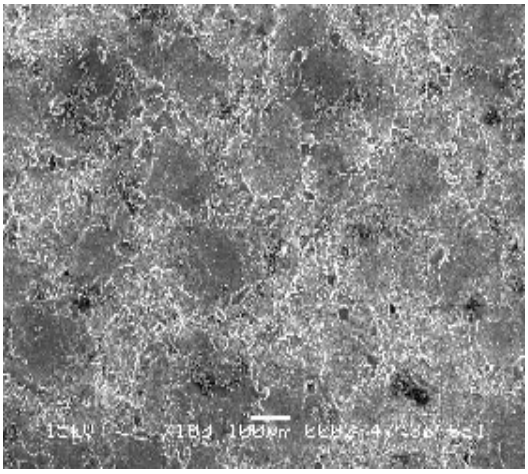
İşleme zamanı : 400 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.3 De-iyonize su, 22 A şartlarında işlenen numunenin 400 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





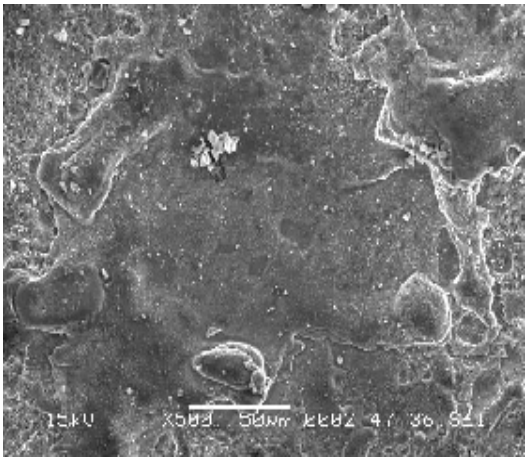
Numune Adı : IF 02

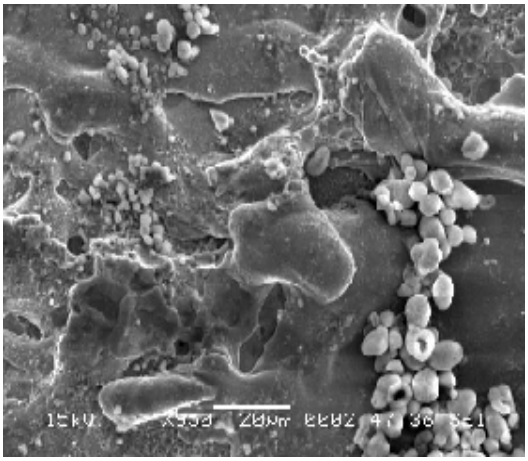
Akım : 22A

İşleme zamanı : ..25 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su + 5 g/l SiC

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 02

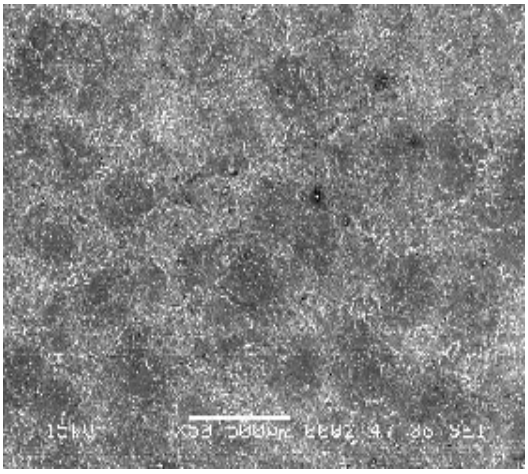
Akım : 22A

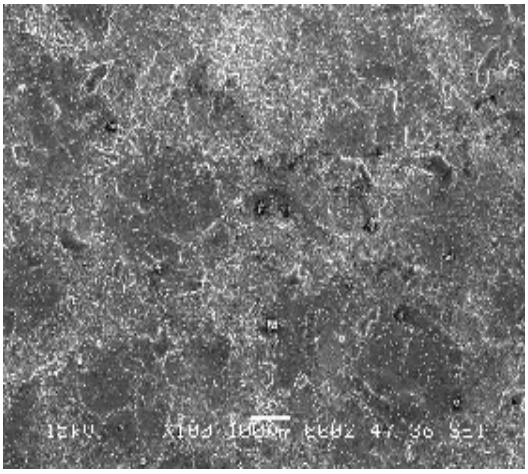
İşleme zamanı : 25 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su + 5 g/l SiC

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.4 De-iyonize su + 5 g/l SiC, 22 A şartlarında işlenen numunenin 25 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





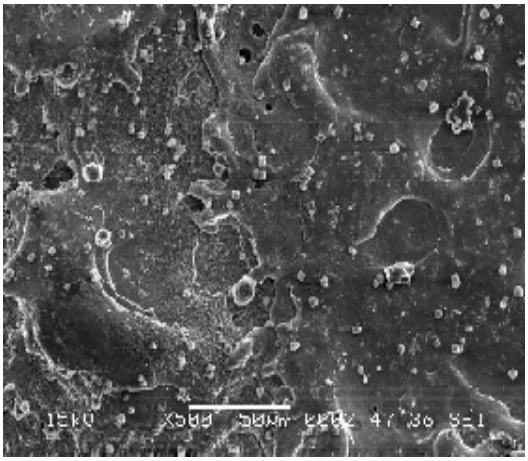
Numune Adı : IF 02

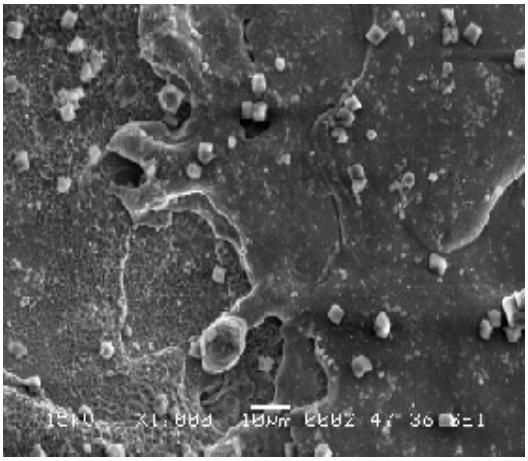
Akım : 22A

İşleme zamanı : 100 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su + 5 g/l SiC

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 02

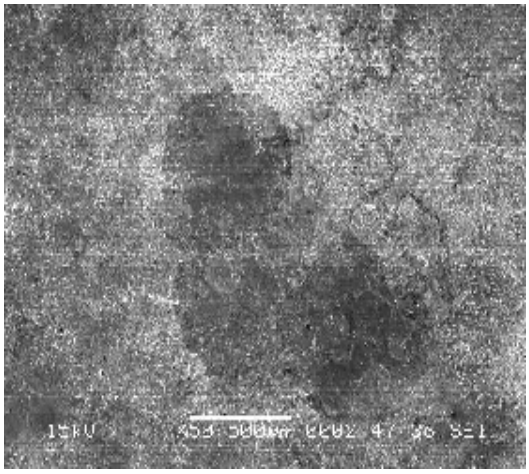
Akım : 22A

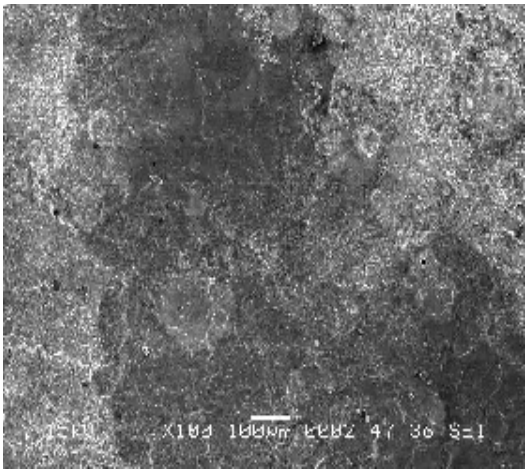
İşleme zamanı : 100 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su + 5 g/l SiC

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.5 De-iyonize su + 5 g/l SiC, 22 A şartlarında işlenen numunenin 100 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





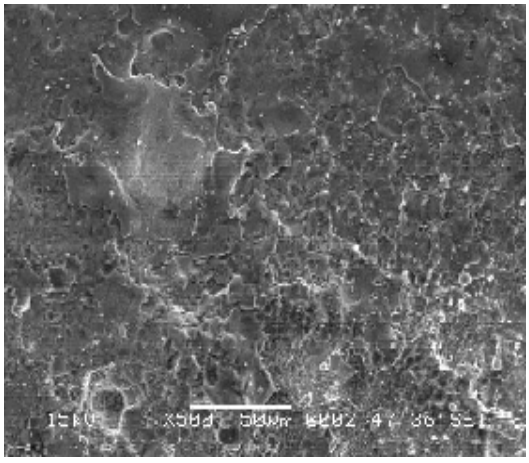
Numune Adı : IF 02

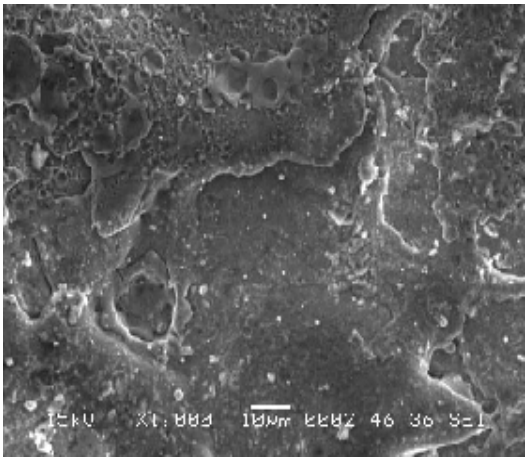
Akım : 22A

İşleme zamanı : 400 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su + 5 g/l SiC

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 02

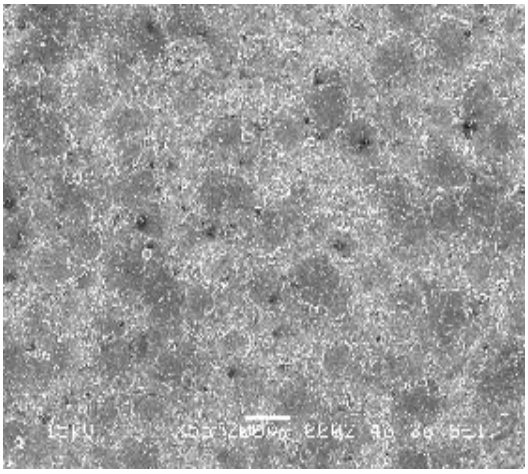
Akım : 22A

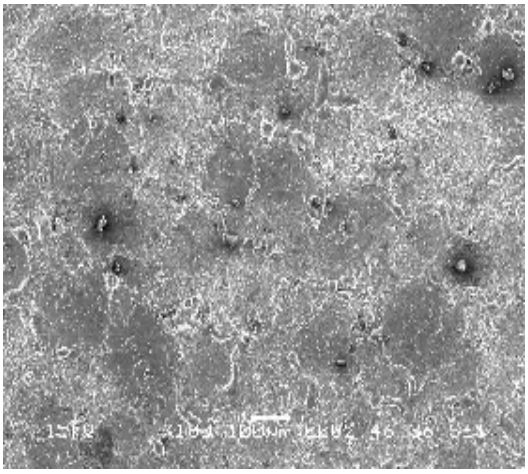
İşleme zamanı : 400 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su + 5 g/l SiC

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.6 De-iyonize su + 5 g/l SiC, 22 A şartlarında işlenen numunenin 400 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





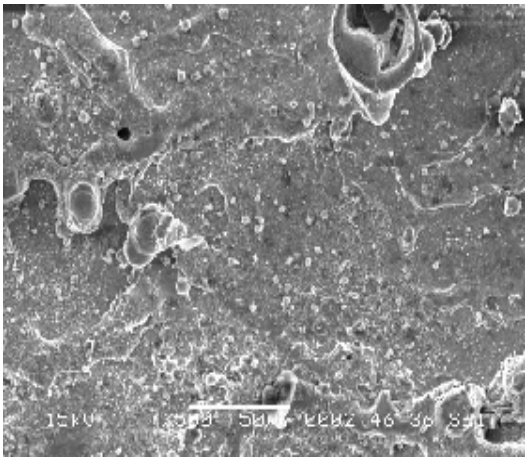
Numune Adı : IF 03

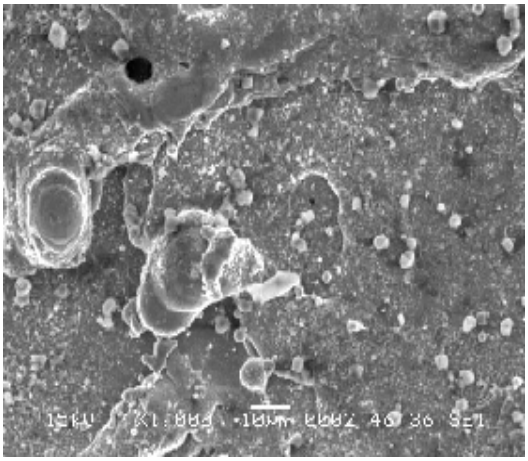
Akım : 22A

İşleme zamanı : 25 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su + 10 g/l SiC

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 03

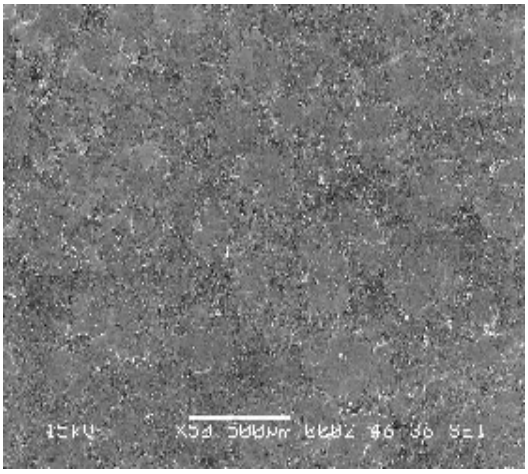
Akım : 22A

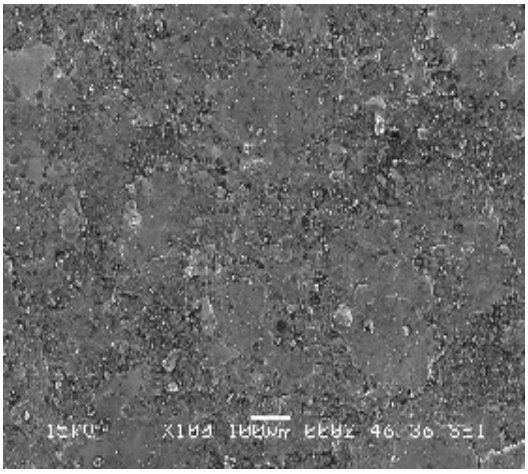
İşleme zamanı : 25 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su + 10 g/l SiC

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.7 De-iyonize su + 10 g/l SiC, 22 A şartlarında işlenen numunenin 25 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





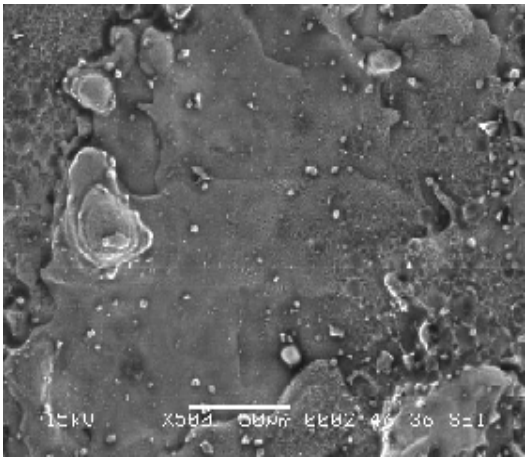
Numune Adı : IF 03

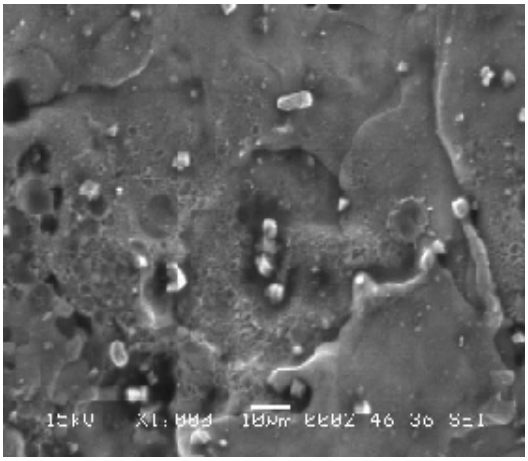
Akım : 22A

İşleme zamanı : 100 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su + 10 g/l SiC

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 03

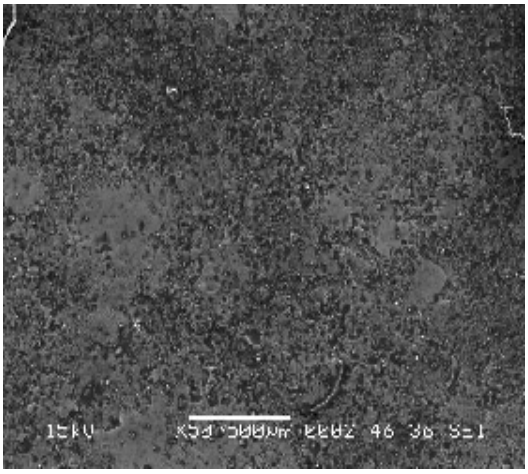
Akım : 22A

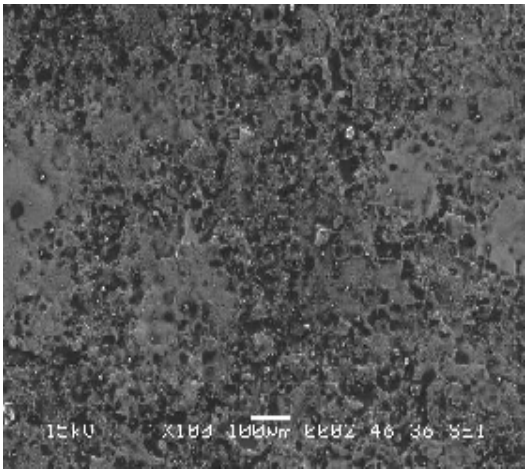
İşleme zamanı : 100 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su + 10 g/l SiC

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.8 De-iyonize su + 10 g/l SiC, 22 A şartlarında işlenen numunenin 100 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





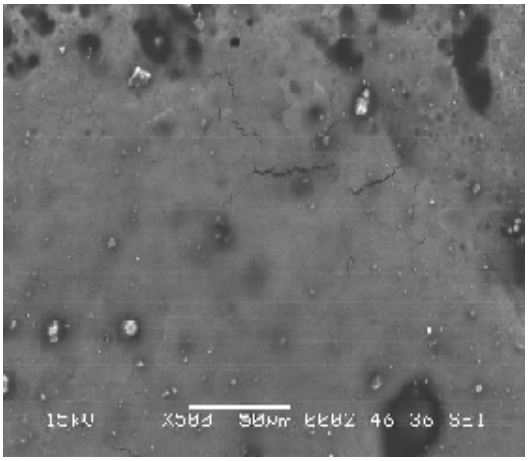
Numune Adı : IF 03

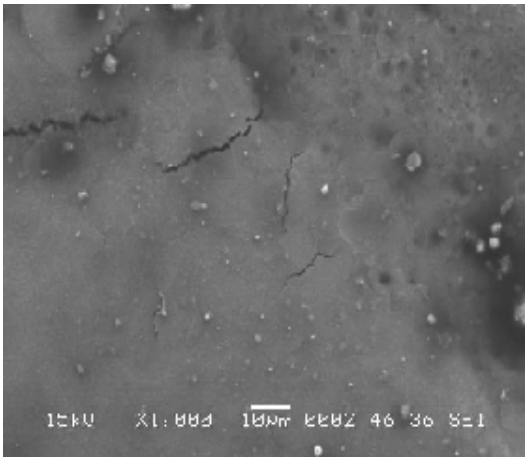
Akım : 22A

İşleme zamanı : 400 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su + 10 g/l SiC

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 03

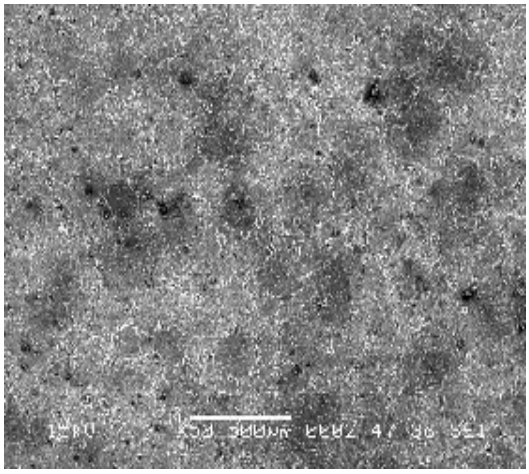
Akım : 22A

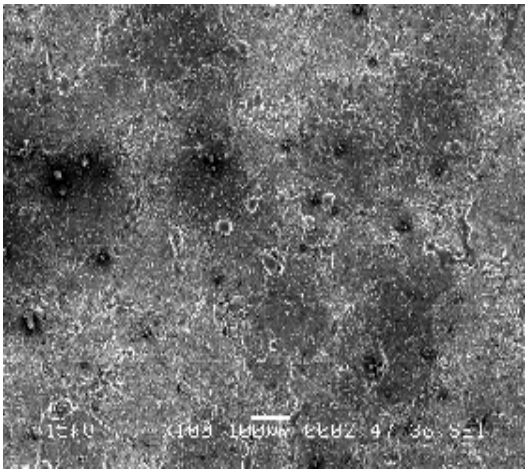
İşleme zamanı : 400 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su + 10 g/l SiC

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.9 De-iyonize su + 10 g/l SiC, 22 A şartlarında işlenen numunenin 400 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





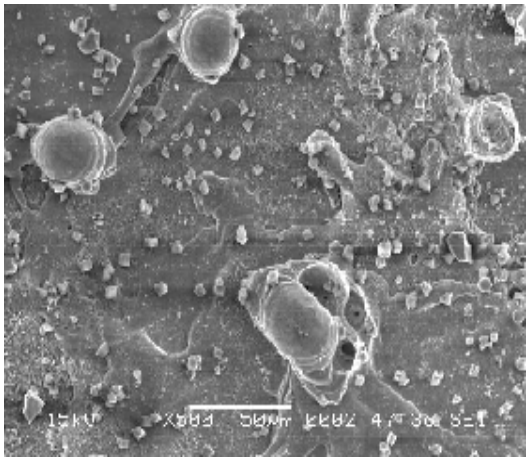
Numune Adı : IF 04

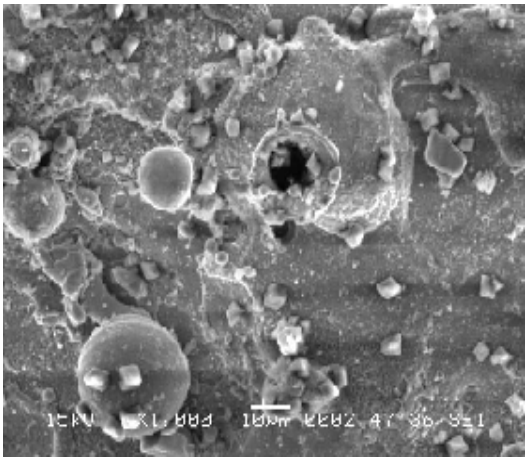
Akım : 22A

İşleme zamanı : 25 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su + 15 g/l SiC

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 04

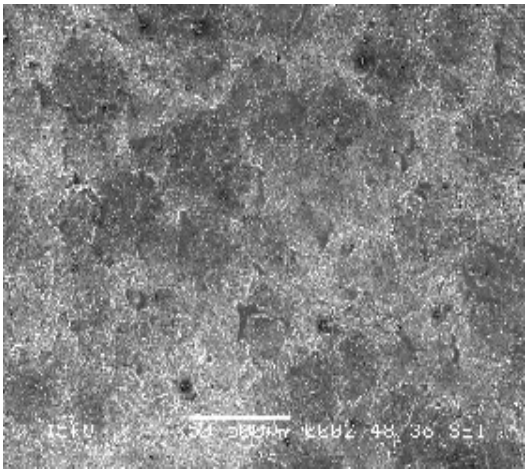
Akım : 22A

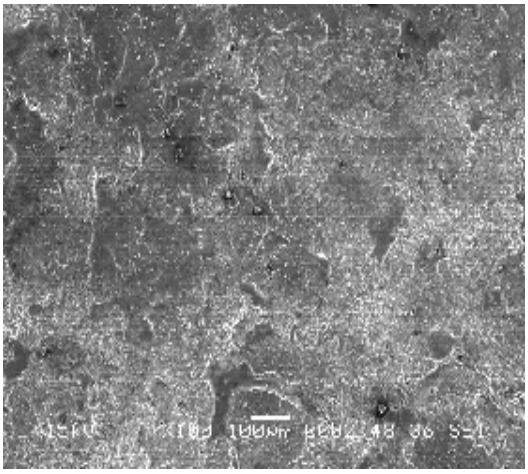
İşleme zamanı : 25 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su + 15 g/l SiC

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.10 De-iyonize su + 15 g/l SiC, 22 A şartlarında işlenen numunenin 25 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





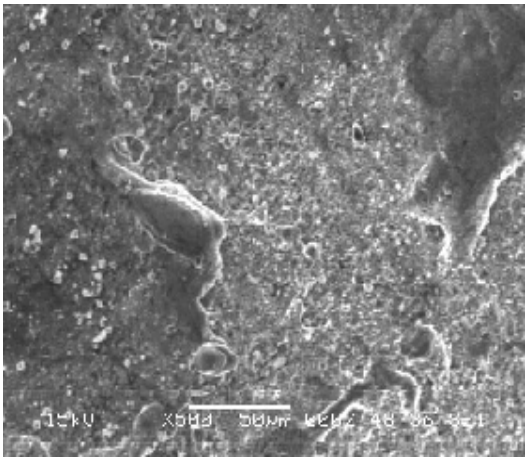
Numune Adı : IF 04

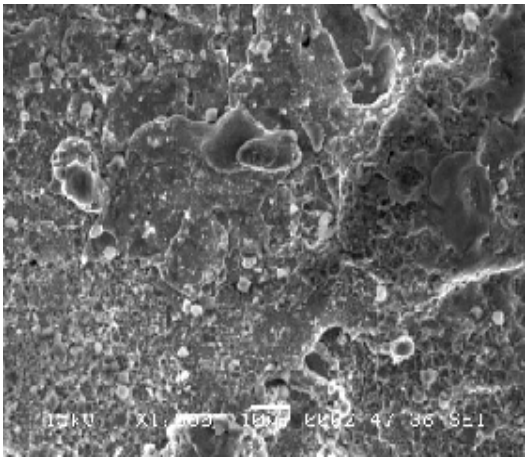
Akım : 22A

İşleme zamanı : 100 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su + 15 g/l SiC

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 04

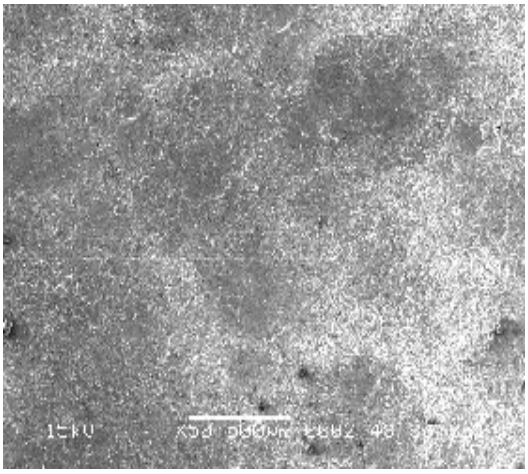
Akım : 22A

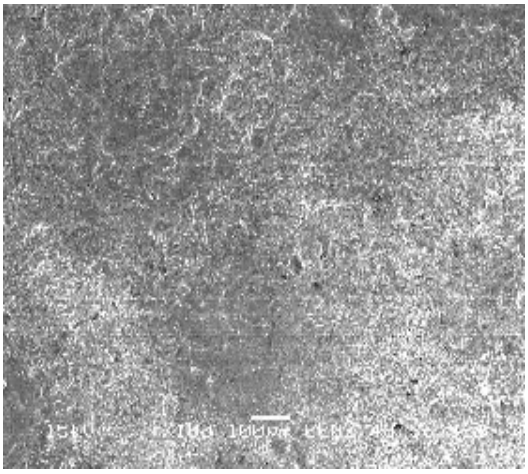
İşleme zamanı : 100 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su + 15 g/l SiC

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.11 De-iyonize su + 15 g/l SiC, 22 A şartlarında işlenen numunenin 100 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





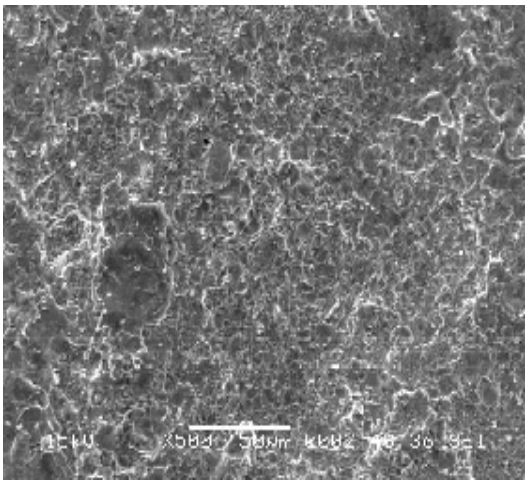
Numune Adı : IF 04

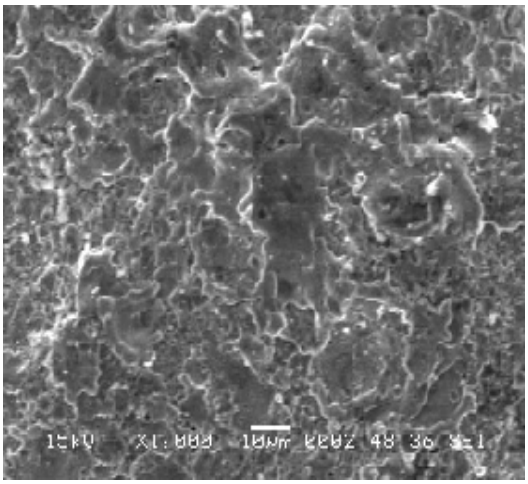
Akım : 22A

İşleme zamanı : 400 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su + 15 g/l SiC

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 04

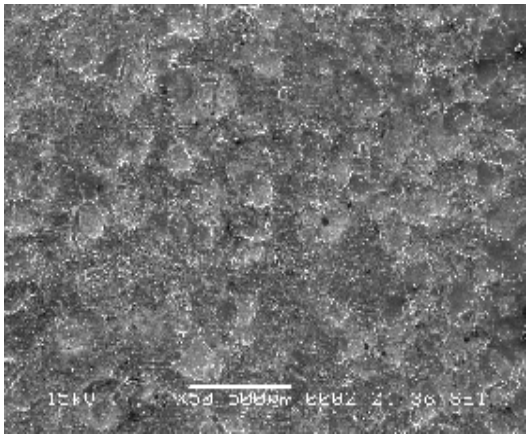
Akım : 22A

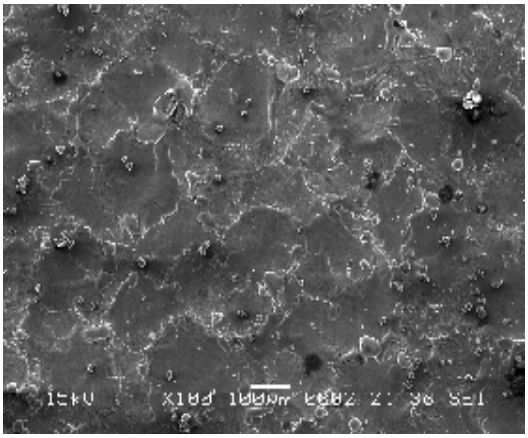
İşleme zamanı : 400 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su + 15 g/l SiC

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.12 De-iyonize su + 15 g/l SiC, 22 A şartlarında işlenen numunenin 400 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





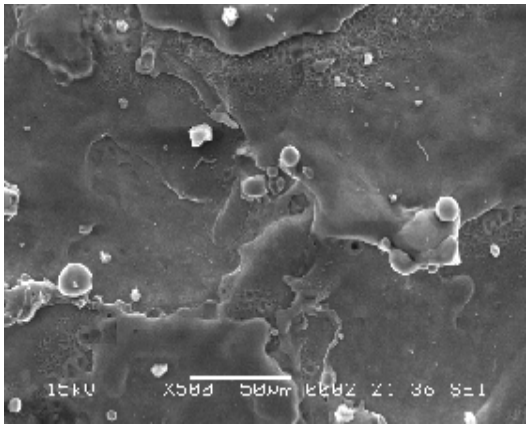
Numune Adı : IF 05

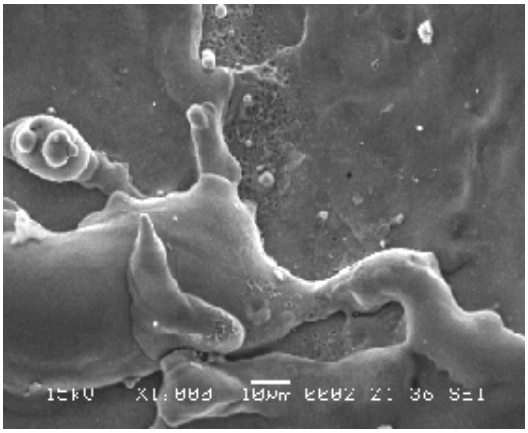
Akım : 22A

İşleme zamanı : 25 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 05

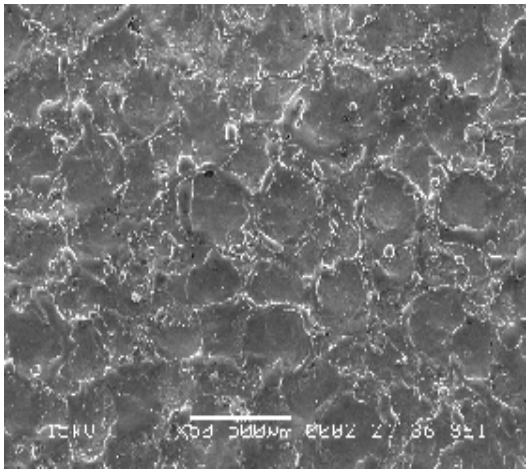
Akım : 22A

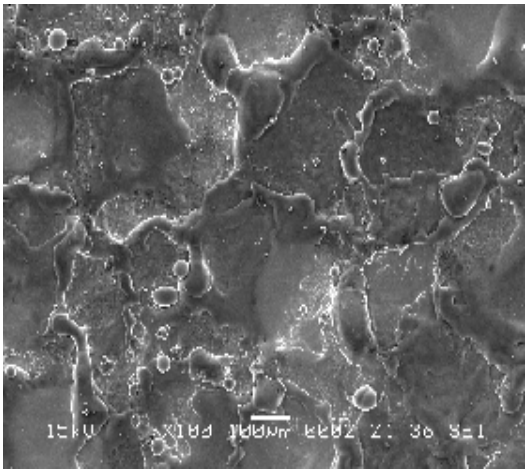
İşleme zamanı : 25 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.13 Gazyağı, 22 A şartlarında işlenen numunenin 25 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





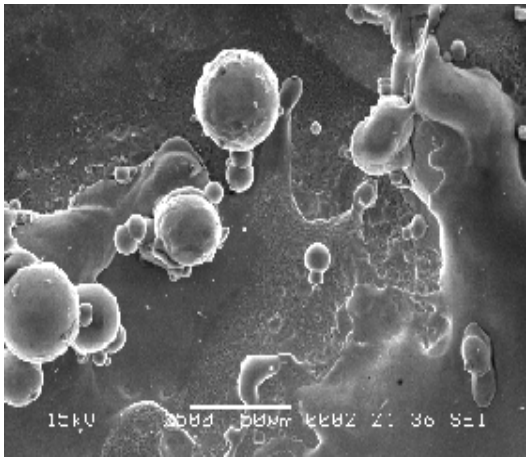
Numune Adı : IF 05

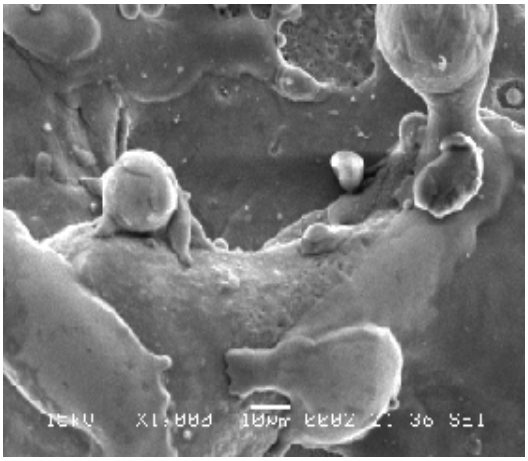
Akım : 22A

İşleme zamanı : 100 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 05

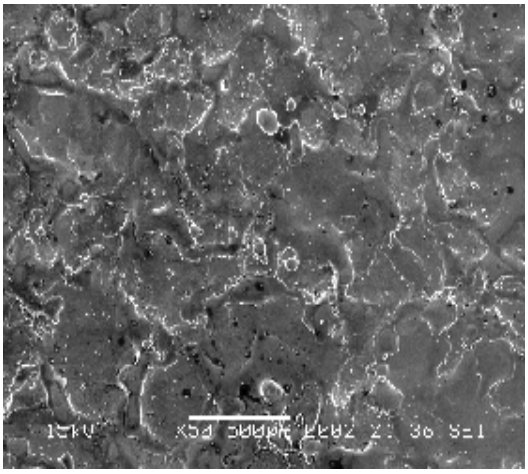
Akım : 22A

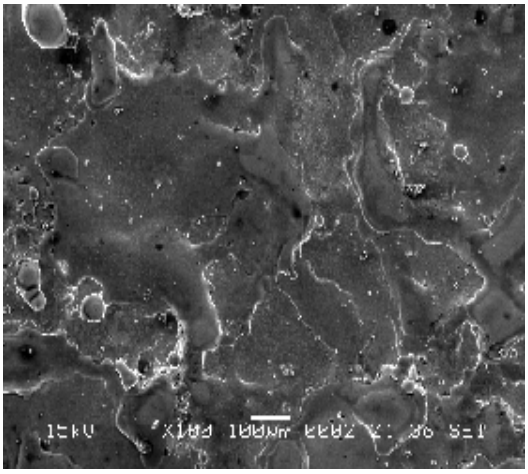
İşleme zamanı : 100 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.14 Gazyağı, 22 A şartlarında işlenen numunenin 100 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





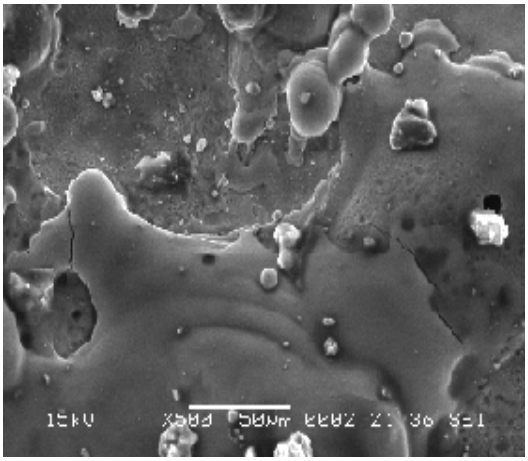
Numune Adı : IF 05

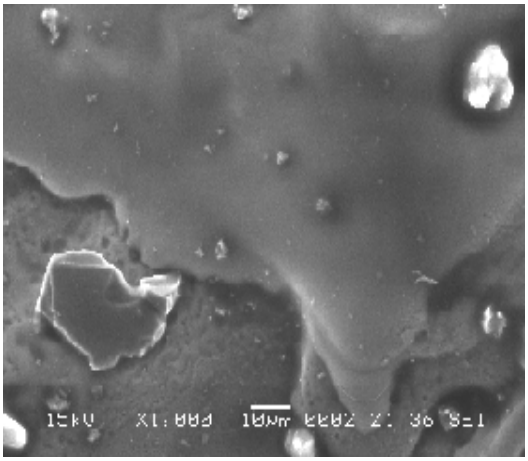
Akım : 22A

İşleme zamanı : 400 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 05

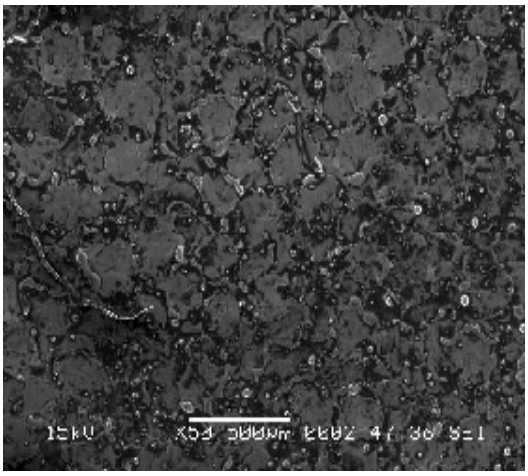
Akım : 22A

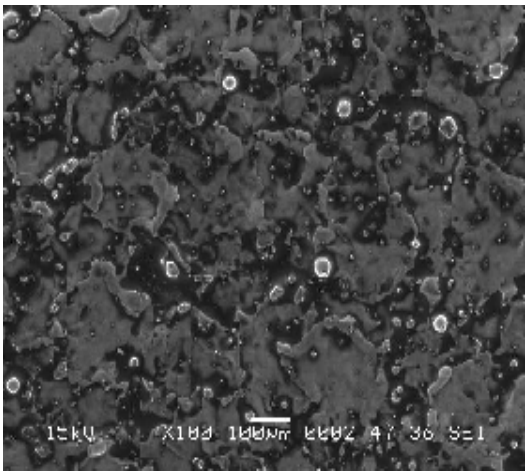
İşleme zamanı : 400 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.15 Gazyağı, 22 A şartlarında işlenen numunenin 400 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





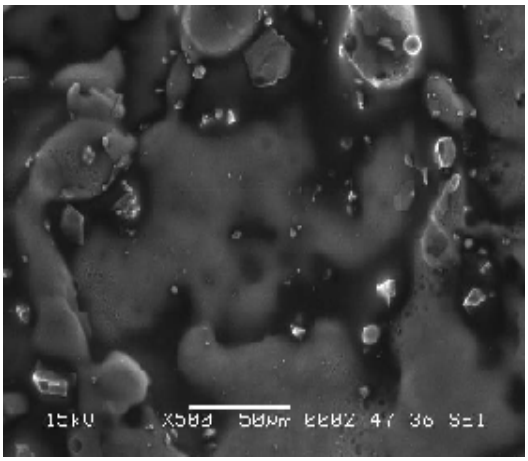
Numune Adı : IF 06

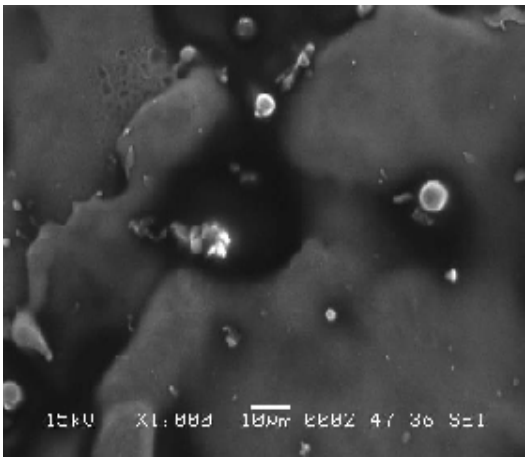
Akım : 22A

İşleme zamanı : 25 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı + 5 g/l SiC

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 06

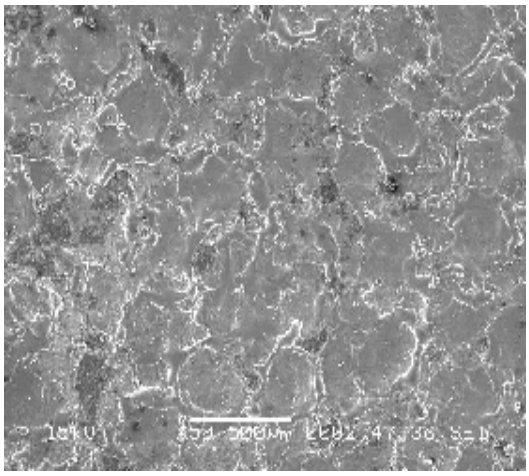
Akım : 22A

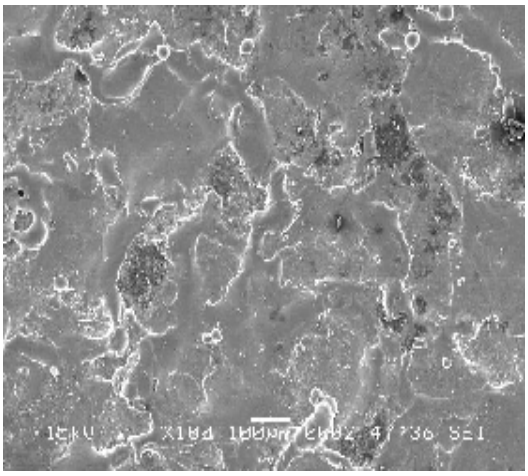
İşleme zamanı : 25 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı + 5 g/l SiC

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.16 Gazyağı + 5 g/l SiC, 22 A şartlarında işlenen numunenin 25 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





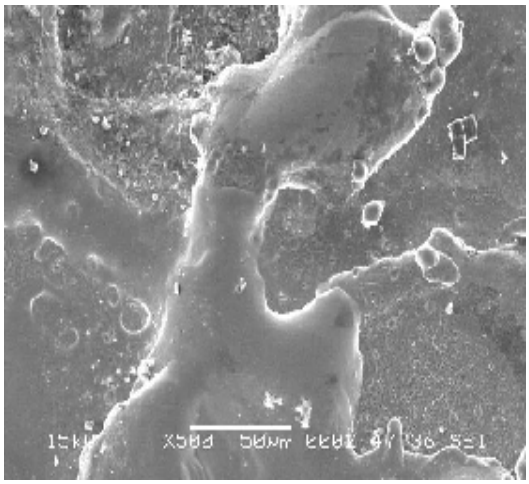
Numune Adı : IF 06

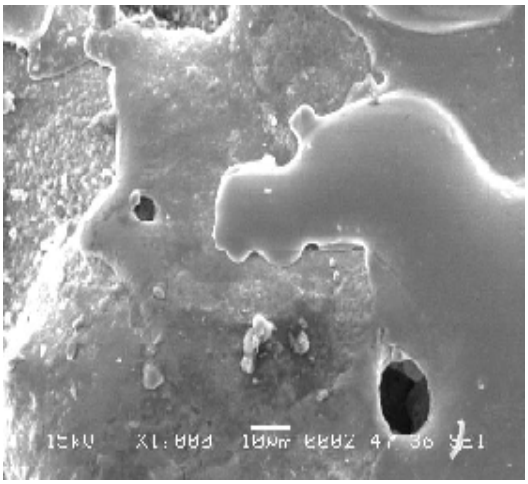
Akım : 22A

İşleme zamanı : 100 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı + 5 g/l SiC

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 06

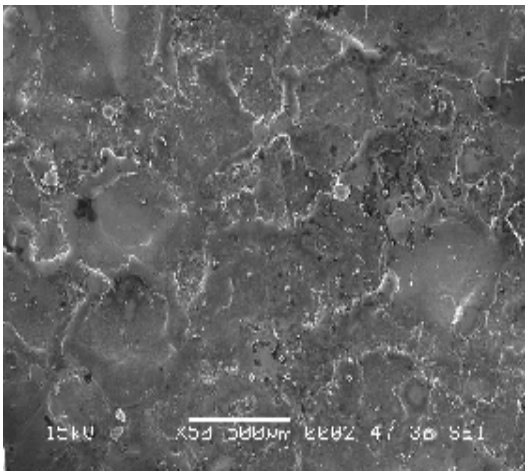
Akım : 22A

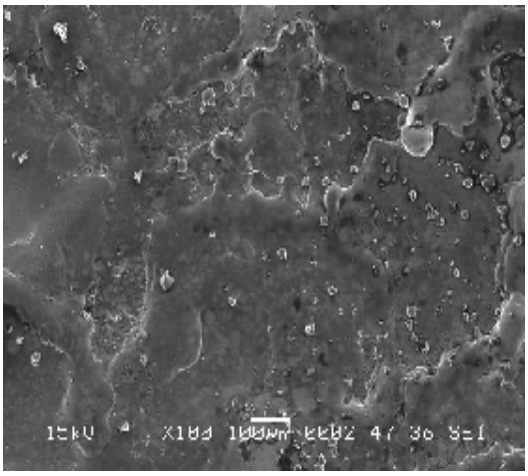
İşleme zamanı : 100 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı + 5 g/l SiC

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.17 Gazyağı + 5 g/l SiC, 22 A şartlarında işlenen numunenin 100 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





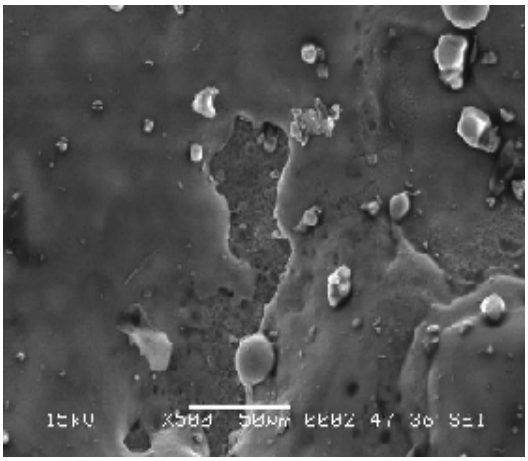
Numune Adı : IF 06

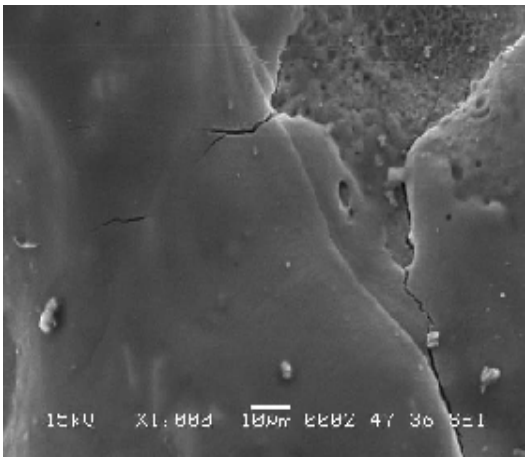
Akım : 22A

İşleme zamanı : 400 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı + 5 g/l SiC

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 06

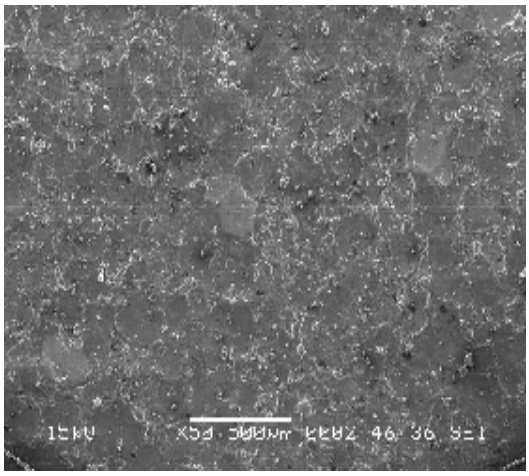
Akım : 22A

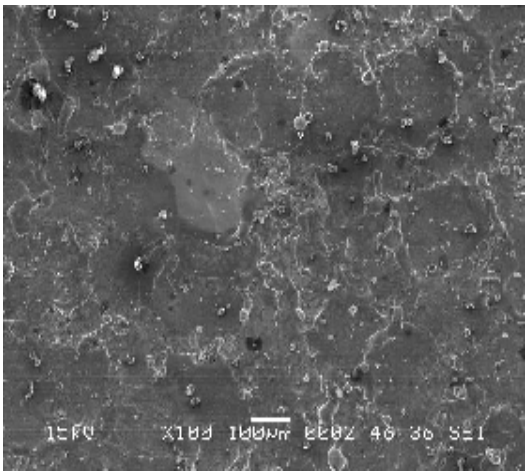
İşleme zamanı : 400 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı + 5 g/l SiC

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.18 Gazyağı + 5 g/l SiC, 22 A şartlarında işlenen numunenin 400 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





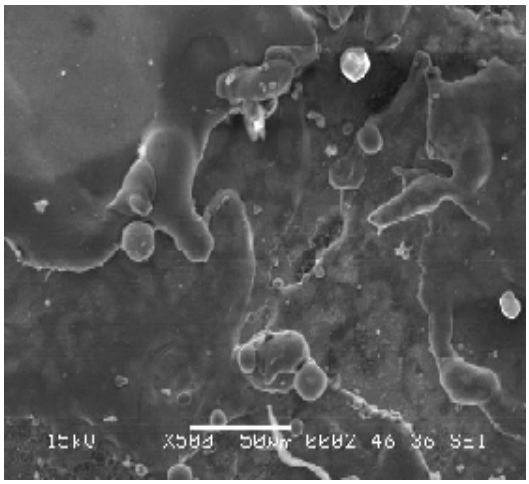
Numune Adı : IF 07

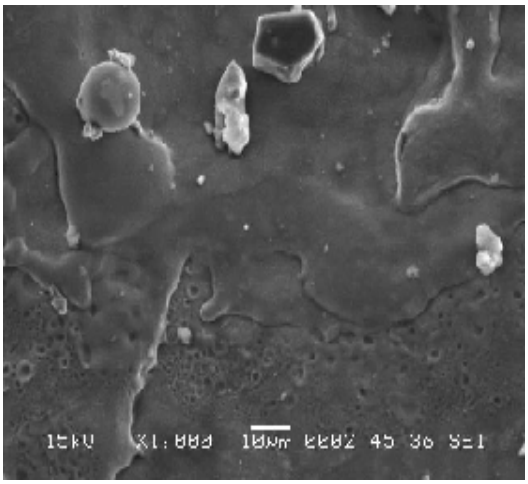
Akım : 22A

İşleme zamanı : 25 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı + 10 g/l SiC

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 07

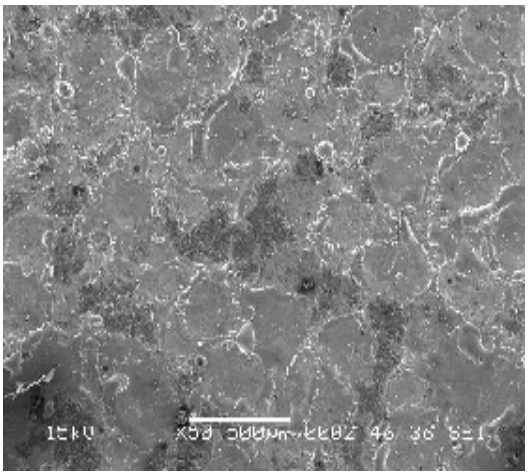
Akım : 22A

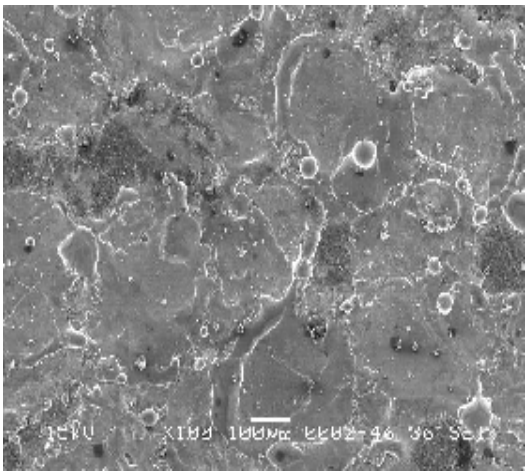
İşleme zamanı : 25 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı + 10 g/l SiC

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.19 Gazyağı + 10 g/l SiC, 22 A şartlarında işlenen numunenin 25 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





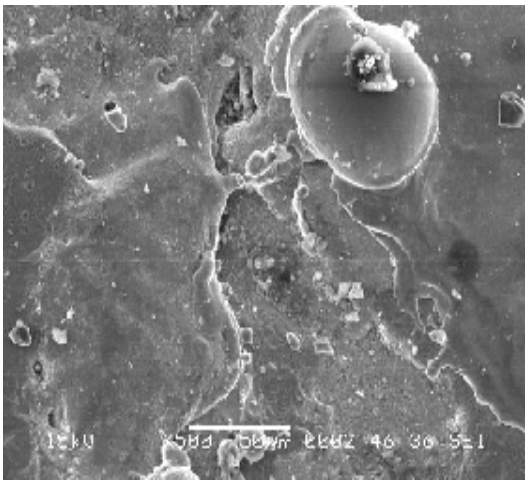
Numune Adı : IF 07

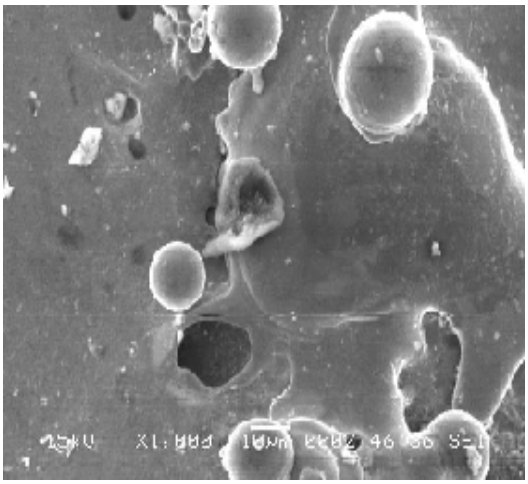
Akım : 22A

İşleme zamanı : 100 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı + 10 g/l SiC

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 07

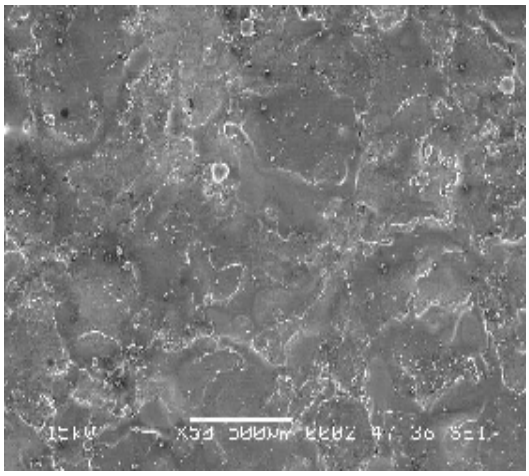
Akım : 22A

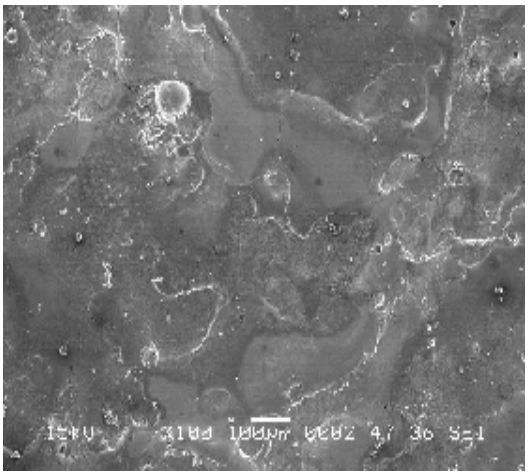
İşleme zamanı : 100 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı + 10 g/l SiC

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.20 Gazyağı + 10 g/l SiC, 22 A şartlarında işlenen numunenin 100 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





Numune Adı : IF 07

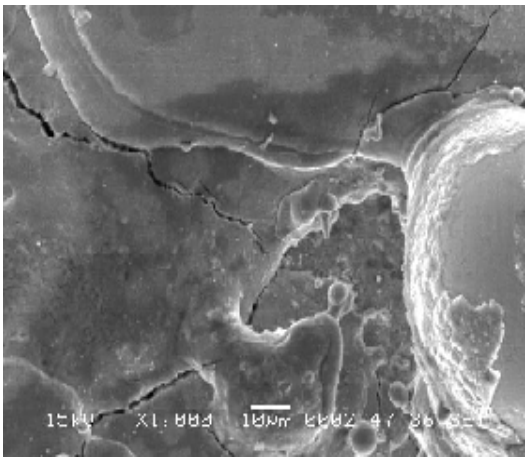
Akım : 22A

İşleme zamanı : 400 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı + 10 g/l SiC

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 07

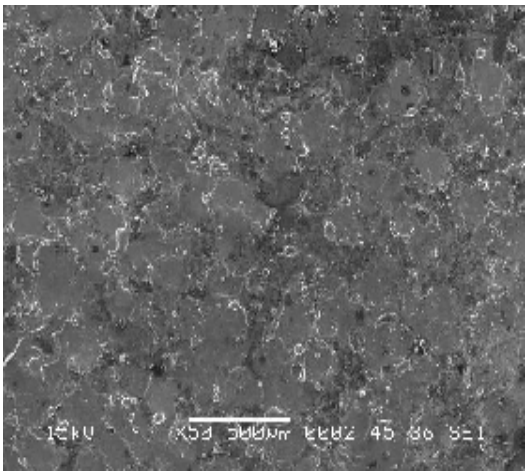
Akım : 22A

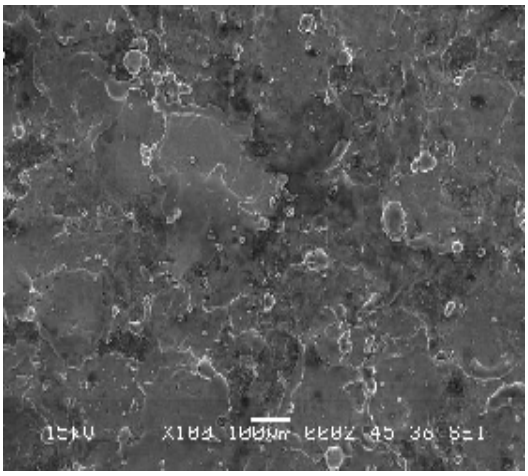
İşleme zamanı : 400 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı + 10 g/l SiC

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.21 Gazyağı + 10 g/l SiC, 22 A şartlarında işlenen numunenin 400 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





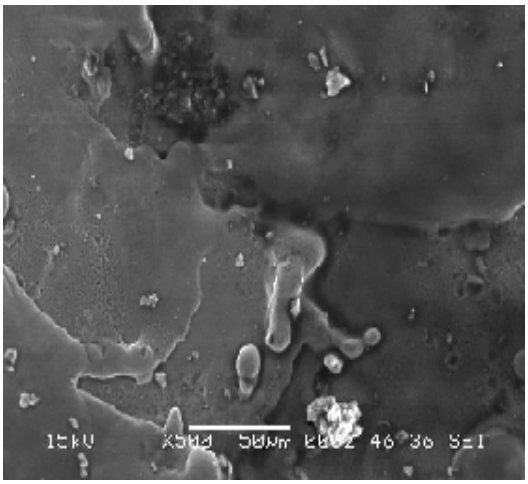
Numune Adı : IF 08

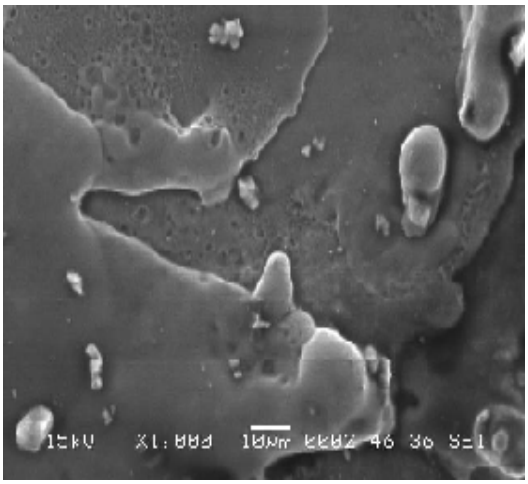
Akım : 22A

İşleme zamanı : 25 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı + 15 g/l SiC

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 08

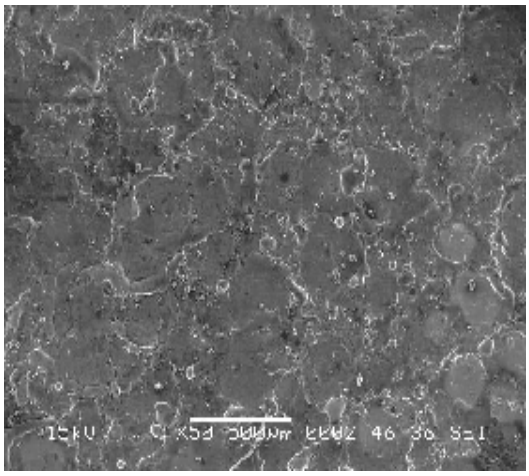
Akım : 22A

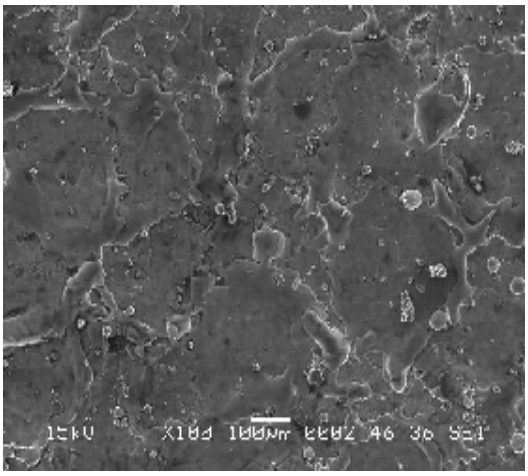
İşleme zamanı : 25 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı + 15 g/l SiC

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.22 Gazyağı + 15 g/l SiC, 22 A şartlarında işlenen numunenin 25 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





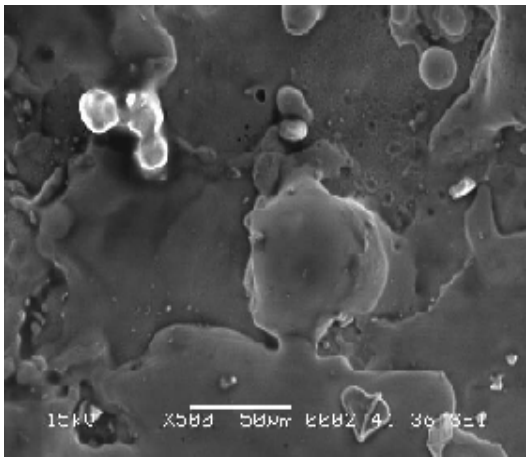
Numune Adı : IF 08

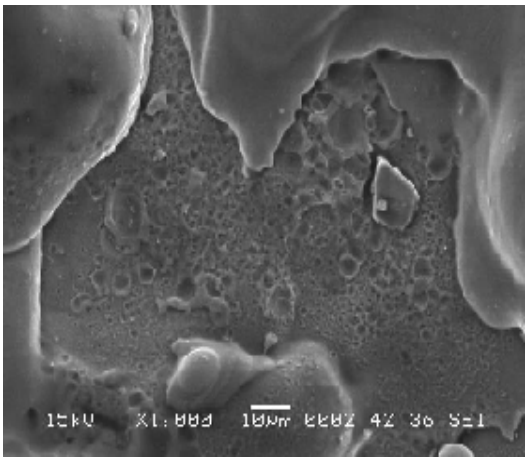
Akım : 22A

İşleme zamanı : 100 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı + 15 g/l SiC

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 08

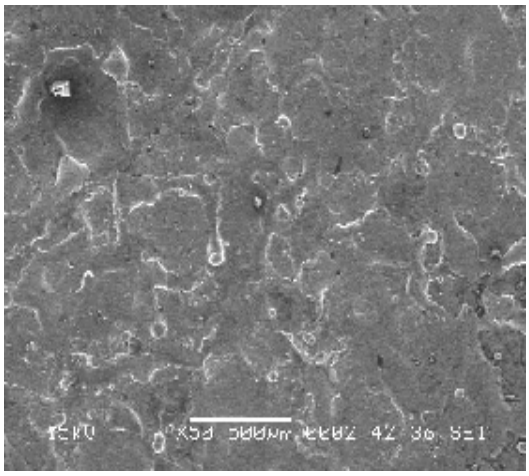
Akım : 22A

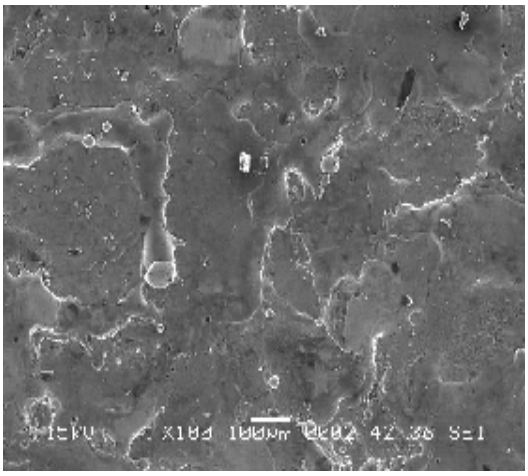
İşleme zamanı : 100 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı + 15 g/l SiC

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.23 Gazyağı + 15 g/l SiC, 22 A şartlarında işlenen numunenin 100 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





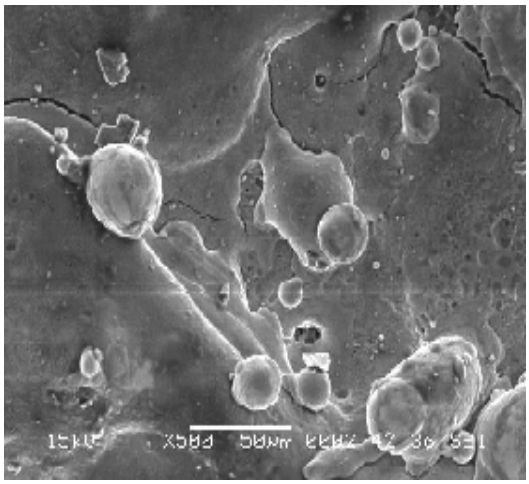
Numune Adı : IF 08

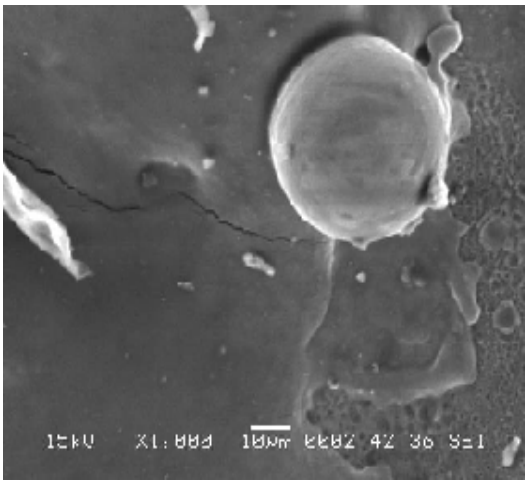
Akım : 22A

İşleme zamanı : 400 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı + 15 g/l SiC

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 08

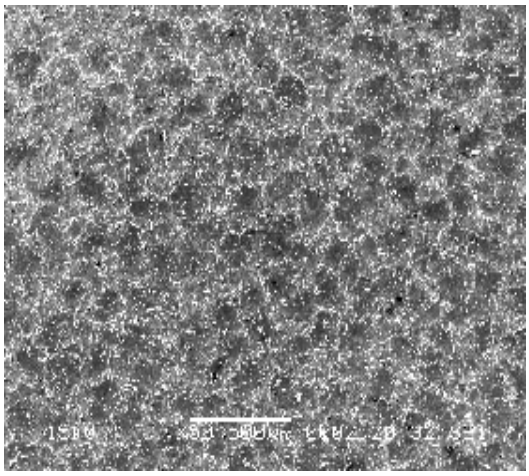
Akım : 22A

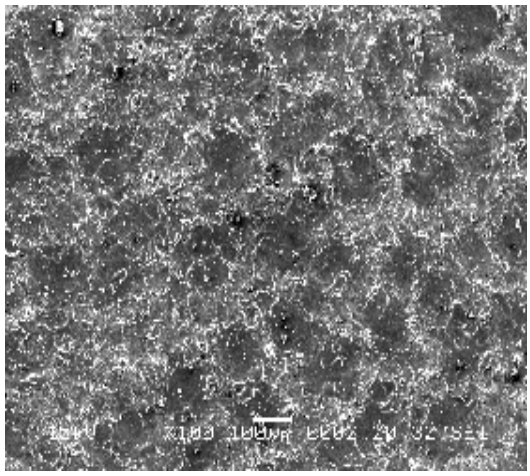
İşleme zamanı : 400 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı + 15 g/l SiC

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.24 Gazyağı + 15 g/l SiC, 22 A şartlarında işlenen numunenin 400 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





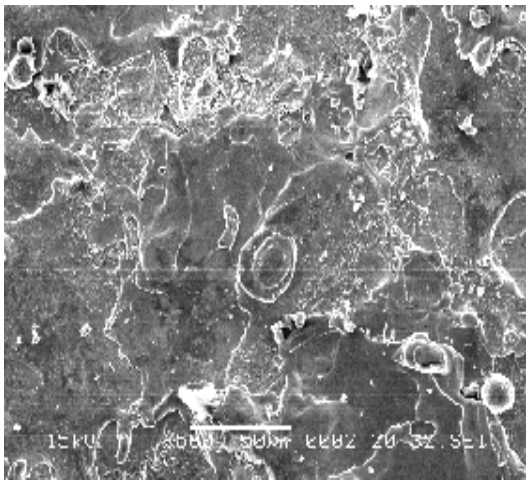
Numune Adı : IF 09

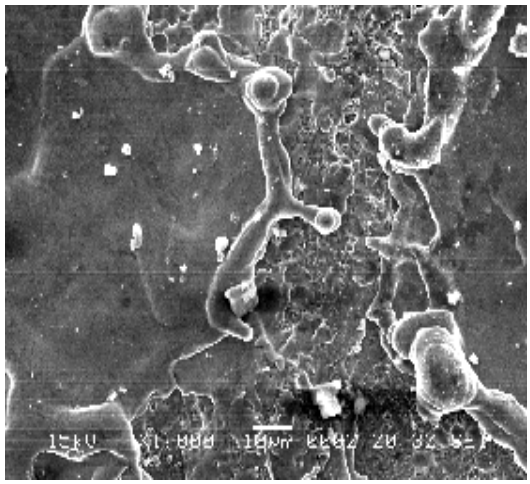
Akım : 14A

İşleme zamanı : 25 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 09

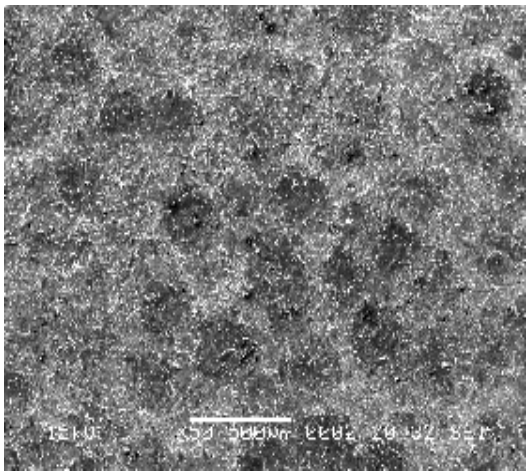
Akım : 14A

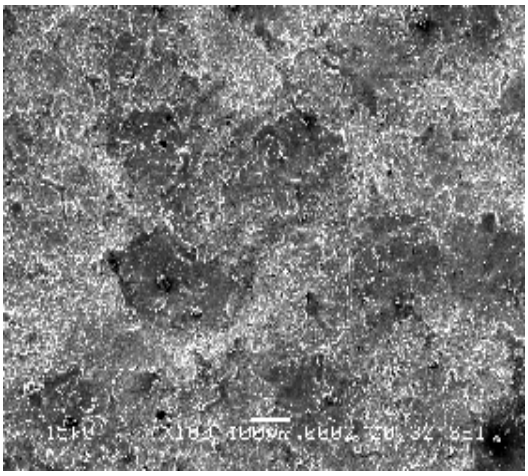
İşleme zamanı : 25 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.25 De-iyonize su, 14 A şartlarında işlenen numunenin 25 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





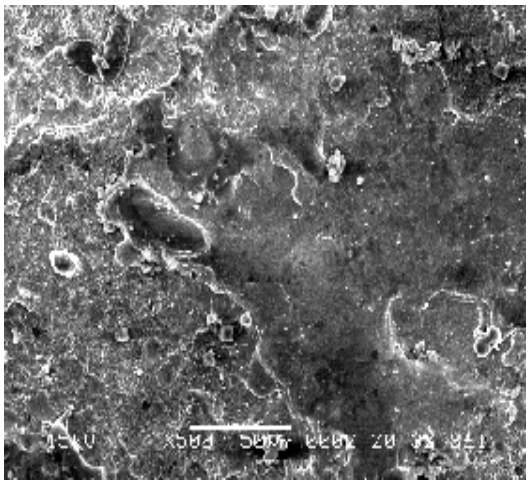
Numune Adı : IF 09

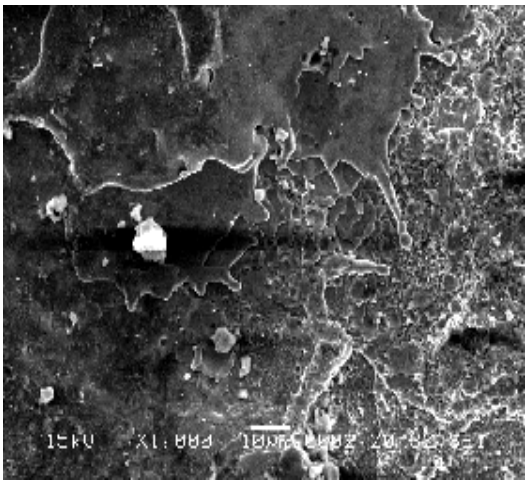
Akım : 14A

İşleme zamanı : 100 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 09

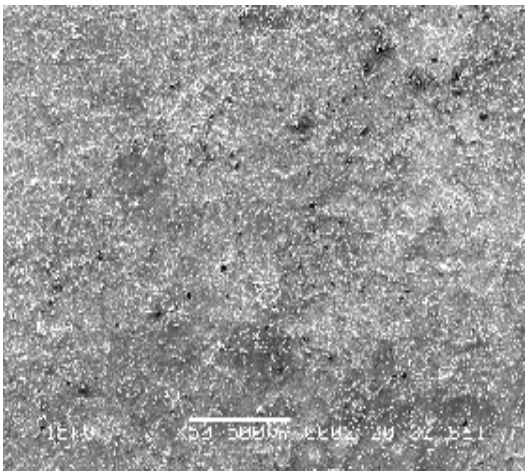
Akım : 14A

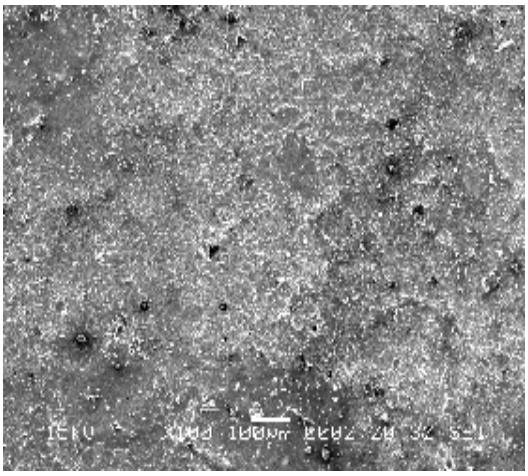
İşleme zamanı : 100 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.26 De-iyonize su, 14 A şartlarında işlenen numunenin 100 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





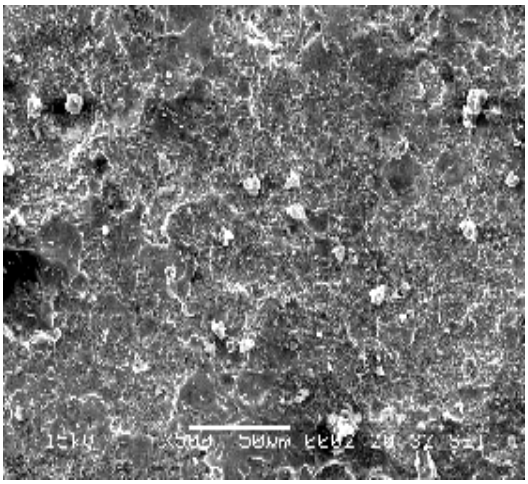
Numune Adı : IF 09

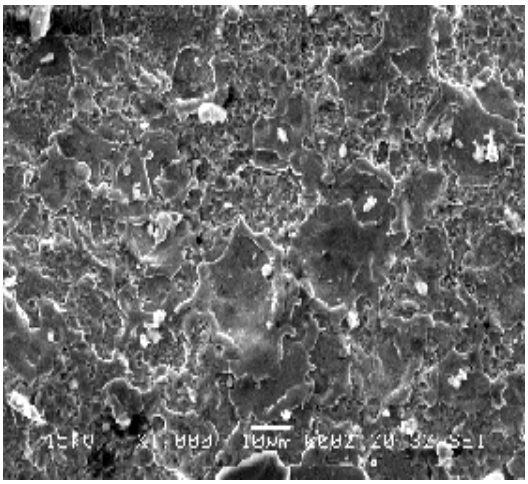
Akım : 14A

İşleme zamanı : 400 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 09

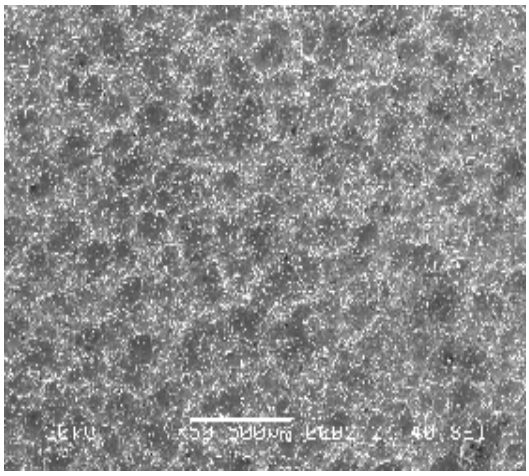
Akım : 14A

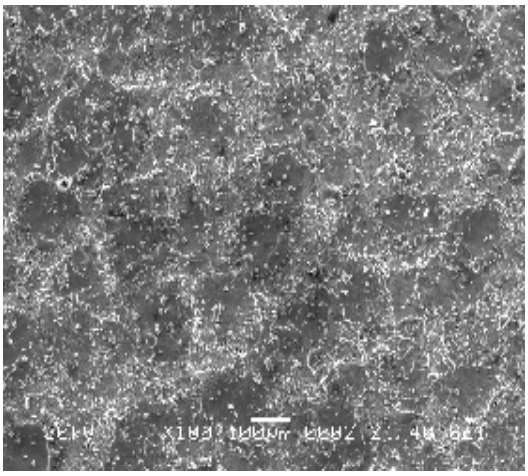
İşleme zamanı : 400 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.27 De-iyonize su, 14 A şartlarında işlenen numunenin 400 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





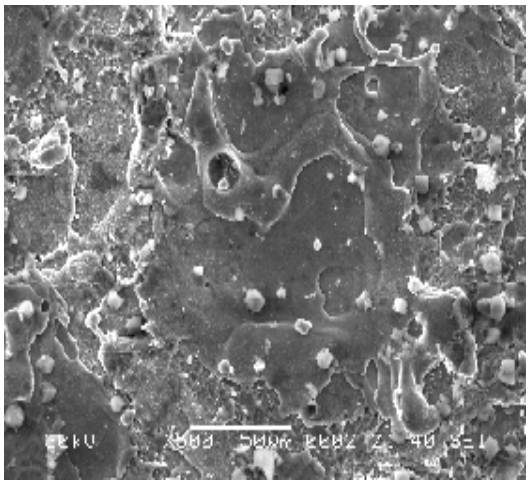
Numune Adı : IF 10

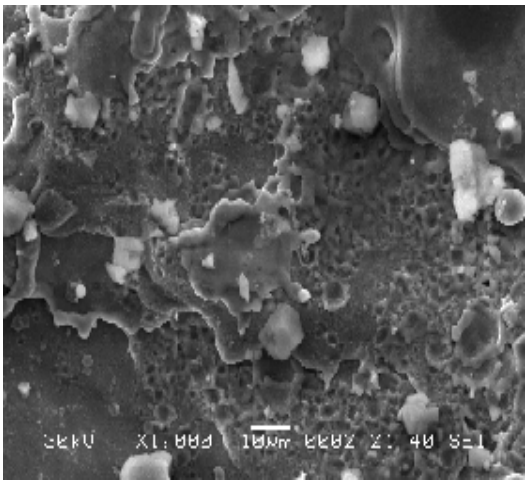
Akım : 14A

İşleme zamanı : 25 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su + 5 g/l SiC

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 10

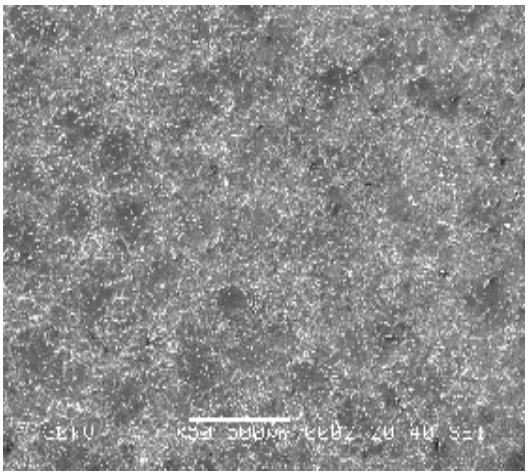
Akım : 14A

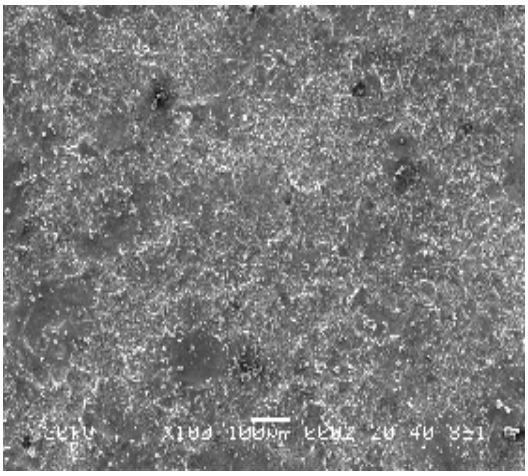
İşleme zamanı : 25 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su + 5 g/l SiC

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.28 De-iyonize su + 5 g/l SiC, 14 A şartlarında işlenen numunenin 25 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





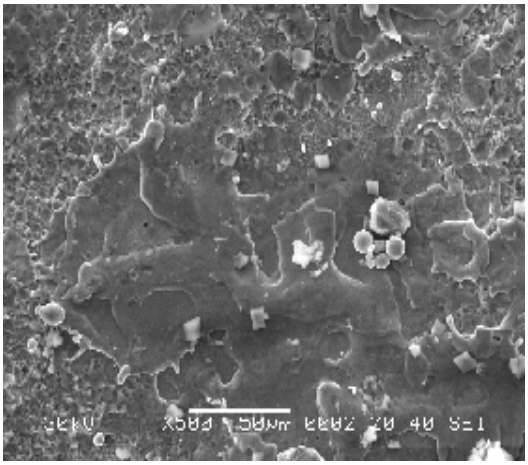
Numune Adı : IF 10

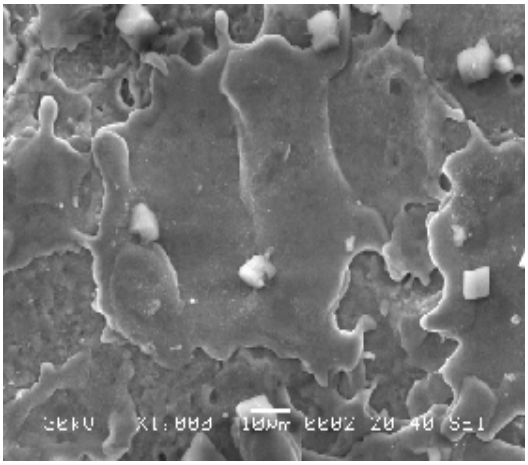
Akım : 14A

İşleme zamanı : 100 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su + 5 g/l SiC

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 10

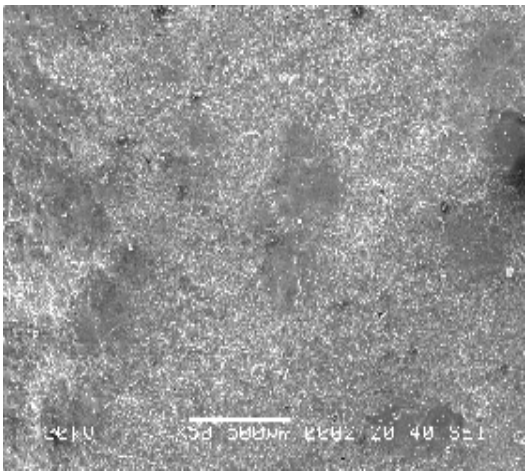
Akım : 14A

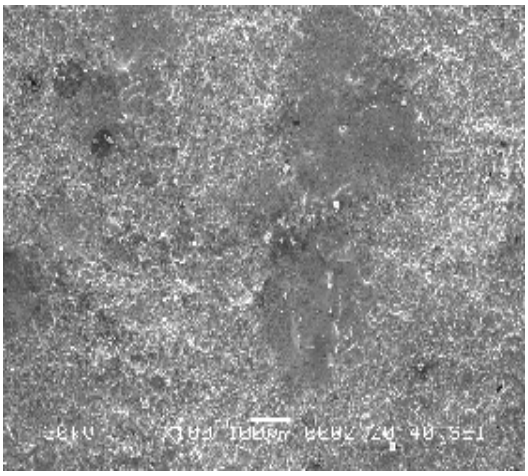
İşleme zamanı : 100 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su + 5 g/l SiC

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.29 De-iyonize su + 5 g/l SiC, 14 A şartlarında işlenen numunenin 100 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





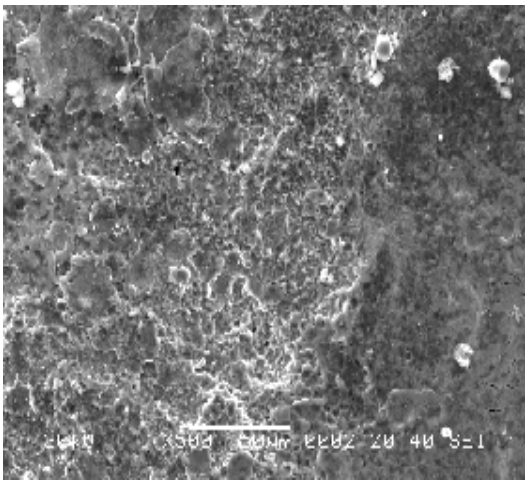
Numune Adı : IF 10

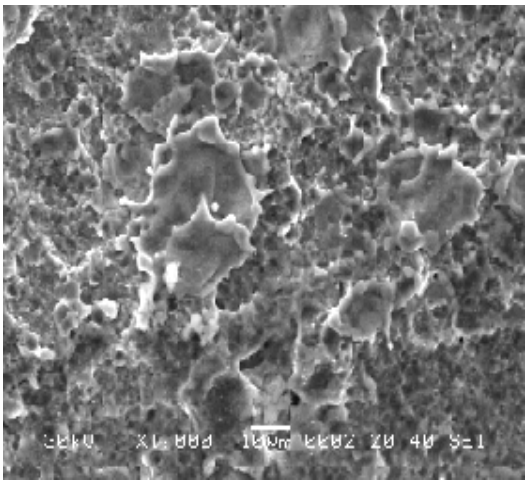
Akım : 14A

İşleme zamanı : 400 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su + 5 g/l SiC

X 50 büyütme X 100 büyütme





Numune Adı : IF 10

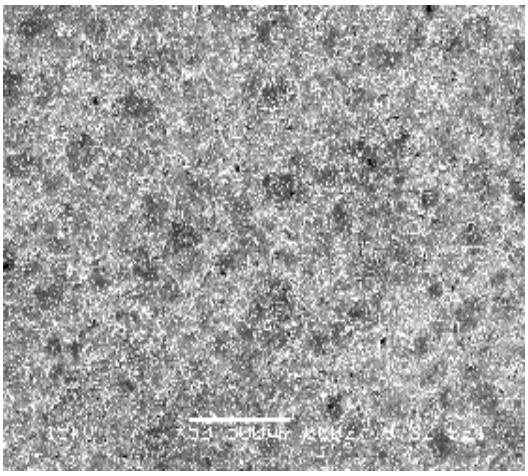
Akım : 14A

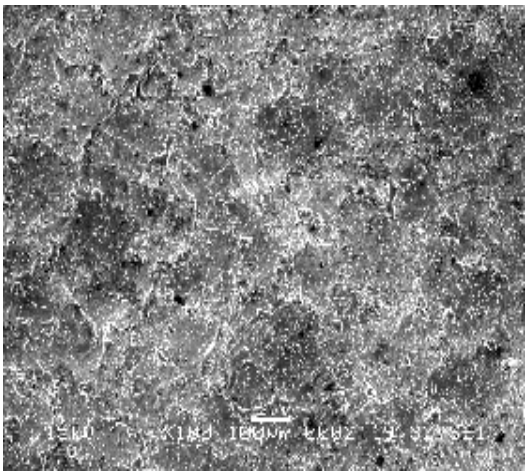
İşleme zamanı : 400 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su + 5 g/l SiC

X 500 büyütme X 1000 büyütme

Şekil A.30 De-iyonize su + 5 g/l SiC, 14 A şartlarında işlenen numunenin 400 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





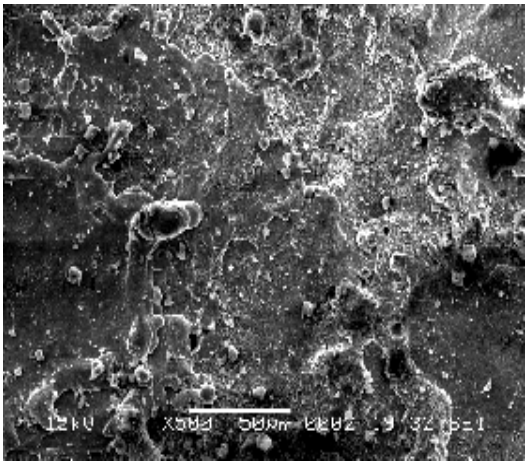
Numune Adı : IF 11

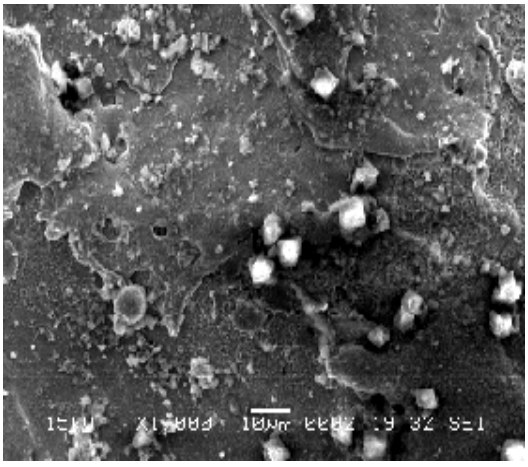
Akım : 14A

İşleme zamanı : 25 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su + 10 g/l SiC

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 11

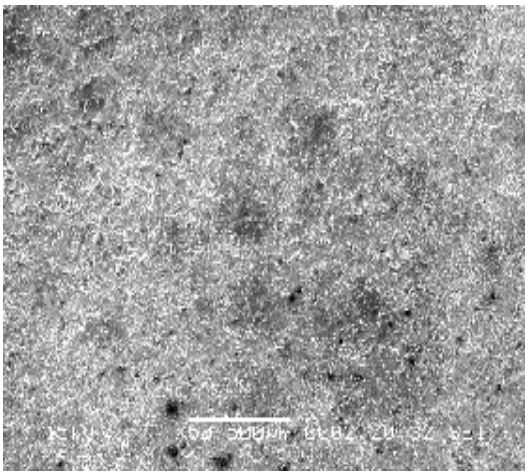
Akım : 14A

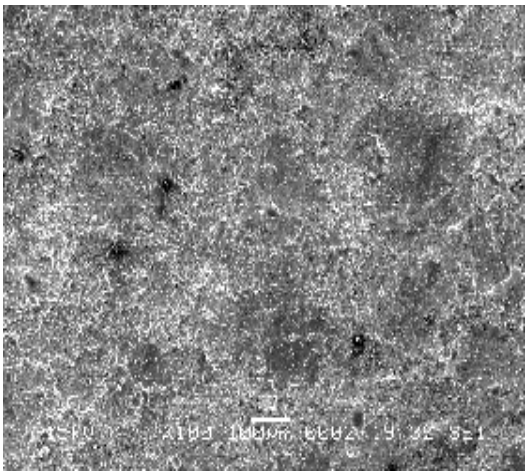
İşleme zamanı : 25 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su + 10 g/l SiC

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.31 De-iyonize su + 10 g/l SiC, 14 A şartlarında işlenen numunenin 25 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





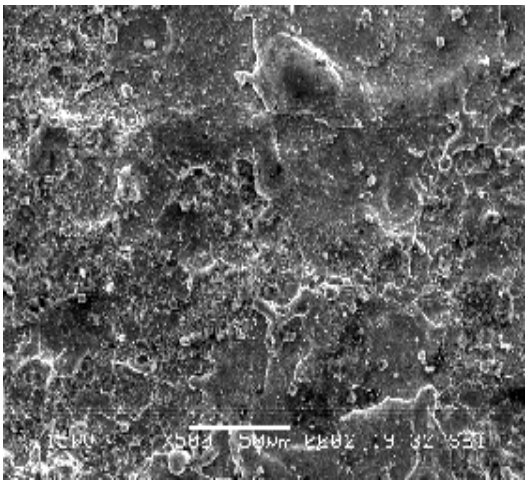
Numune Adı : IF 11

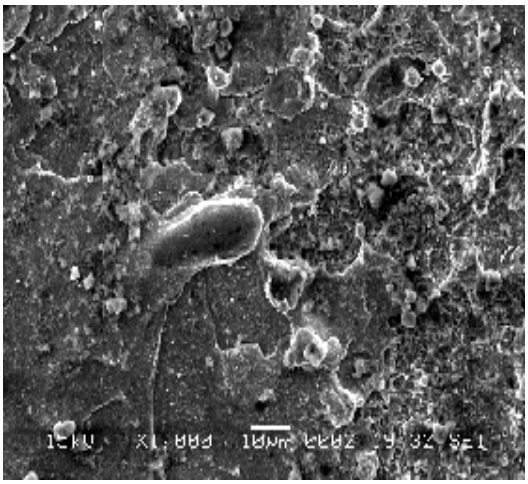
Akım : 14A

İşleme zamanı : 100 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su + 10 g/l SiC

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 11

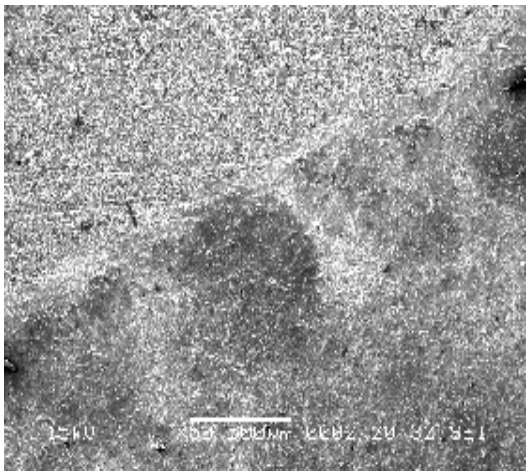
Akım : 14A

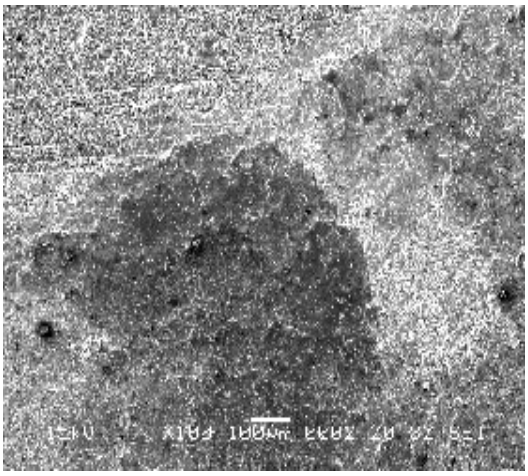
İşleme zamanı : 100 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su + 10 g/l SiC

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.32 De-iyonize su + 10 g/l SiC, 14 A şartlarında işlenen numunenin 100 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





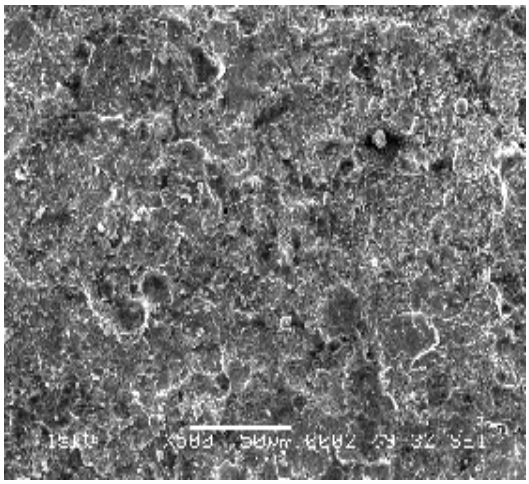
Numune Adı : IF 11

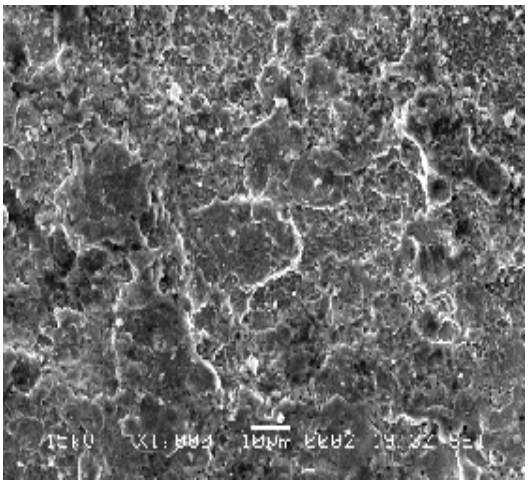
Akım : 14A

İşleme zamanı : 400 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su + 10 g/l SiC

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 11

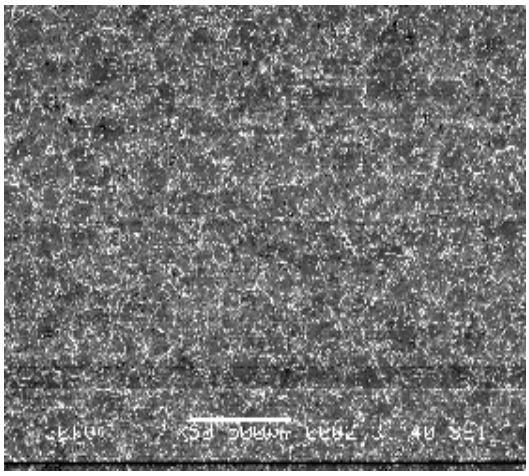
Akım : 14A

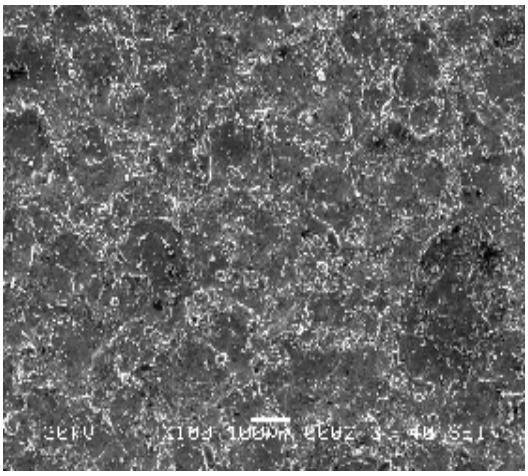
İşleme zamanı : 400 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su + 10 g/l SiC

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.33 De-iyonize su + 10 g/l SiC, 14 A şartlarında işlenen numunenin 400 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





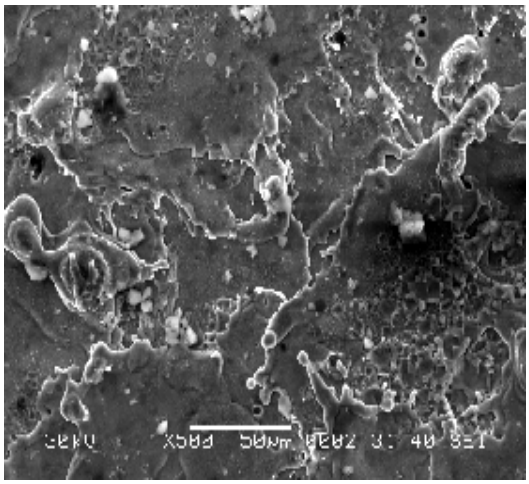
Numune Adı : IF 12

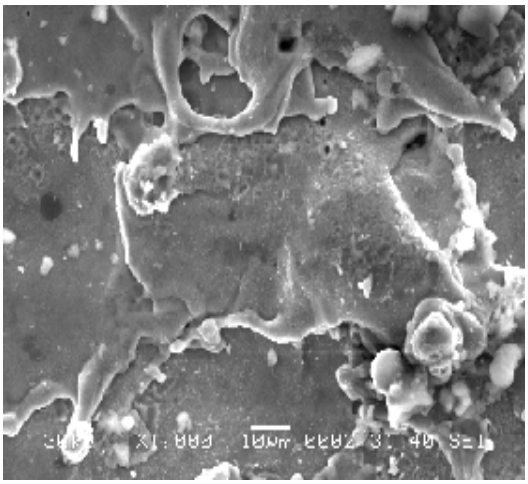
Akım : 14A

İşleme zamanı : 25 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su + 15 g/l SiC

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 12

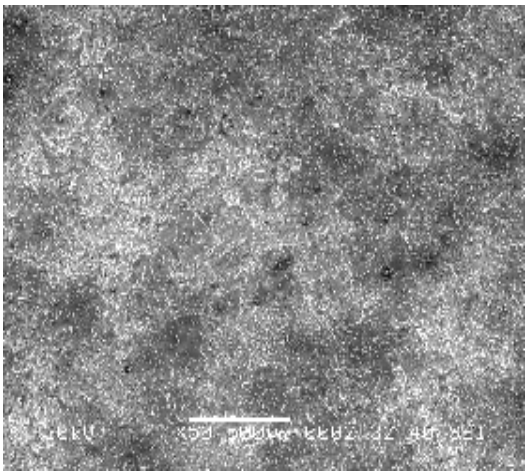
Akım : 14A

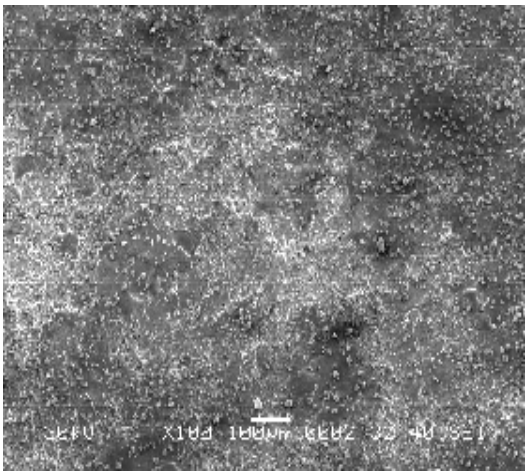
İşleme zamanı : 25 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su + 15 g/l SiC

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.34 De-iyonize su + 15 g/l SiC, 14 A şartlarında işlenen numunenin 25 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





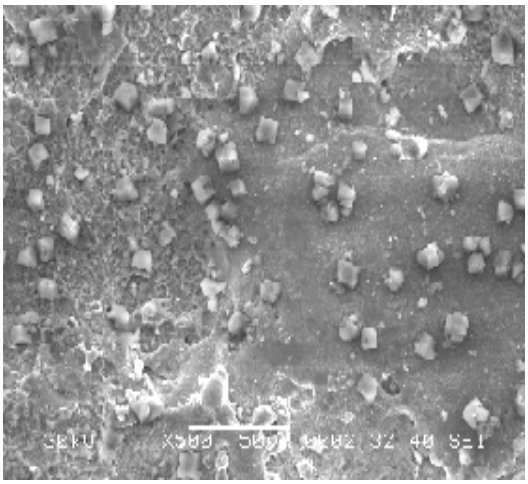
Numune Adı : IF 12

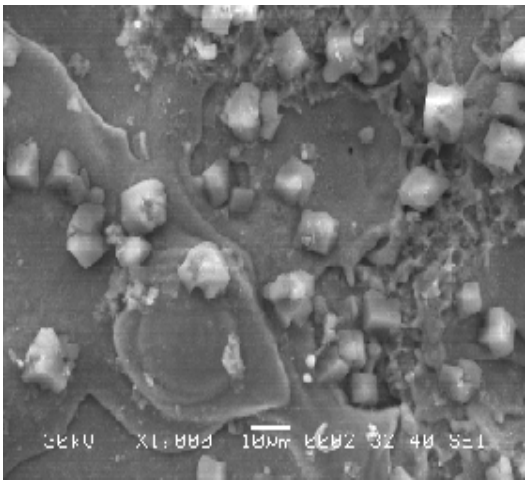
Akım : 14A

İşleme zamanı : 100 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su + 15 g/l SiC

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 12

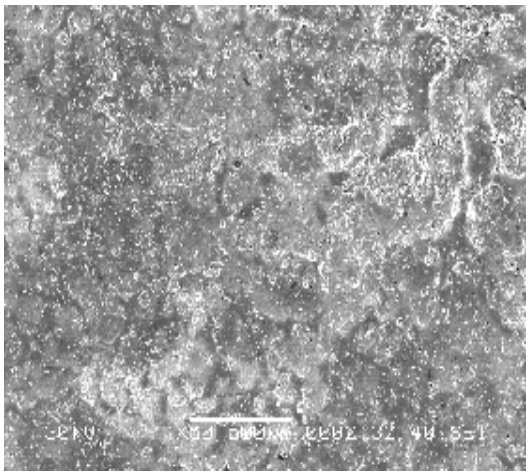
Akım : 14A

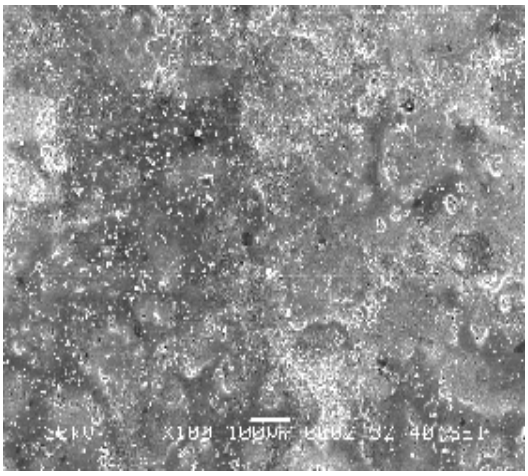
İşleme zamanı : 100 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su + 15 g/l SiC

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.35 De-iyonize su + 15 g/l SiC, 14 A şartlarında işlenen numunenin 100 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





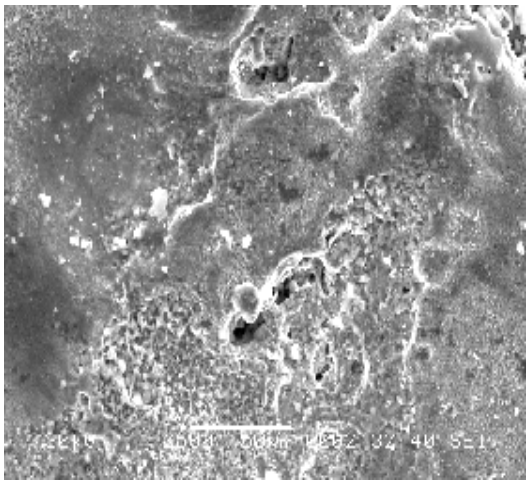
Numune Adı : IF 12

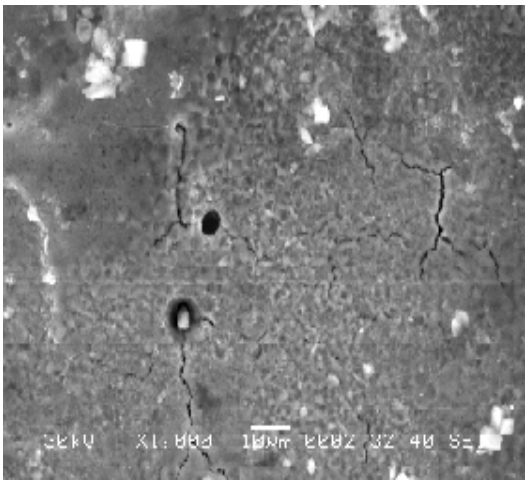
Akım : 14A

İşleme zamanı : 400 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su + 15 g/l SiC

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 12

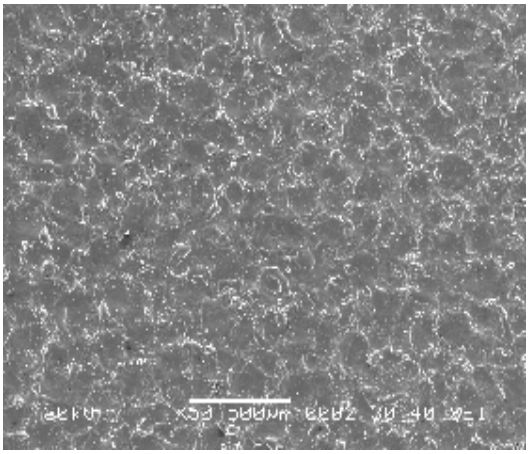
Akım : 14A

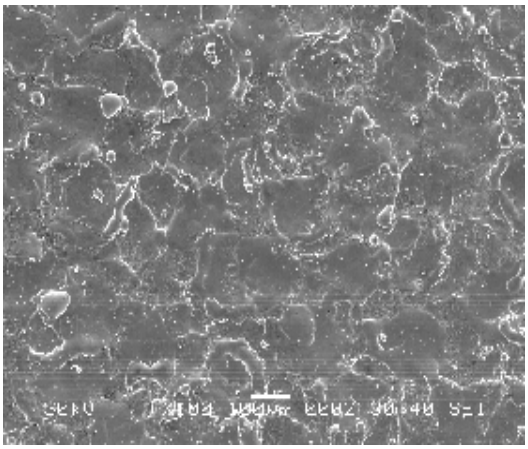
İşleme zamanı : 400 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su + 15 g/l SiC

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.36 De-iyonize su + 15 g/l SiC, 14 A şartlarında işlenen numunenin 400 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





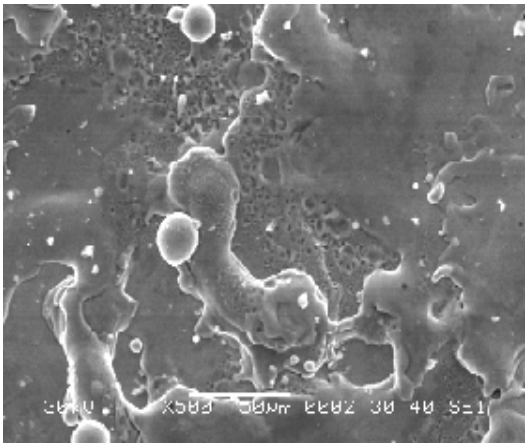
Numune Adı : IF 13

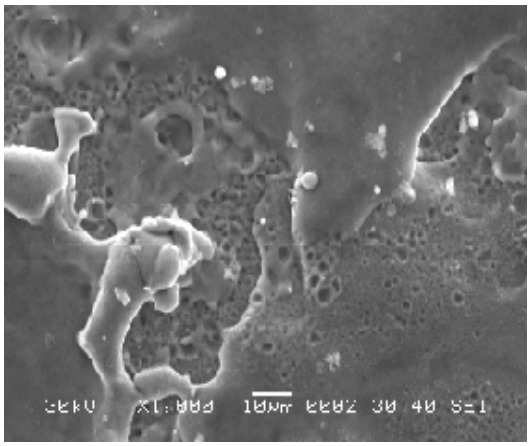
Akım : 14A

İşleme zamanı : 25 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 13

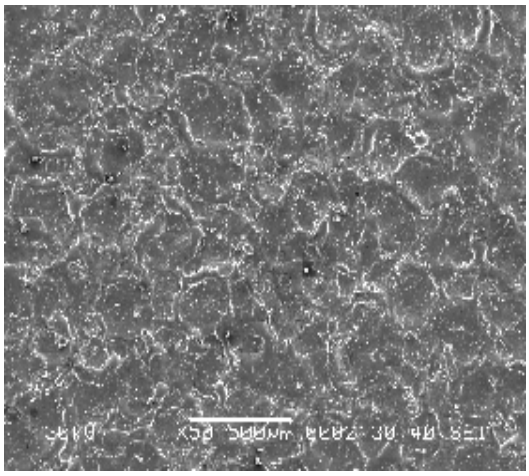
Akım : 14A

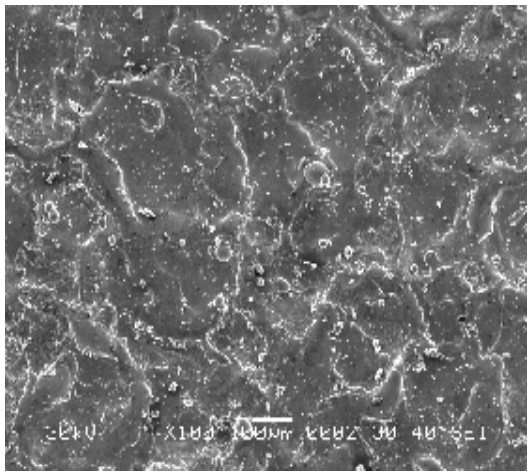
İşleme zamanı : 25 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.37 Gazyağı, 14 A şartlarında işlenen numunenin 25 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





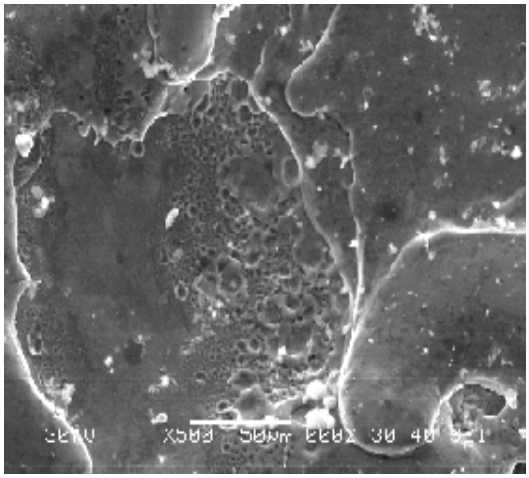
Numune Adı : IF 13

Akım : 14A

İşleme zamanı : 100 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 13

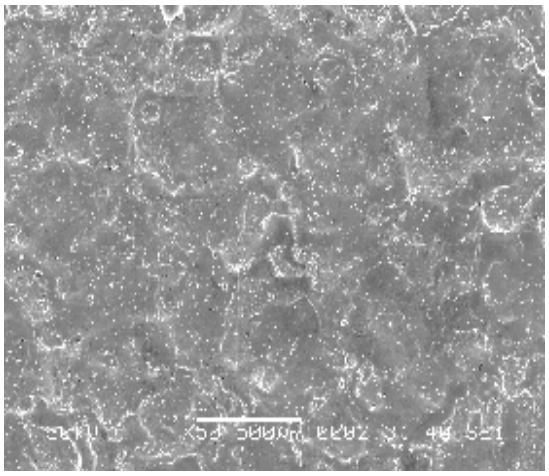
Akım : 14A

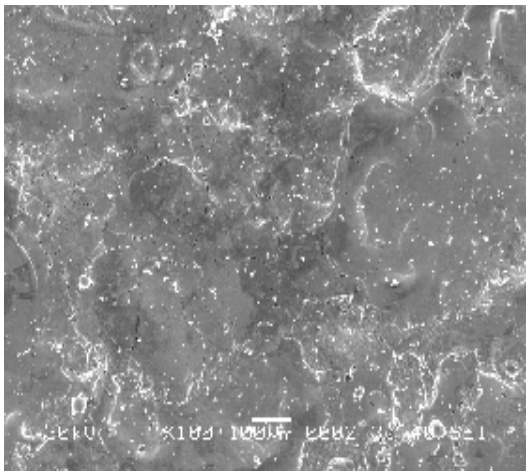
İşleme zamanı : 100 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.38 Gazyağı, 14 A şartlarında işlenen numunenin 100 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





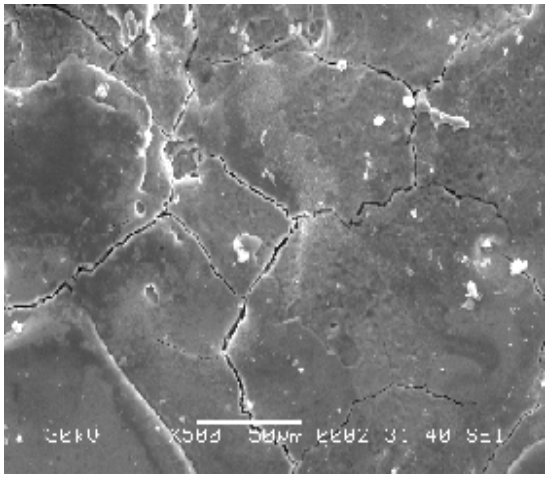
Numune Adı : IF 13

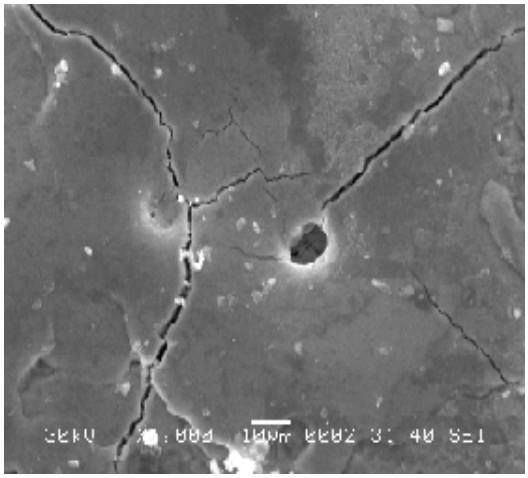
Akım : 14A

İşleme zamanı : 400 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 13

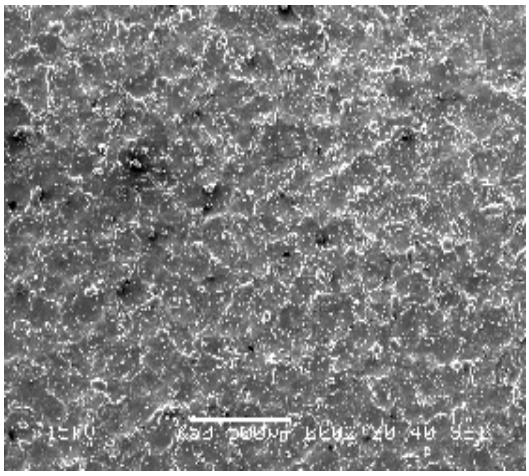
Akım : 14A

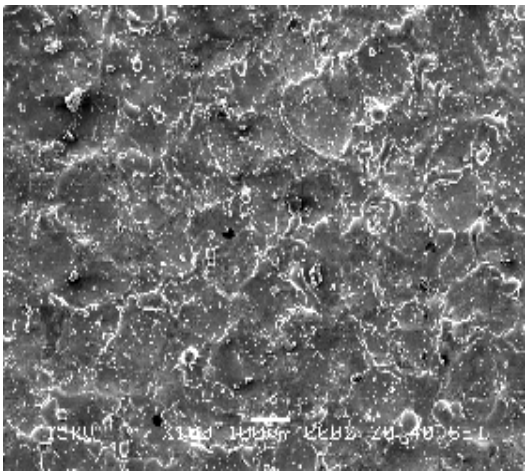
İşleme zamanı : 400 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.39 Gazyağı, 14 A şartlarında işlenen numunenin 400 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





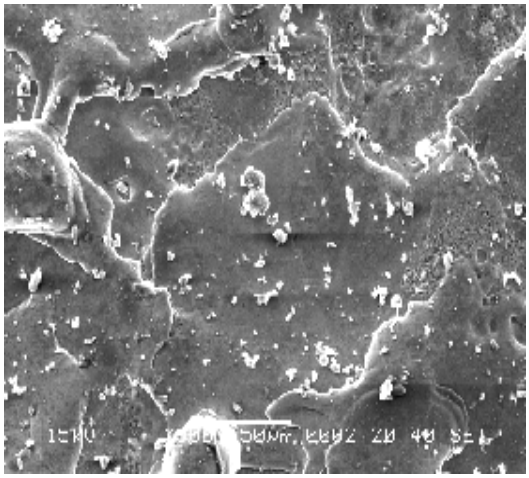
Numune Adı : IF 14

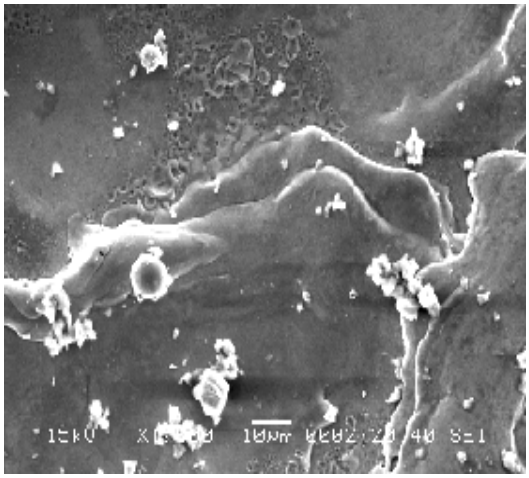
Akım : 14A

İşleme zamanı : 25 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı + 5 g/l SiC

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 14

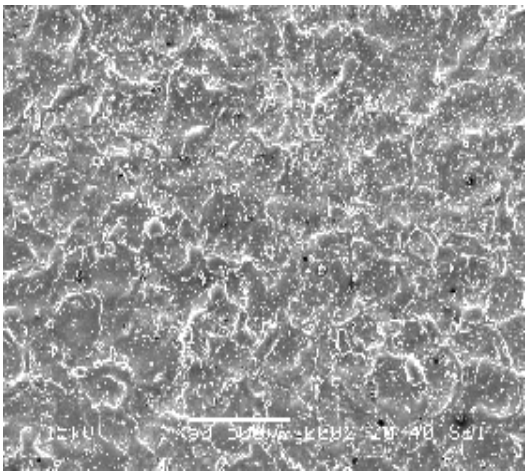
Akım : 14A

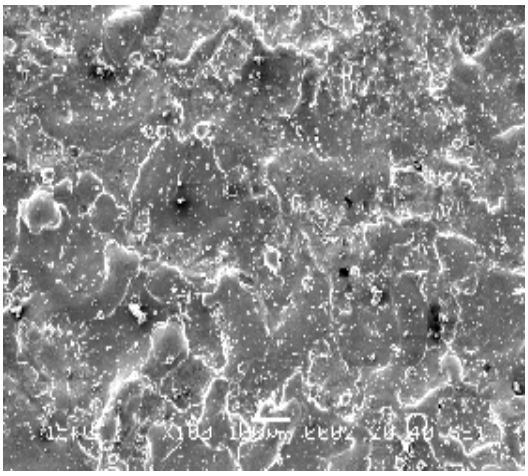
İşleme zamanı : 25 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı + 5 g/l SiC

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.40 Gazyağı + 5 g/l SiC, 14 A şartlarında işlenen numunenin 25 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





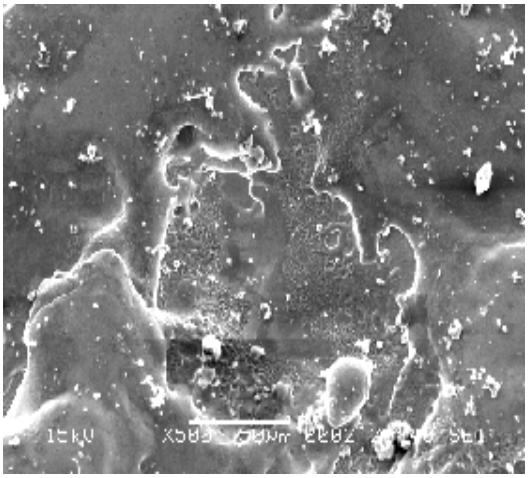
Numune Adı : IF 14

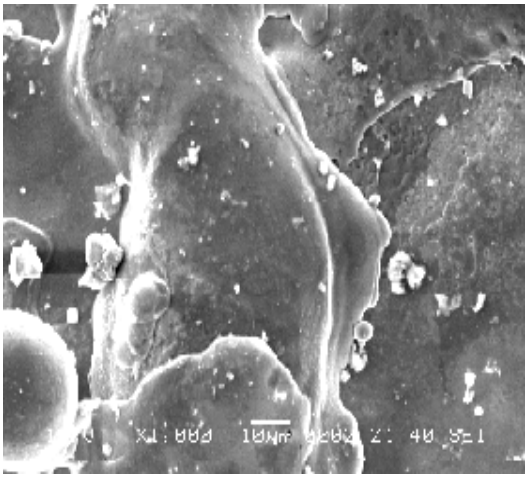
Akım : 14A

İşleme zamanı : 100 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı + 5 g/l SiC

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 14

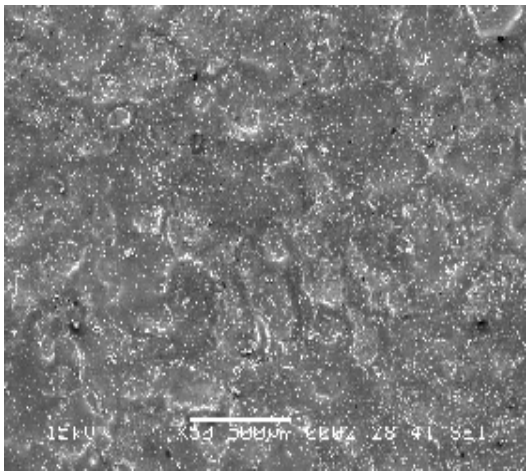
Akım : 14A

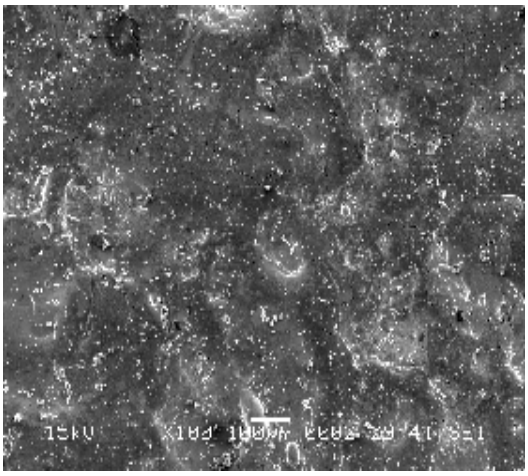
İşleme zamanı : 100 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı + 5 g/l SiC

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.41 Gazyağı + 5 g/l SiC, 14 A şartlarında işlenen numunenin 100 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





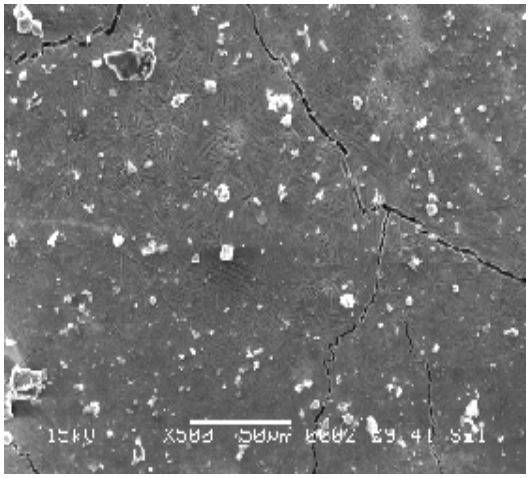
Numune Adı : IF 14

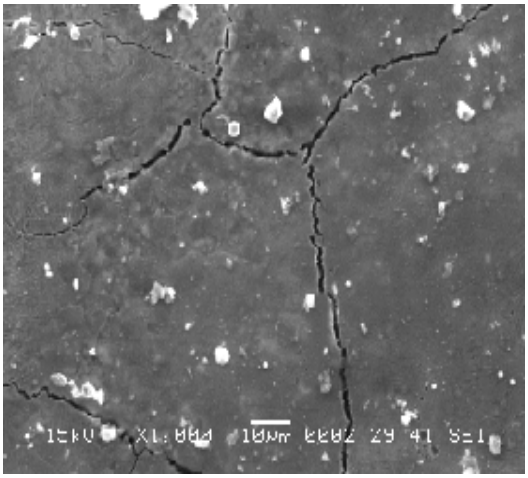
Akım : 14A

İşleme zamanı : 400 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı + 5 g/l SiC

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 14

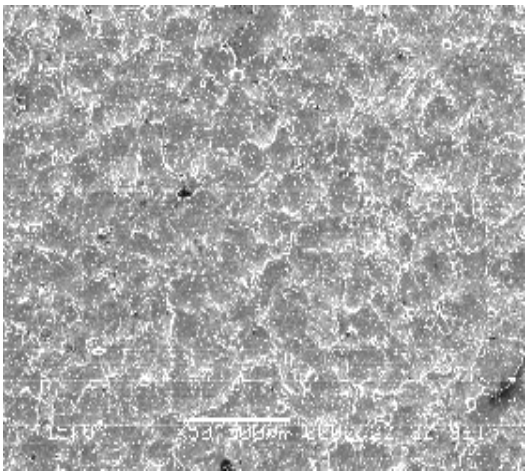
Akım : 14A

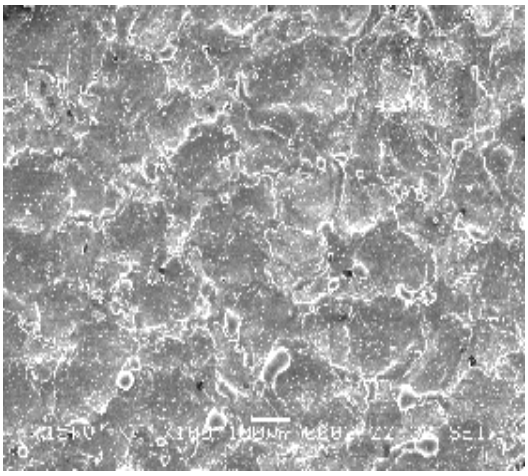
İşleme zamanı : 400 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı + 5 g/l SiC

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.42 Gazyağı + 5 g/l SiC, 14 A şartlarında işlenen numunenin 400 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





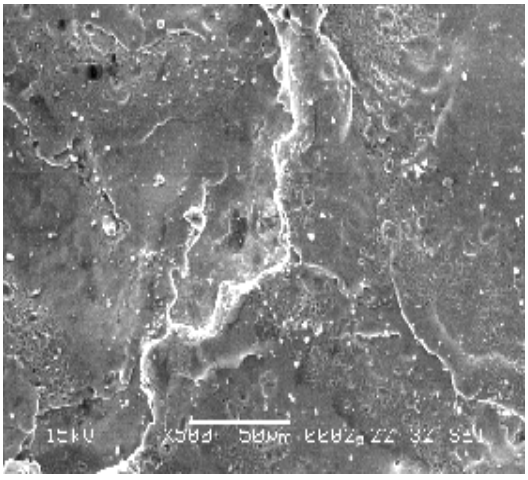
Numune Adı : IF 15

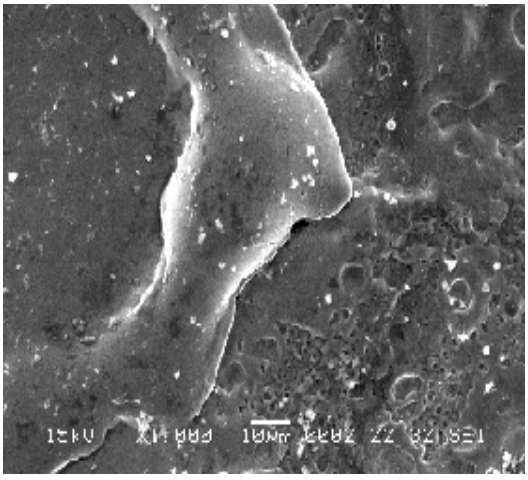
Akım : 14A

İşleme zamanı : 25 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı + 10 g/l SiC

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 15

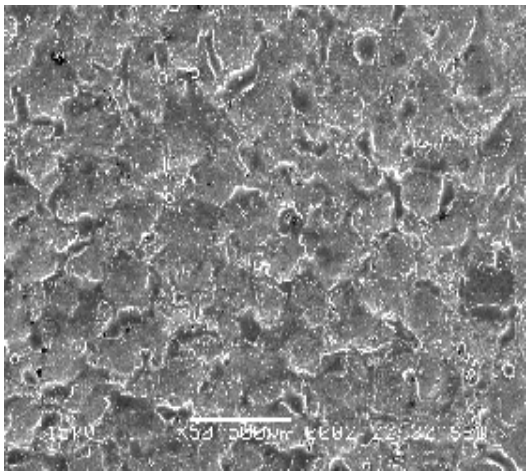
Akım : 14A

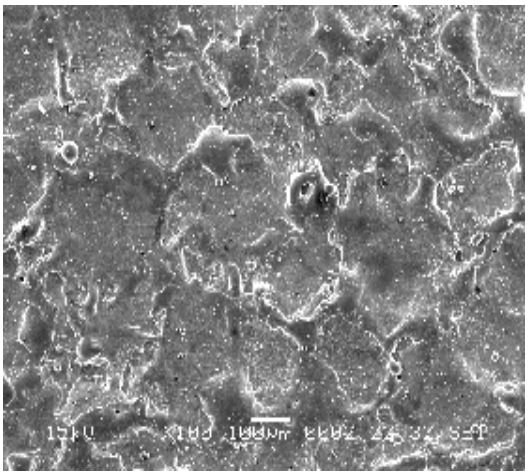
İşleme zamanı : 25 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı + 10 g/l SiC

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.43 Gazyağı + 10 g/l SiC, 14 A şartlarında işlenen numunenin 25 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





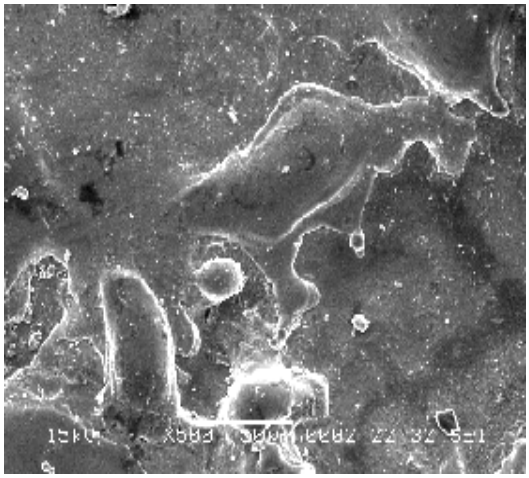
Numune Adı : IF 15

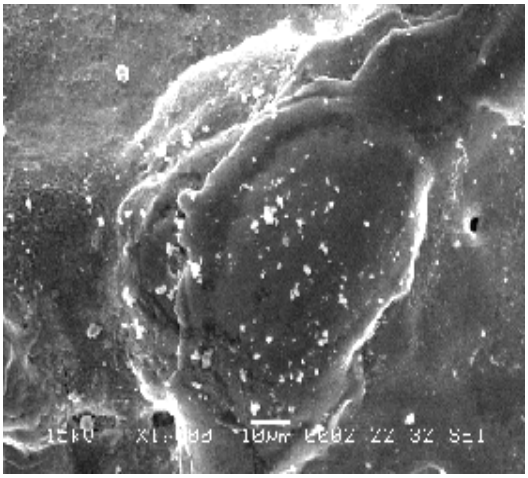
Akım : 14A

İşleme zamanı : 100 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı + 10 g/l SiC

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 15

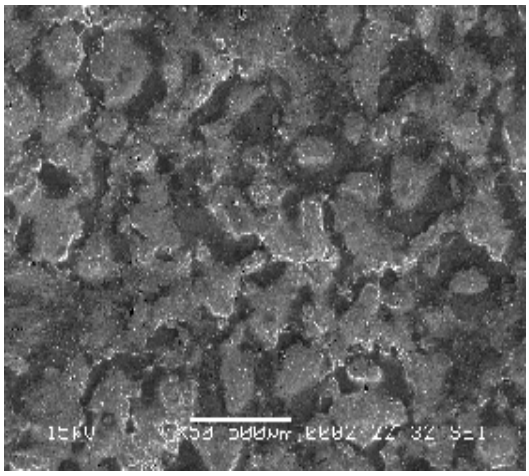
Akım : 14A

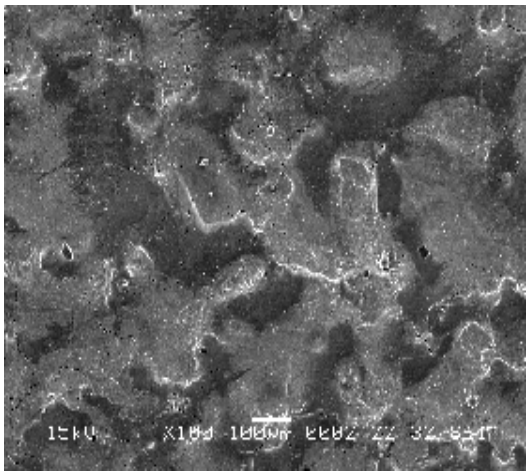
İşleme zamanı : 100 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı + 10 g/l SiC

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.44 Gazyağı + 10 g/l SiC, 14 A şartlarında işlenen numunenin 100 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





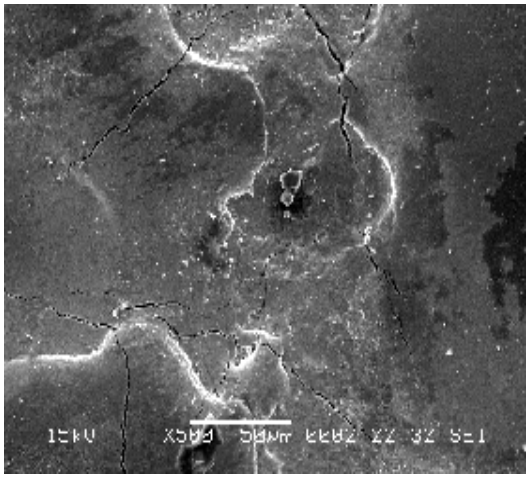
Numune Adı : IF 15

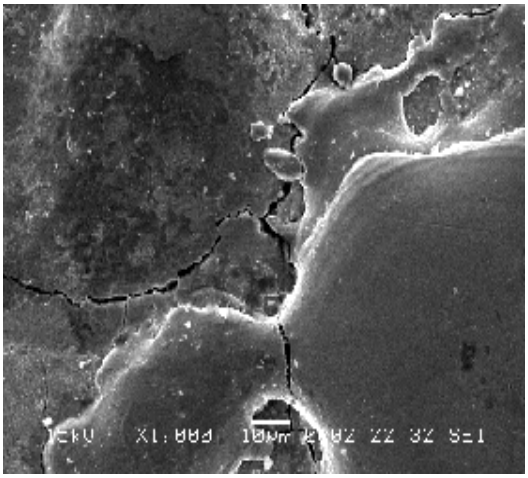
Akım : 14A

İşleme zamanı : 400 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı + 10 g/l SiC

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 15

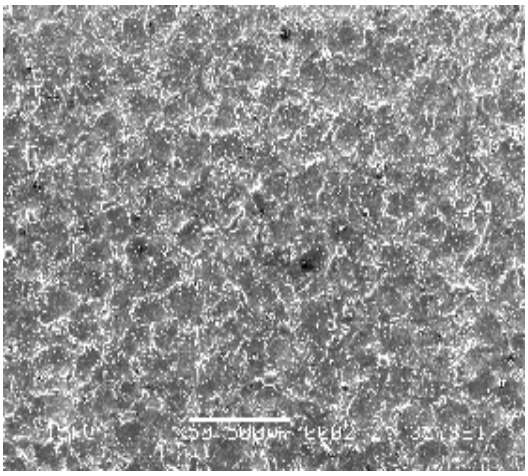
Akım : 14A

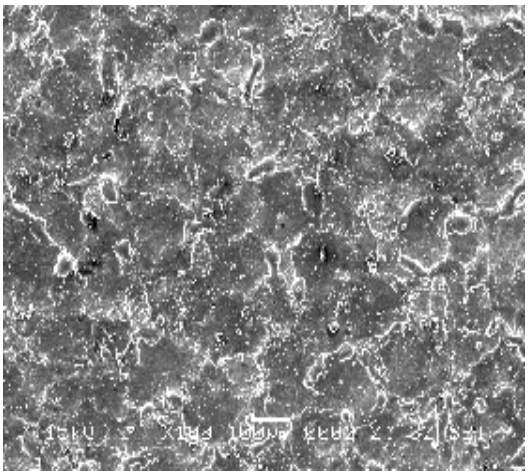
İşleme zamanı : 400 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı + 10 g/l SiC

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.45 Gazyağı + 10 g/l SiC, 14 A şartlarında işlenen numunenin 400 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





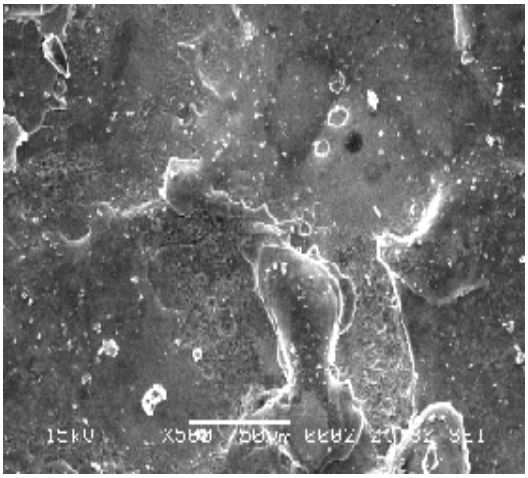
Numune Adı : IF 16

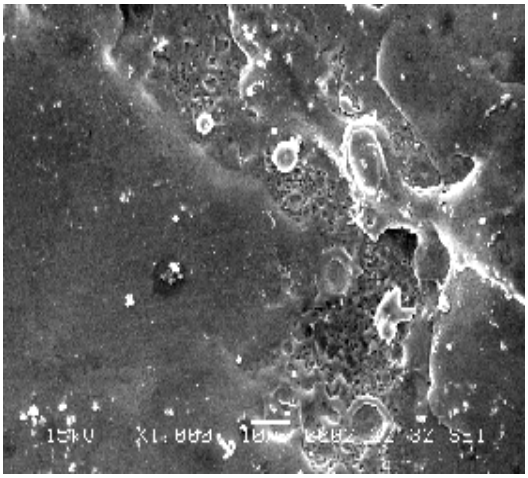
Akım : 14A

İşleme zamanı : 25 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı + 15 g/l SiC

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 16

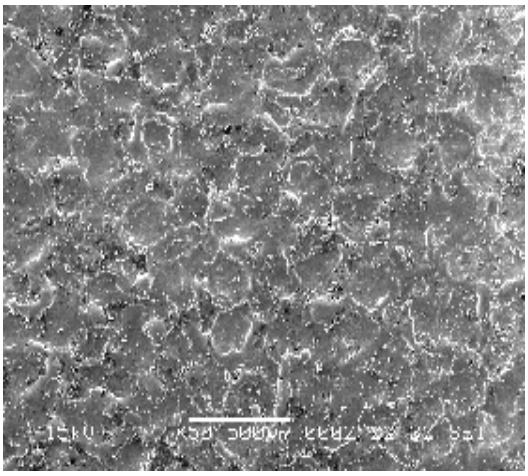
Akım : 14A

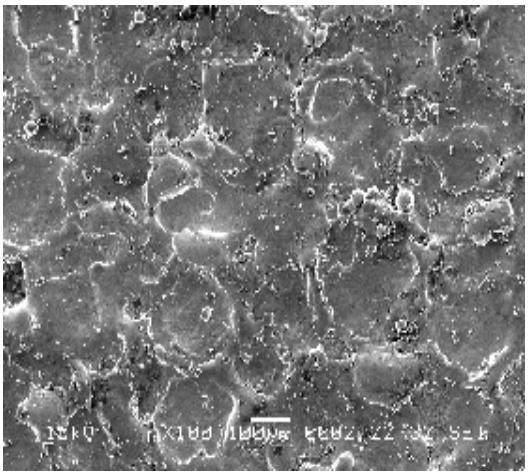
İşleme zamanı : 25 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı + 15 g/l SiC

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.46 Gazyağı + 15 g/l SiC, 14 A şartlarında işlenen numunenin 25 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





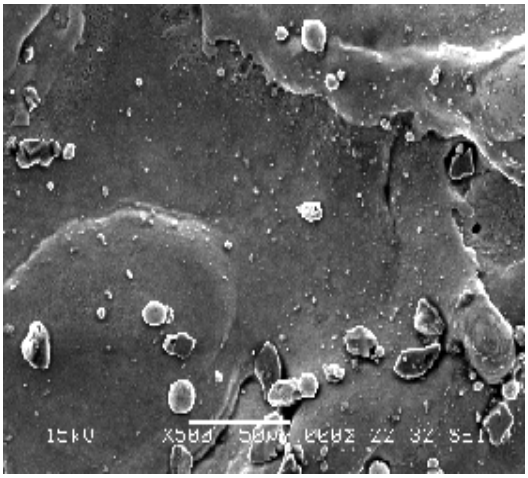
Numune Adı : IF 16

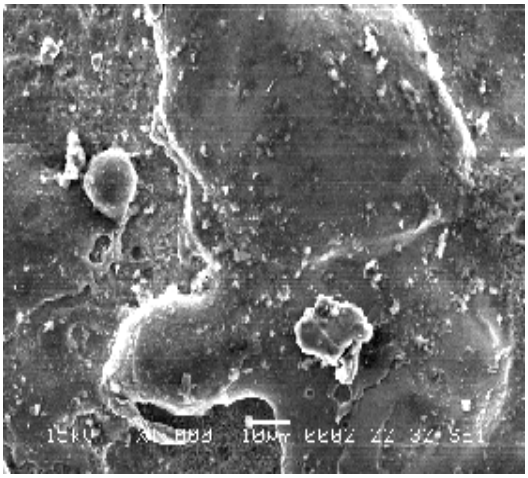
Akım : 14A

İşleme zamanı : 100 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı + 15 g/l SiC

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 16

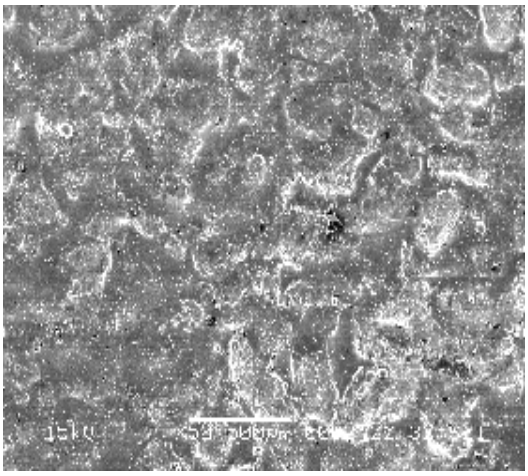
Akım : 14A

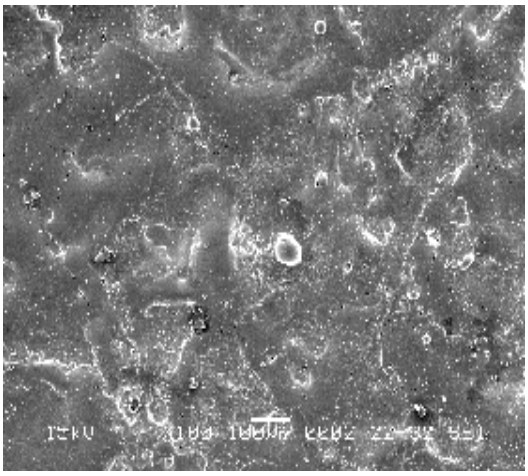
İşleme zamanı : 100 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı + 15 g/l SiC

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.47 Gazyağı + 15 g/l SiC, 14 A şartlarında işlenen numunenin 100 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





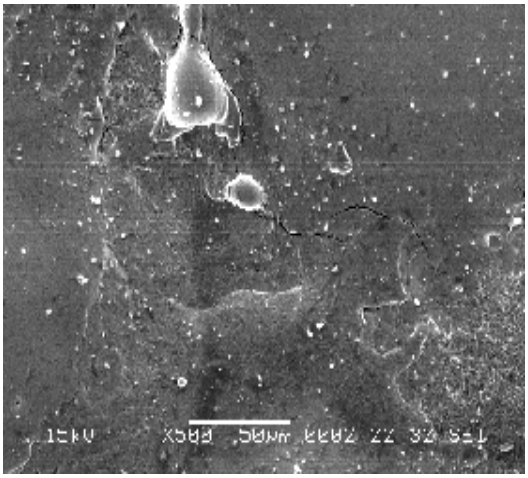
Numune Adı : IF 16

Akım : 14A

İşleme zamanı : 400 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı + 15 g/l SiC

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 16

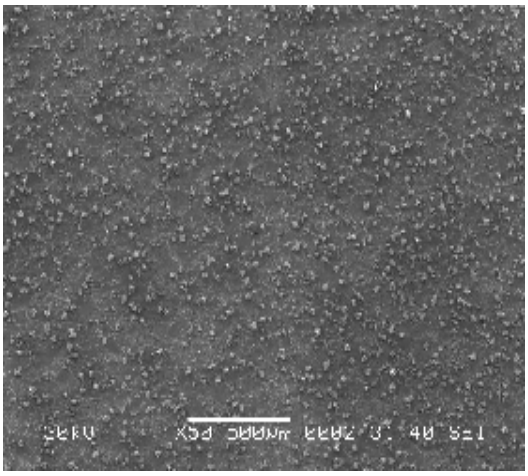
Akım : 14A

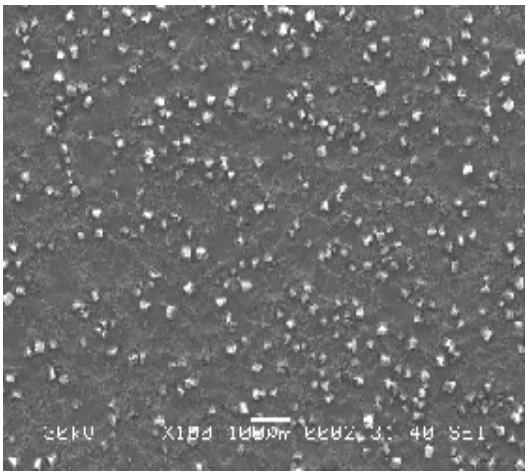
İşleme zamanı : 400 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı + 15 g/l SiC

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.48 Gazyağı + 15 g/l SiC, 14 A şartlarında işlenen numunenin 400 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





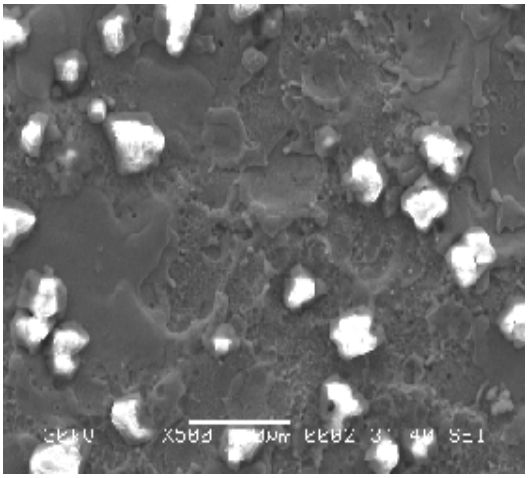
Numune Adı : IF 17

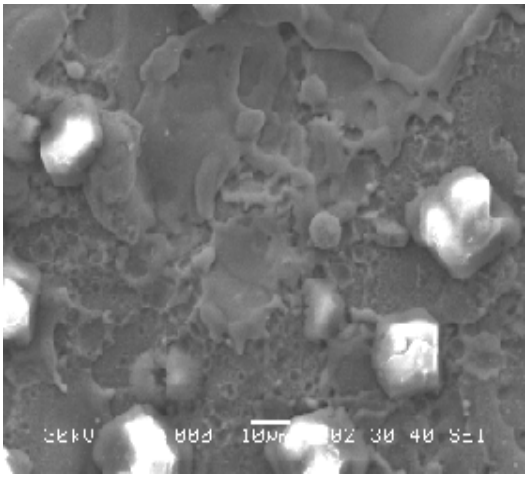
Akım : 7A

İşleme zamanı : 25 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 17

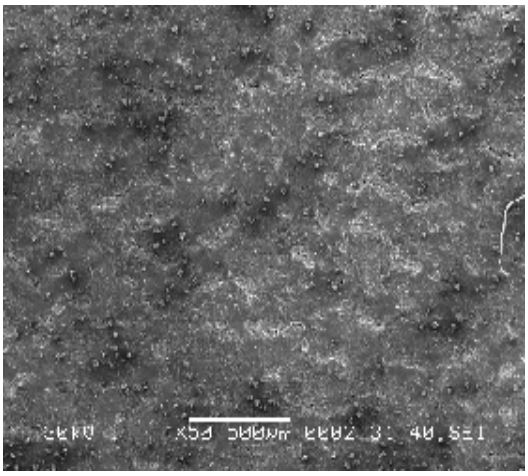
Akım : 7A

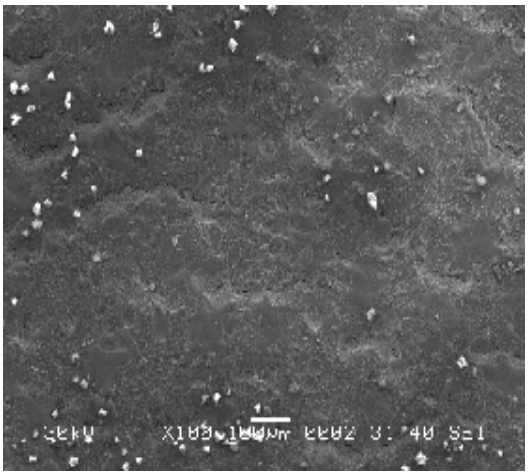
İşleme zamanı : 25 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.49 De-iyonize su, 7 A şartlarında işlenen numunenin 25 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





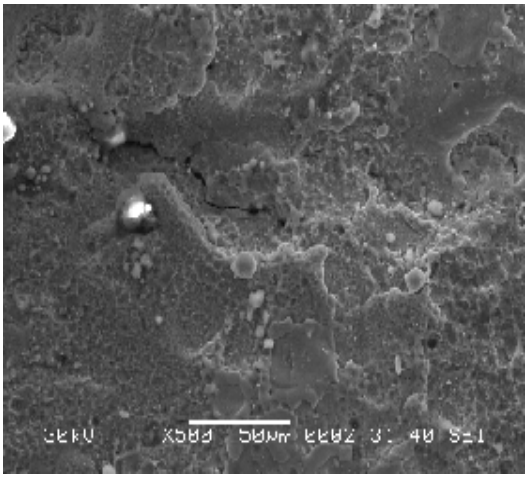
Numune Adı : IF 17

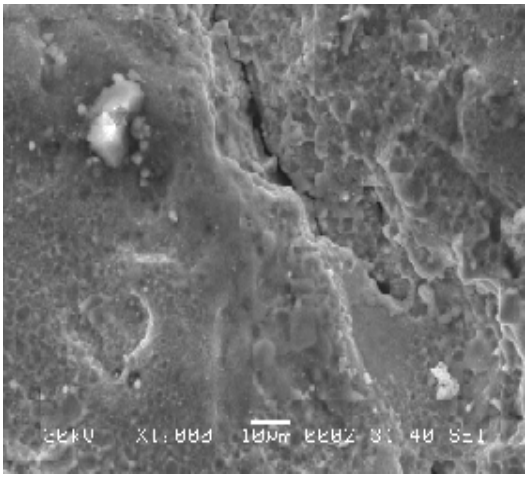
Akım : 7A

İşleme zamanı : 100 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 17

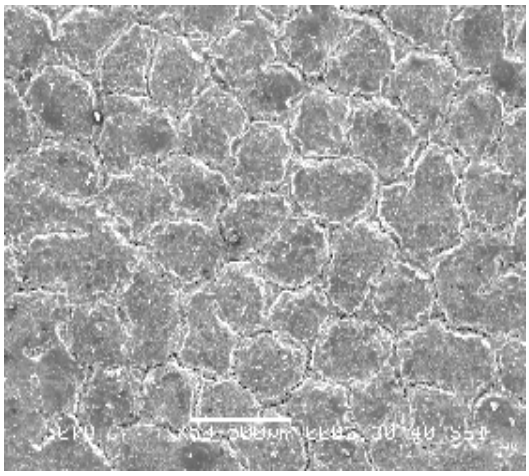
Akım : 7A

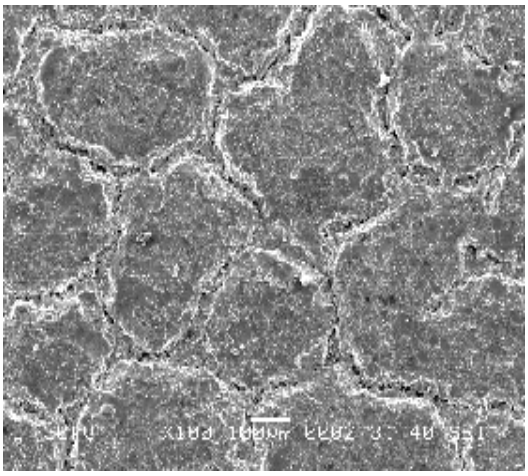
İşleme zamanı : 100 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.50 De-iyonize su, 7 A şartlarında işlenen numunenin 100 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





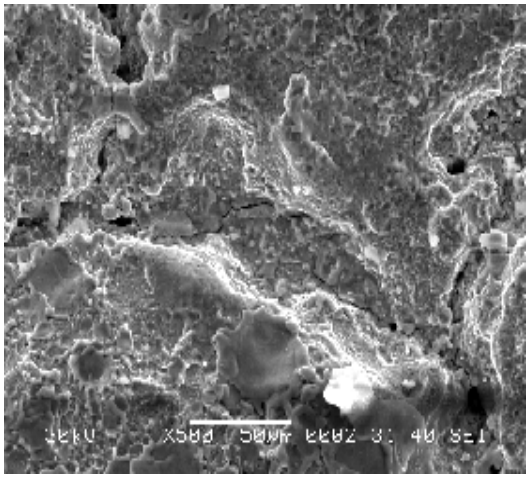
Numune Adı : IF 17

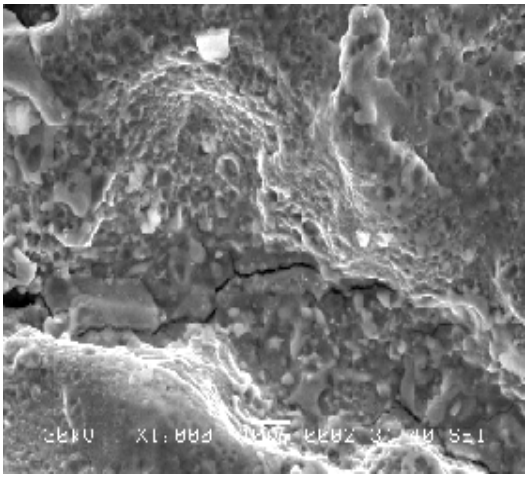
Akım : 7A

İşleme zamanı : 400 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 17

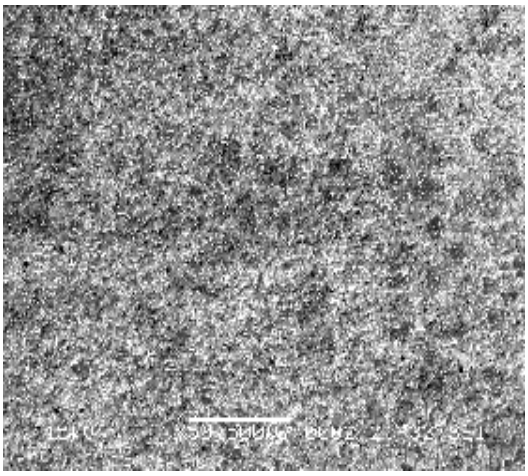
Akım : 7A

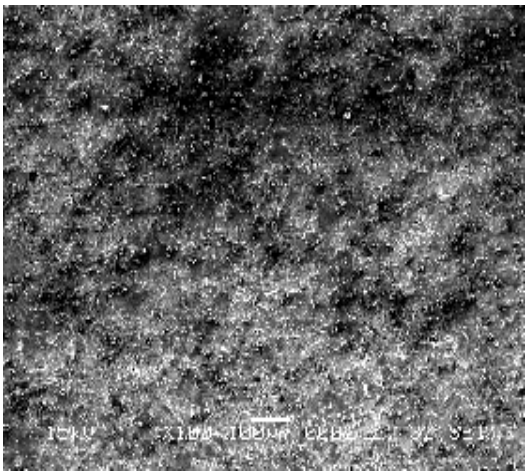
İşleme zamanı : 400 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.51 De-iyonize su, 7 A şartlarında işlenen numunenin 400 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





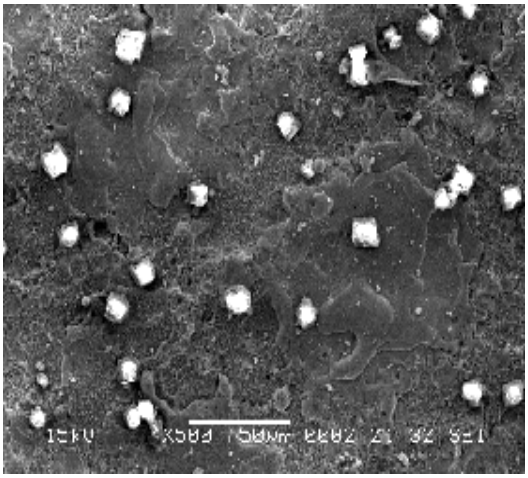
Numune Adı : IF 18

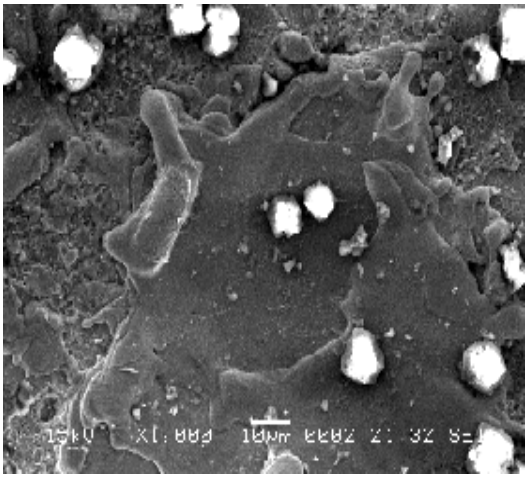
Akım : 7A

İşleme zamanı : 25 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su + 5 g/l SiC

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 18

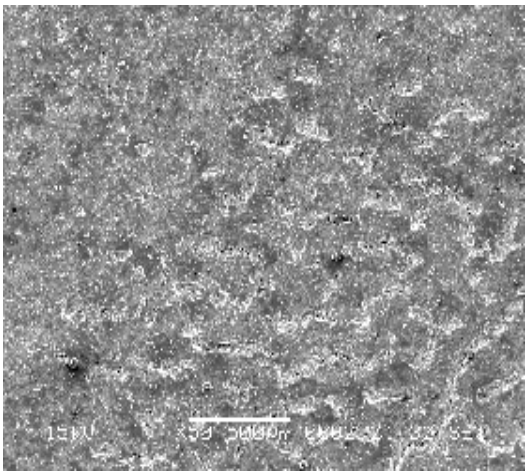
Akım : 7A

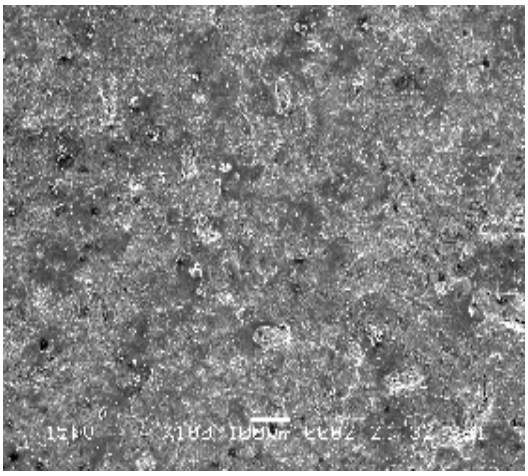
İşleme zamanı : 25 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su + 5 g/l SiC

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.52 De-iyonize su + 5 g/l SiC, 7 A şartlarında işlenen numunenin 25 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





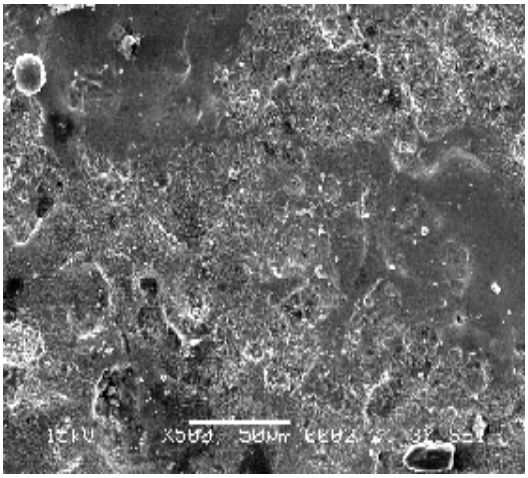
Numune Adı : IF 18

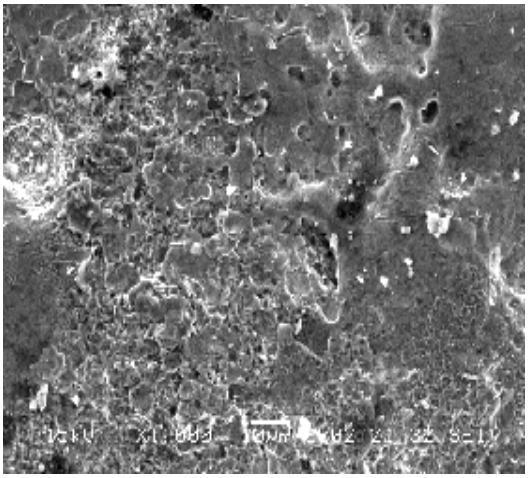
Akım : 7A

İşleme zamanı : 100 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su + 5 g/l SiC

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 18

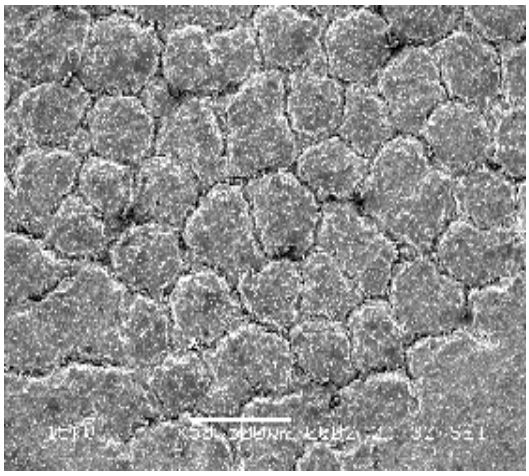
Akım : 7A

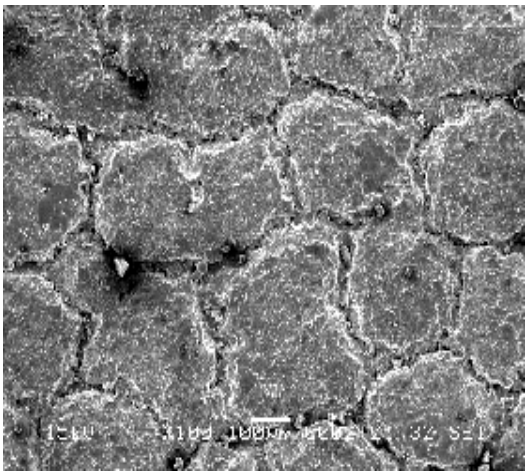
İşleme zamanı : 100 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su + 5 g/l SiC

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.53 De-iyonize su + 5 g/l SiC, 7 A şartlarında işlenen numunenin 100 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





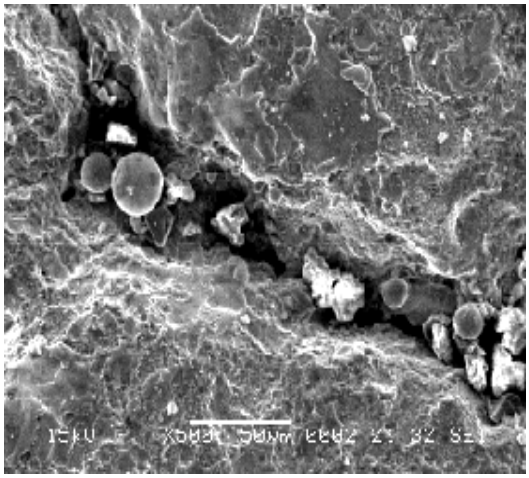
Numune Adı : IF 18

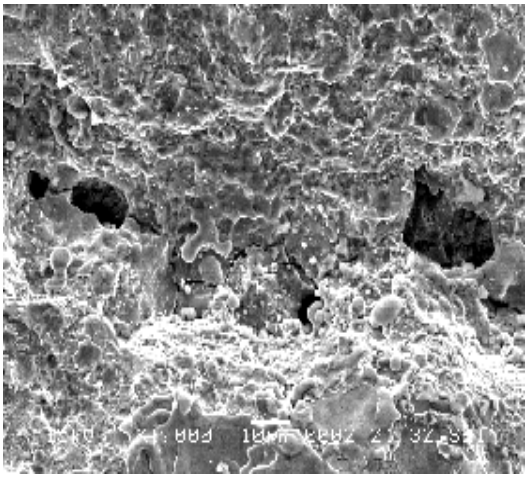
Akım : 7A

İşleme zamanı : 400 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su + 5 g/l SiC

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 18

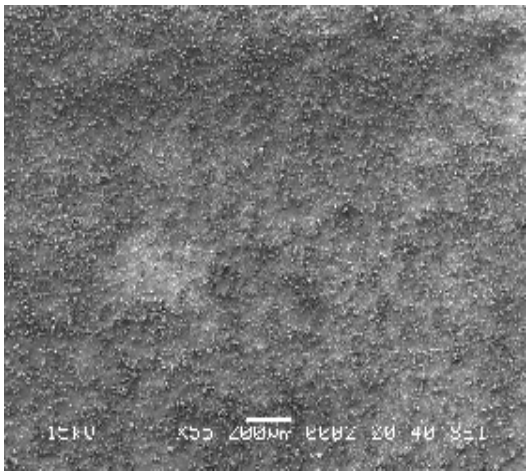
Akım : 7A

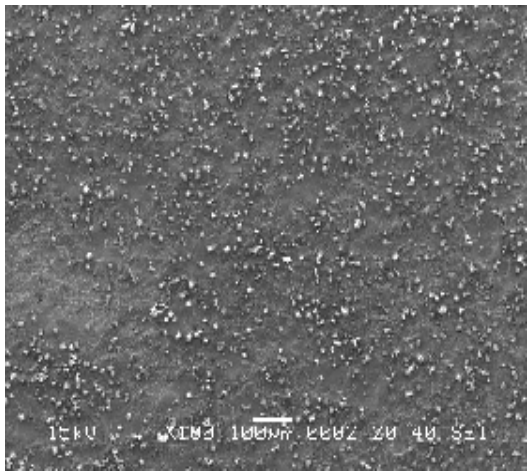
İşleme zamanı : 400 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su + 5 g/l SiC

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.54 De-iyonize su + 5 g/l SiC, 7 A şartlarında işlenen numunenin 400 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





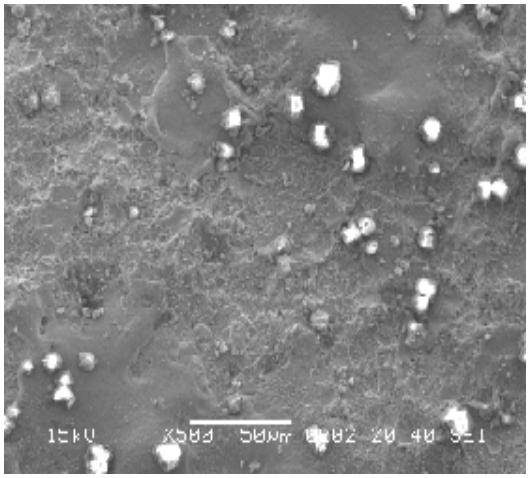
Numune Adı : IF 19

Akım : 7A

İşleme zamanı : 25 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su + 10 g/l SiC

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 19

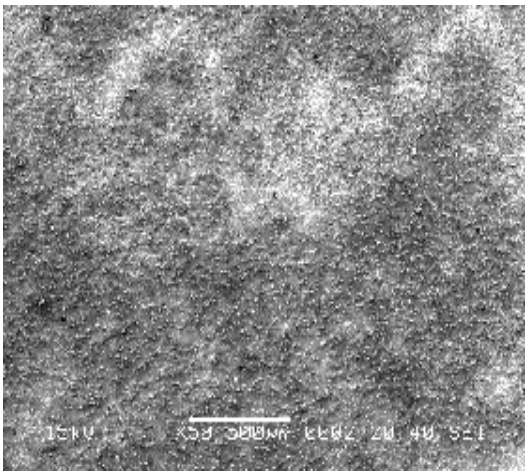
Akım : 7A

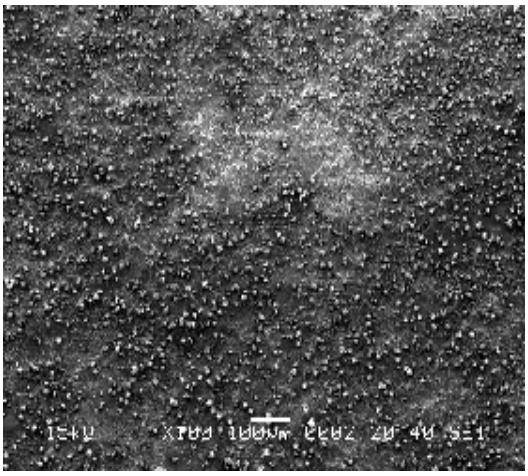
İşleme zamanı : 25 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su + 10 g/l SiC

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.55 De-iyonize su + 10 g/l SiC, 7 A şartlarında işlenen numunenin 25 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





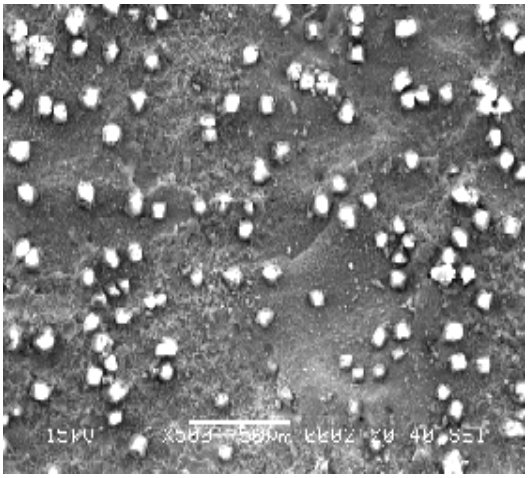
Numune Adı : IF 19

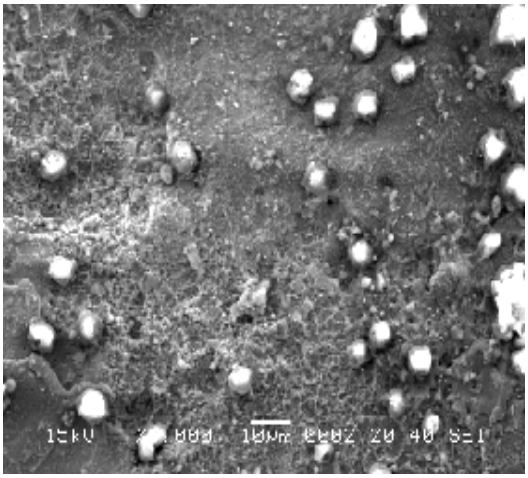
Akım : 7A

İşleme zamanı : 100 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su + 10 g/l SiC

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 19

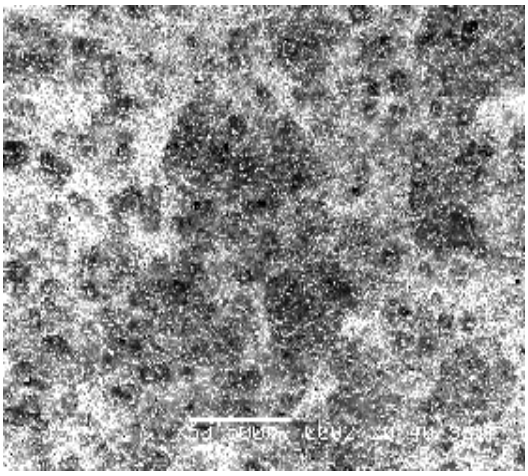
Akım : 7A

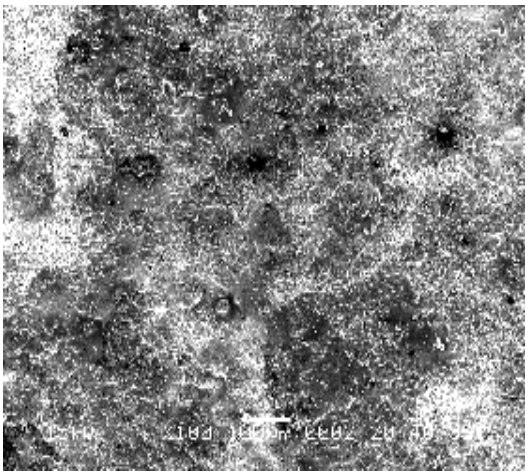
İşleme zamanı : 100 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su + 10 g/l SiC

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.56 De-iyonize su + 10 g/l SiC, 7 A şartlarında işlenen numunenin 100 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





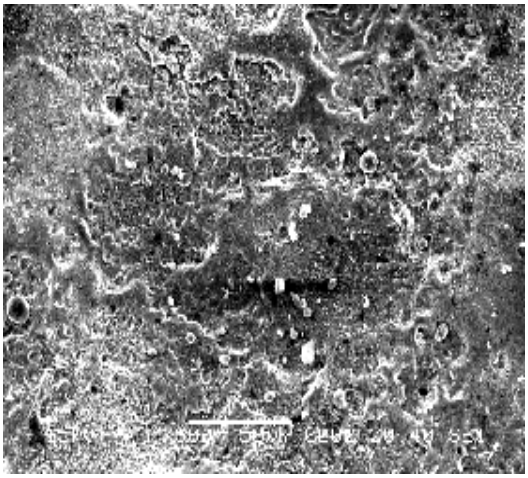
Numune Adı : IF 19

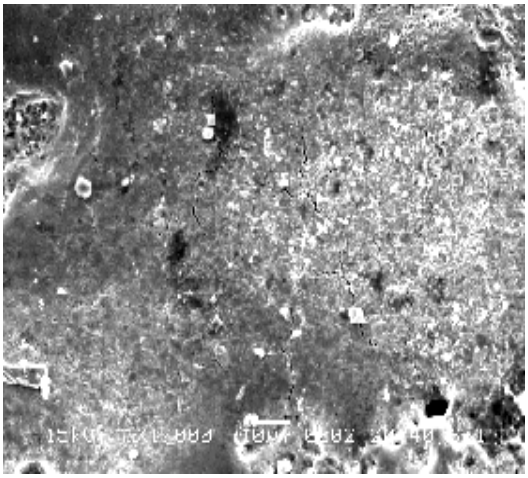
Akım : 7A

İşleme zamanı : 400 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su + 10 g/l SiC

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 19

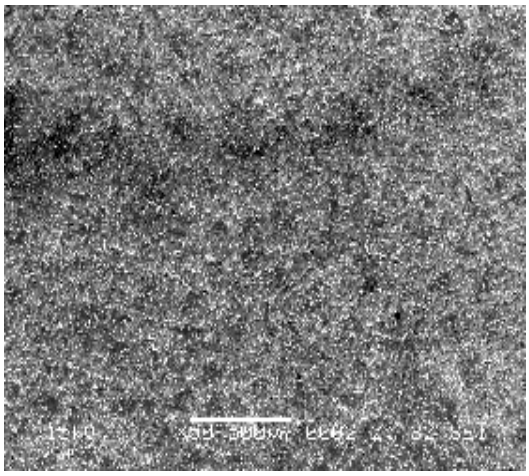
Akım : 7A

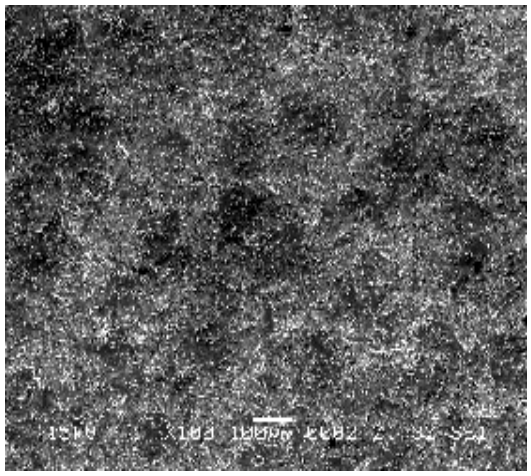
İşleme zamanı : 400 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su + 10 g/l SiC

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.57 De-iyonize su + 10 g/l SiC, 7 A şartlarında işlenen numunenin 400 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





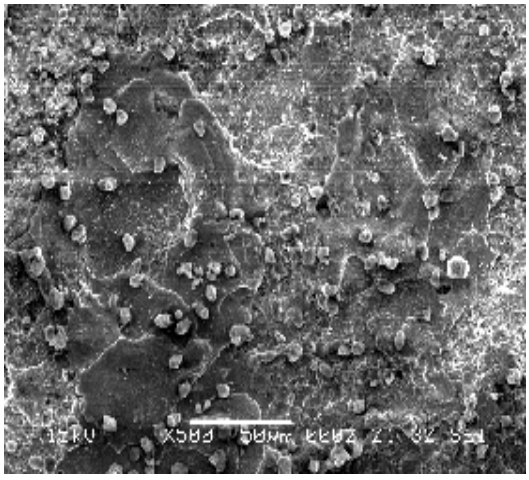
Numune Adı : IF 20

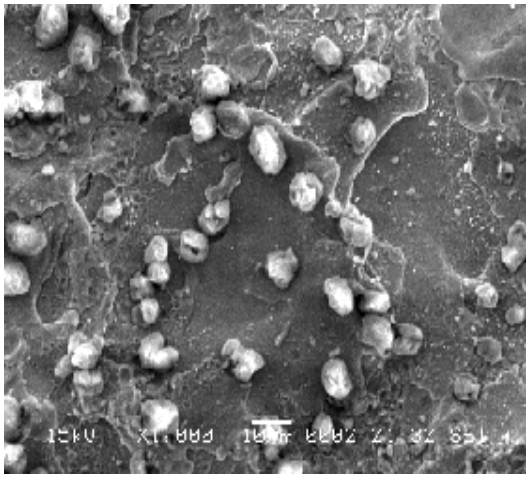
Akım : 7A

İşleme zamanı : 25 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su + 15 g/l SiC

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 20

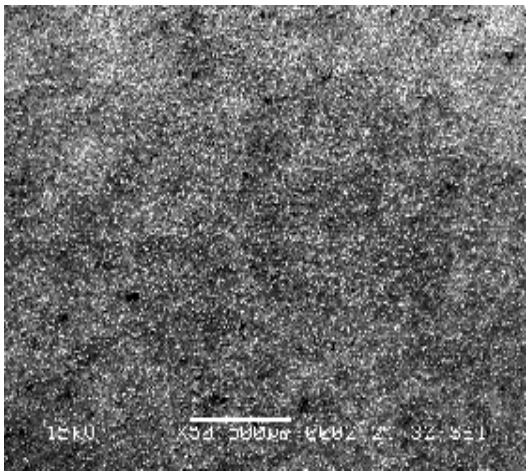
Akım : 7A

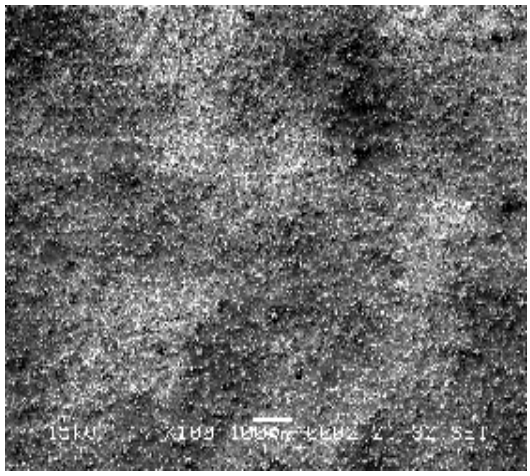
İşleme zamanı : 25 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su + 15 g/l SiC

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.58 De-iyonize su + 15 g/l SiC, 7 A şartlarında işlenen numunenin 25 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





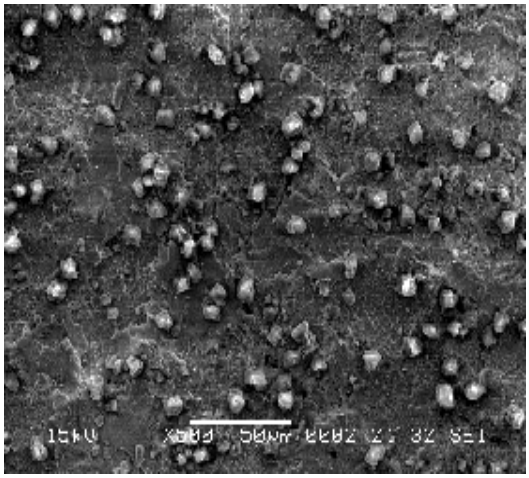
Numune Adı : IF 20

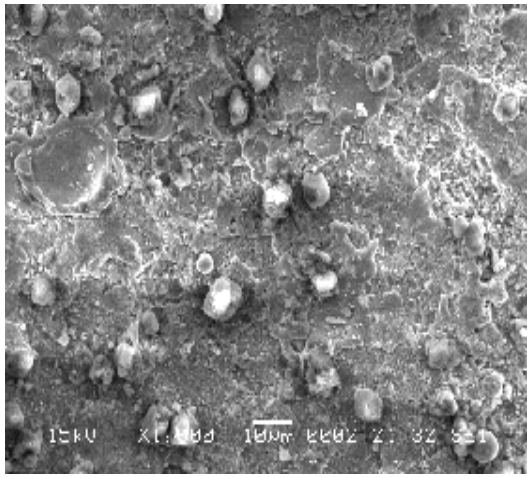
Akım : 7A

İşleme zamanı : 100 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su + 15 g/l SiC

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 20

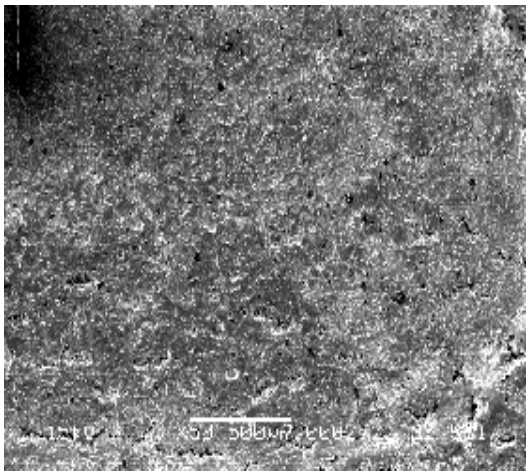
Akım : 7A

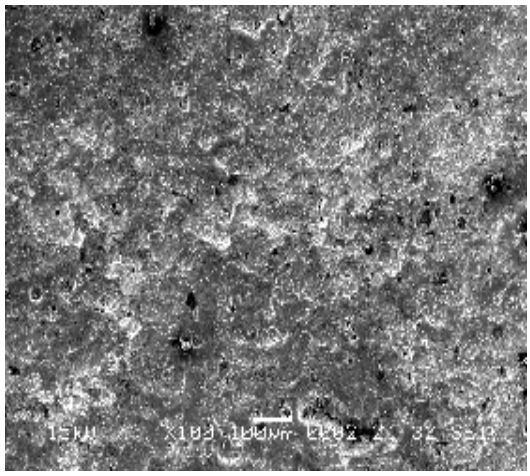
İşleme zamanı : 100 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su + 15 g/l SiC

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.59 De-iyonize su + 15 g/l SiC, 7 A şartlarında işlenen numunenin 100 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





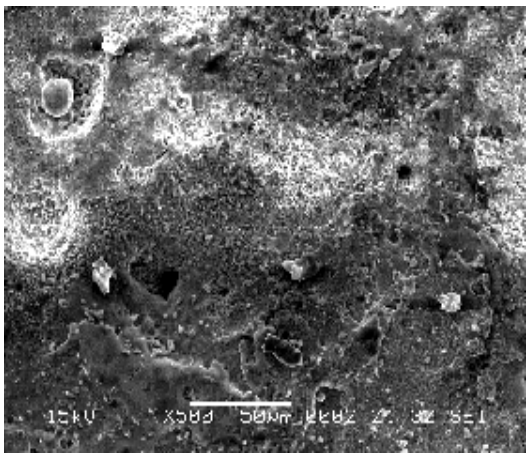
Numune Adı : IF 20

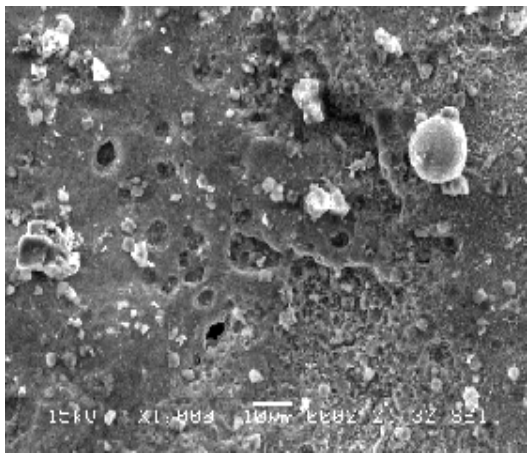
Akım : 7A

İşleme zamanı : 400 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su + 15 g/l SiC

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 20

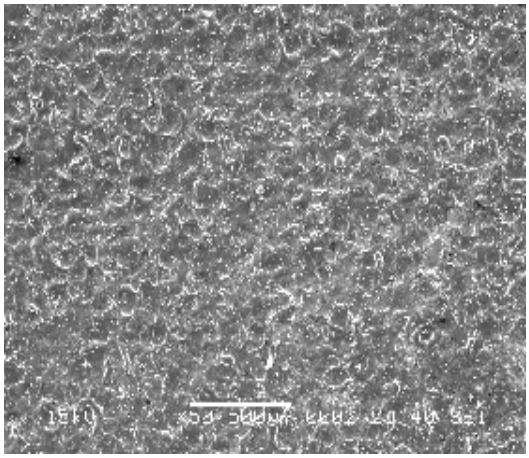
Akım : 7A

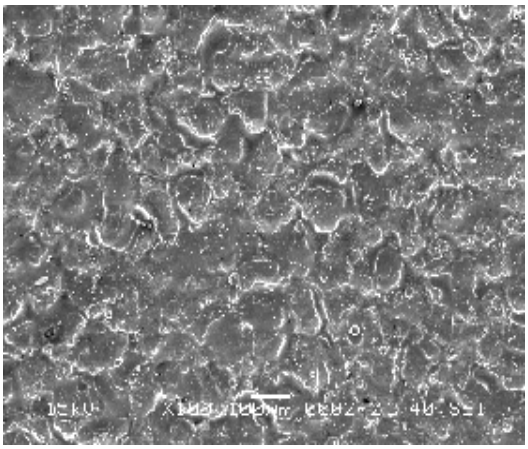
İşleme zamanı : 400 µs

Di-elektrik sıvı : De-iyonize Su + 15 g/l SiC

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.60 De-iyonize su + 15 g/l SiC, 7 A şartlarında işlenen numunenin 400 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





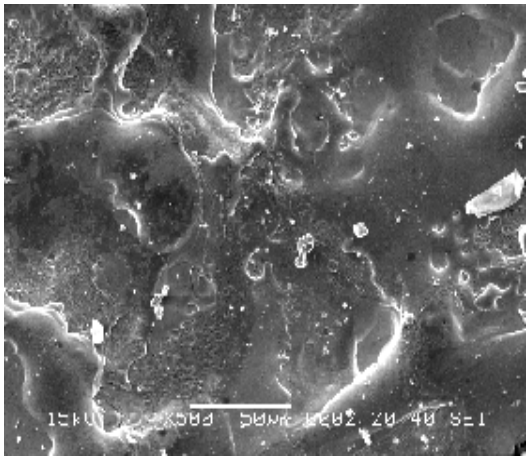
Numune Adı : IF 21

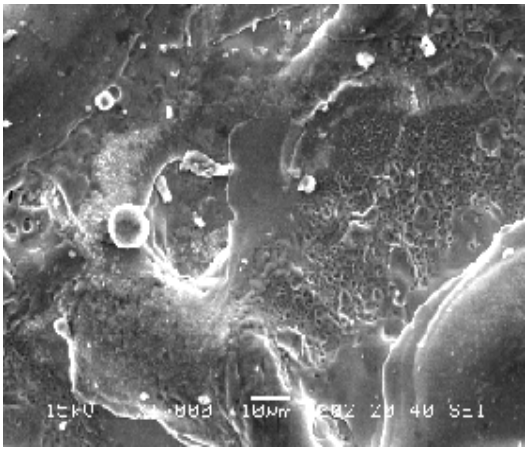
Akım : 7A

İşleme zamanı : 25 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 21

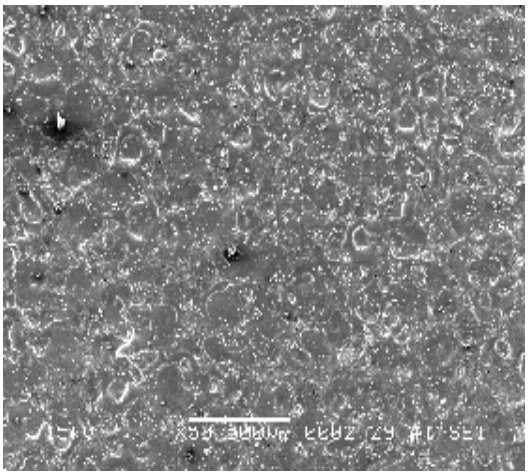
Akım : 7A

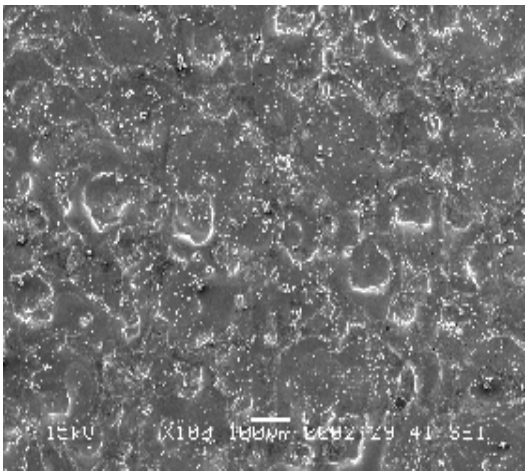
İşleme zamanı : 25 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.61 Gazyağı, 7 A şartlarında işlenen numunenin 25 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





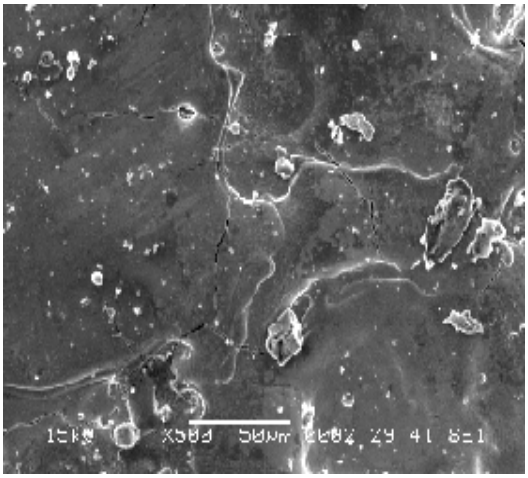
Numune Adı : IF 21

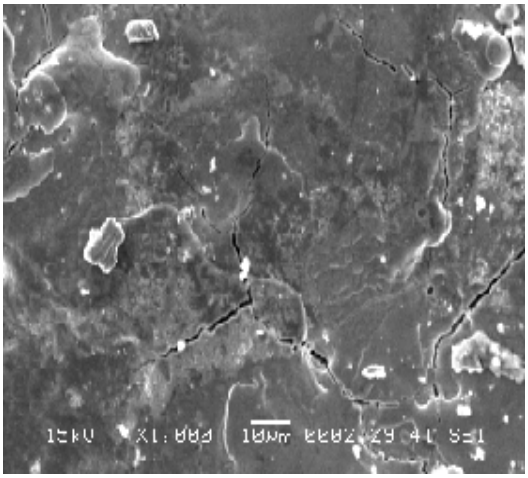
Akım : 7A

İşleme zamanı : 100 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 21

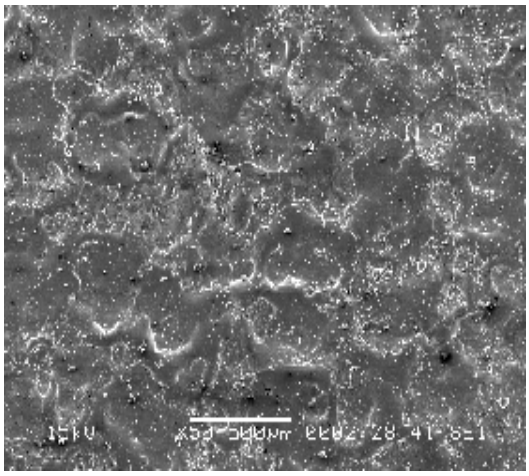
Akım : 7A

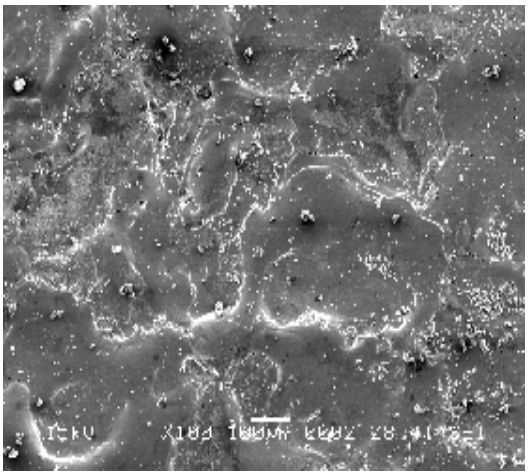
İşleme zamanı : 100 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.62 Gazyağı, 7 A şartlarında işlenen numunenin 100 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





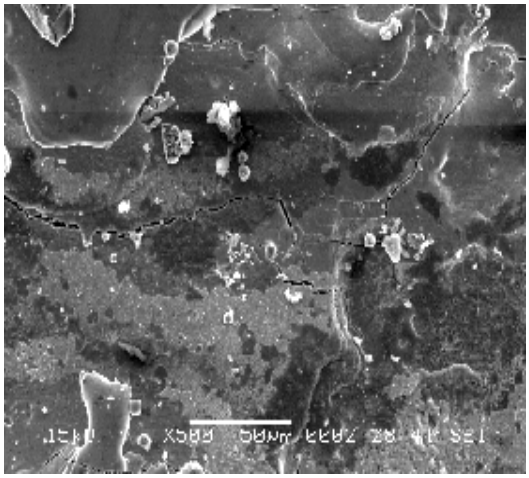
Numune Adı : IF 21

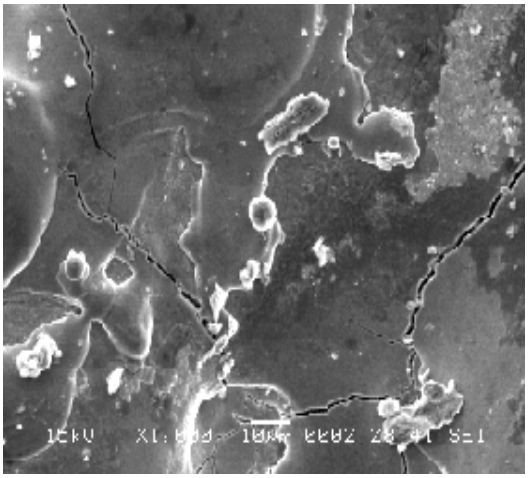
Akım : 7A

İşleme zamanı : 400 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 21

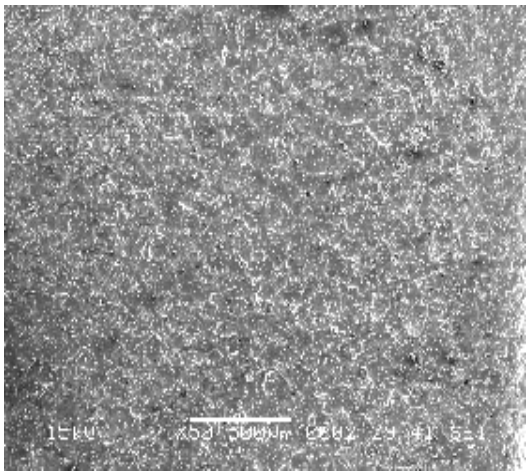
Akım : 7A

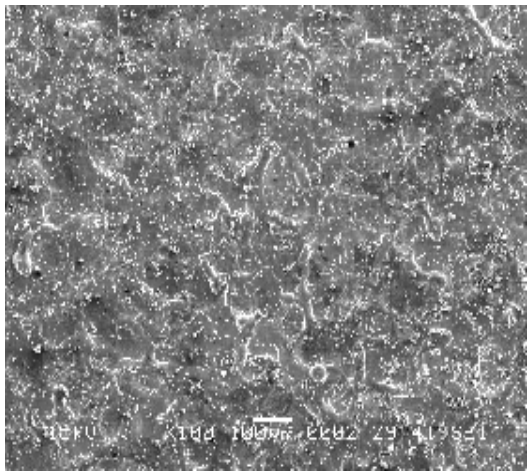
İşleme zamanı : 400 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.63 Gazyağı, 7 A şartlarında işlenen numunenin 400 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





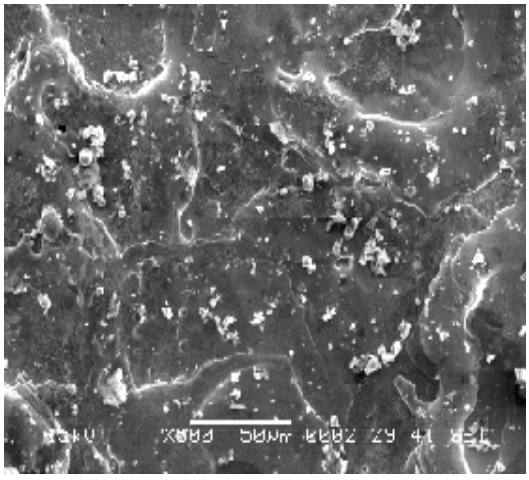
Numune Adı : IF 22

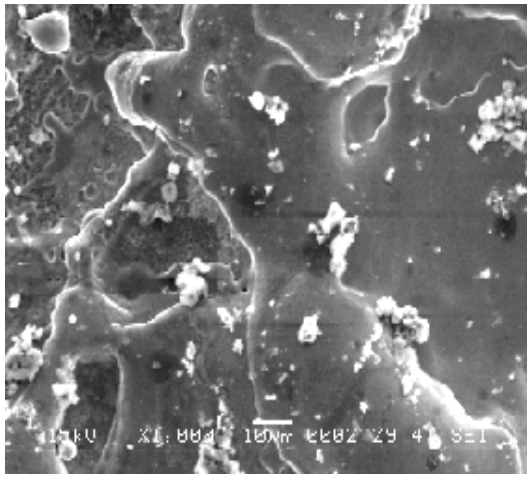
Akım : 7A

İşleme zamanı : 25 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı + 5 g/l SiC

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 22

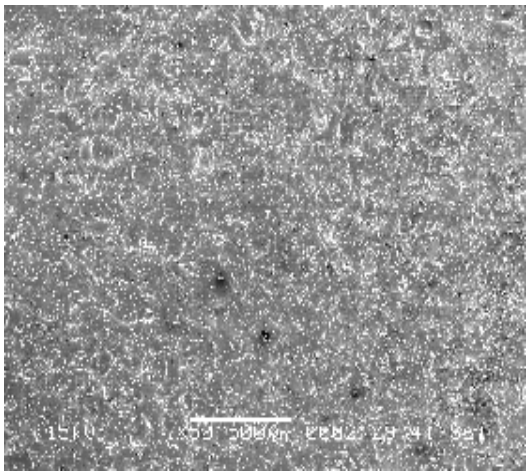
Akım : 7A

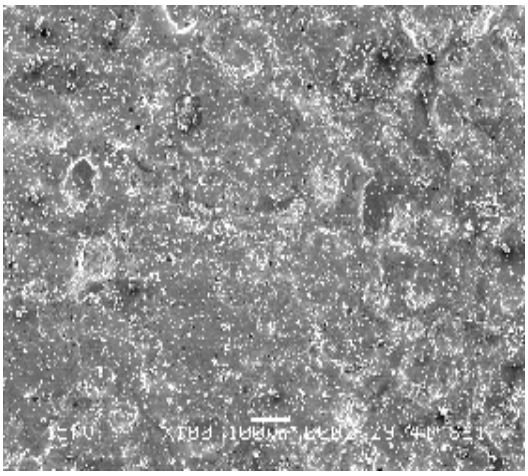
İşleme zamanı : 25 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı + 5 g/l SiC

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.64 Gazyağı + 5 g/l SiC, 7 A şartlarında işlenen numunenin 25 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





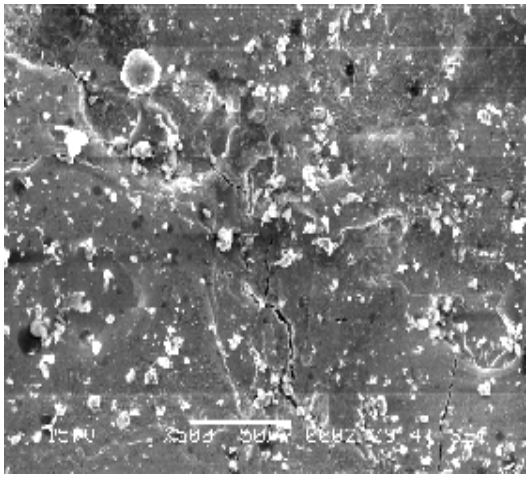
Numune Adı : IF 22

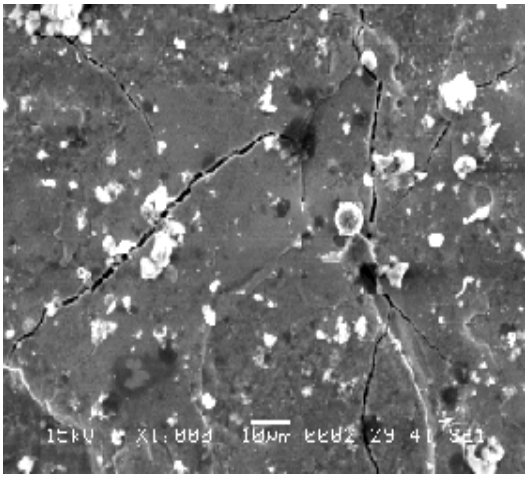
Akım : 7A

İşleme zamanı : 100 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı + 5 g/l SiC

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 22

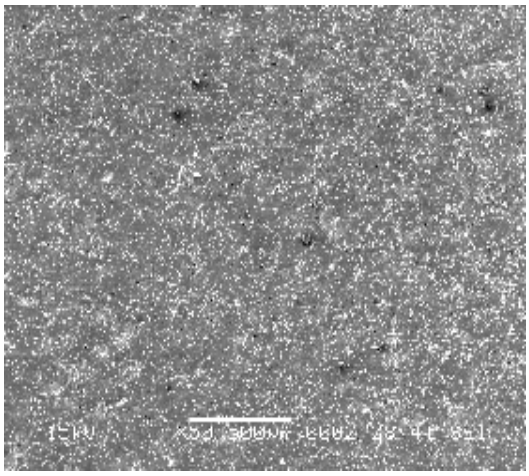
Akım : 7A

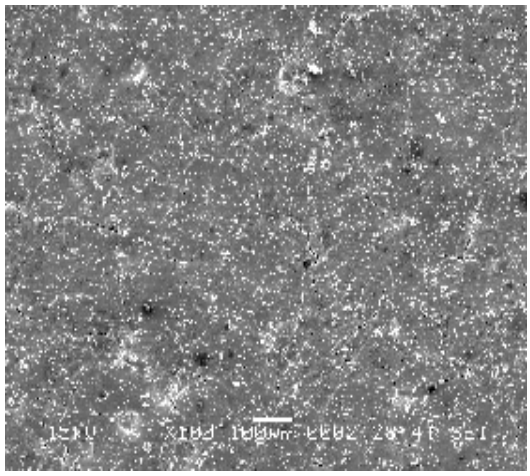
İşleme zamanı : 100 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı + 5 g/l SiC

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.65 Gazyağı + 5 g/l SiC, 7 A şartlarında işlenen numunenin 100 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





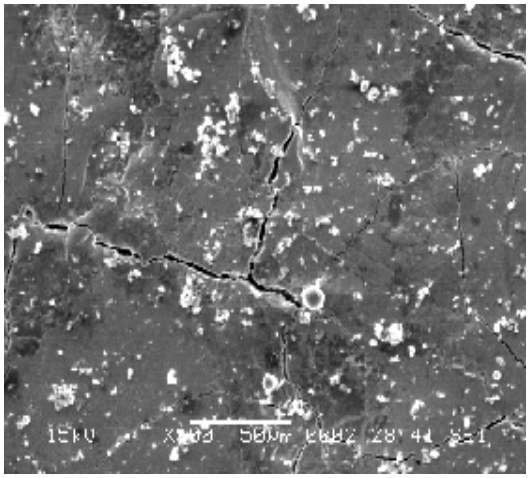
Numune Adı : IF 22

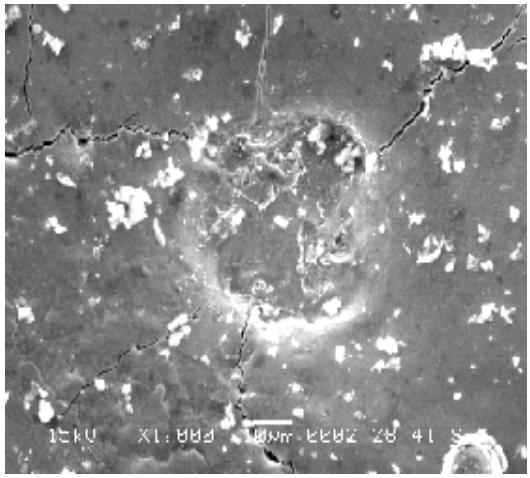
Akım : 7A

İşleme zamanı : 400 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı + 5 g/l SiC

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 22

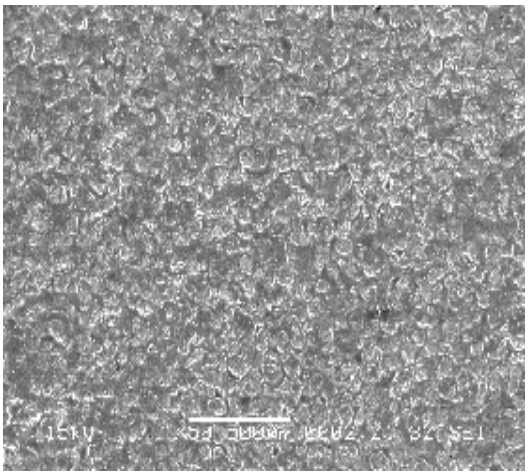
Akım : 7A

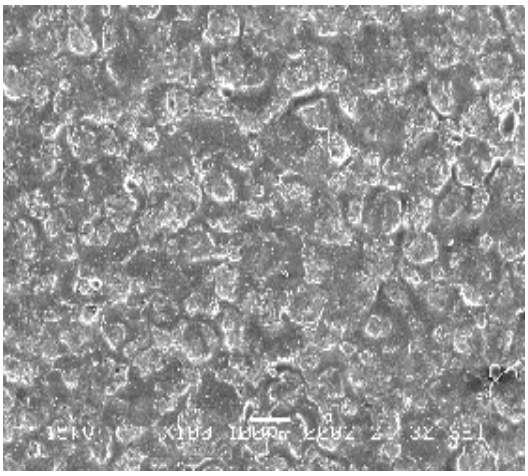
İşleme zamanı : 400 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı + 5 g/l SiC

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.66 Gazyağı + 5 g/l SiC, 7 A şartlarında işlenen numunenin 400 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





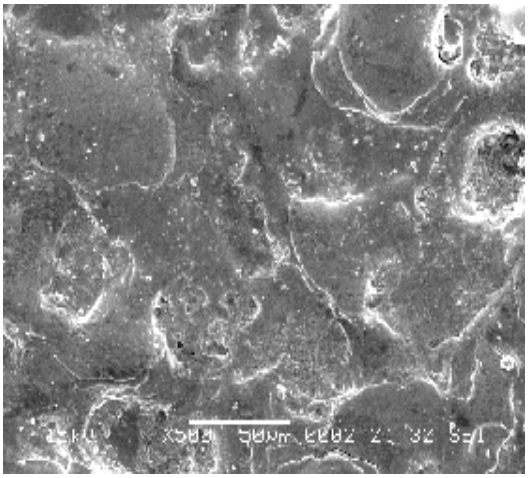
Numune Adı : IF 23

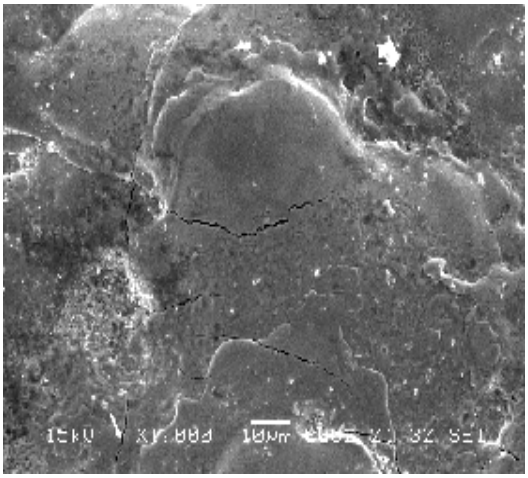
Akım : 7A

İşleme zamanı : 25 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı + 10 g/l SiC

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 23

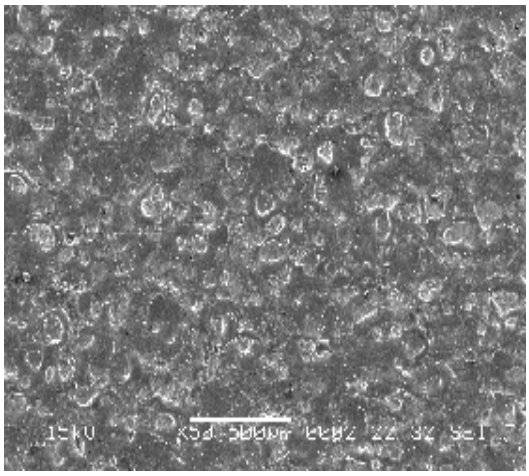
Akım : 7A

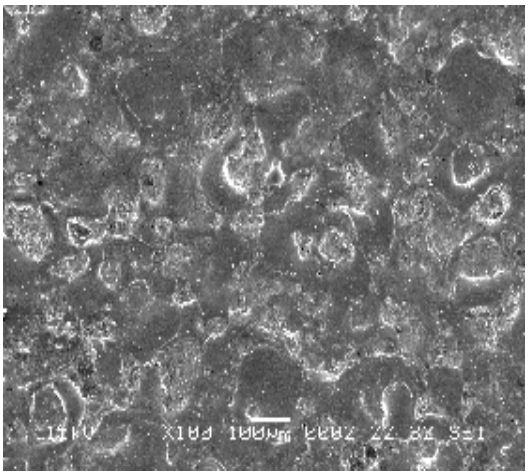
İşleme zamanı : 25 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı + 10 g/l SiC

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.67 Gazyağı + 10 g/l SiC, 7 A şartlarında işlenen numunenin 25 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





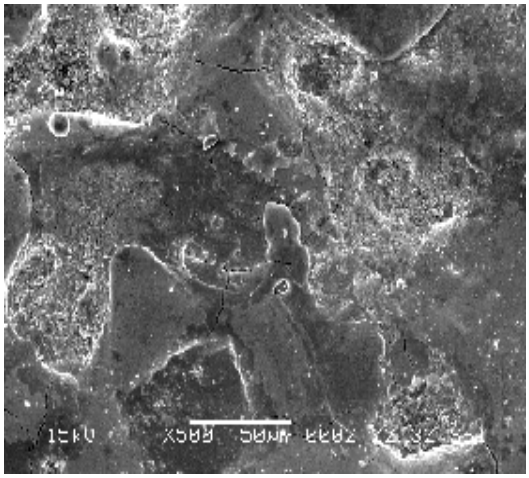
Numune Adı : IF 23

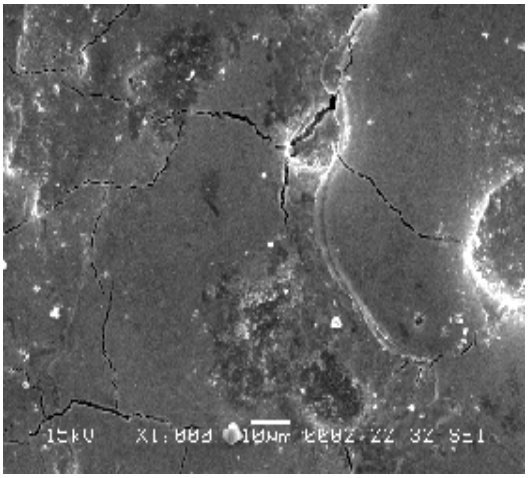
Akım : 7A

İşleme zamanı : 100 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı + 10 g/l SiC

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 23

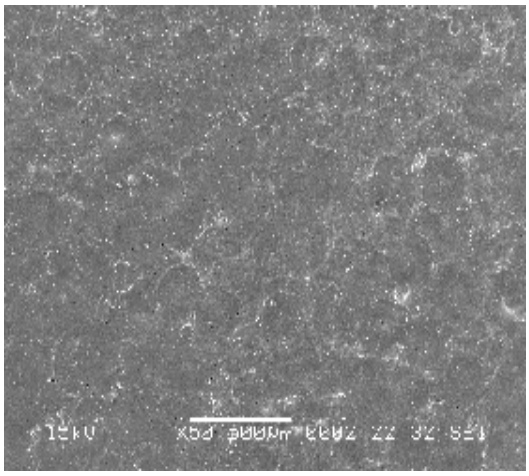
Akım : 7A

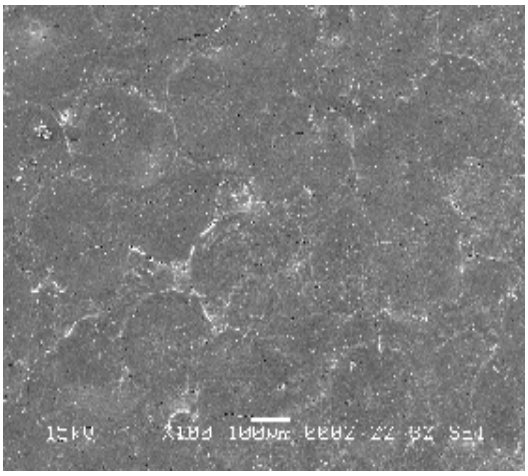
İşleme zamanı : 100 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı + 10 g/l SiC

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.68 Gazyağı + 10 g/l SiC, 7 A şartlarında işlenen numunenin 100 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





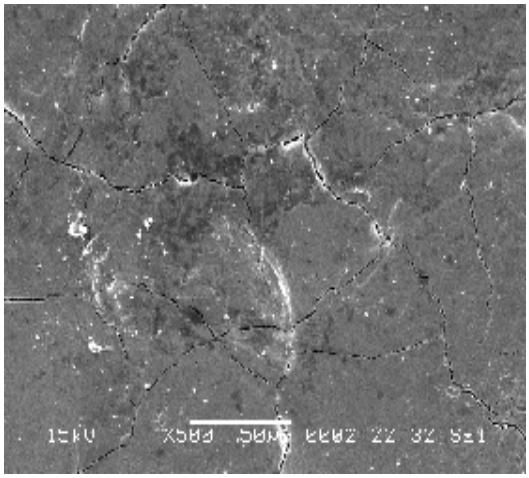
Numune Adı : IF 23

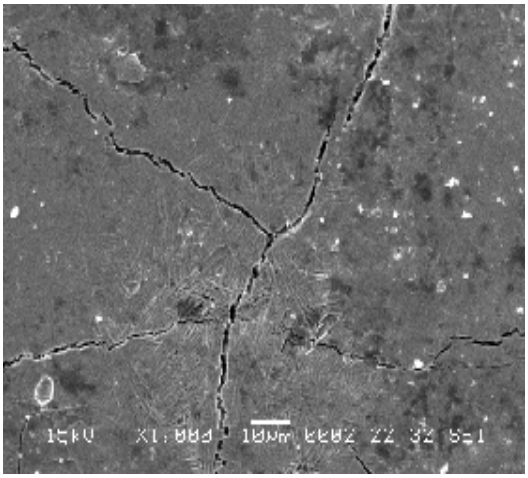
Akım : 7A

İşleme zamanı : 400 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı + 10 g/l SiC

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 23

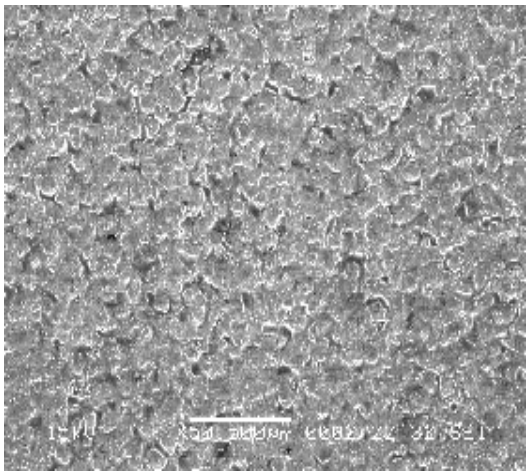
Akım : 7A

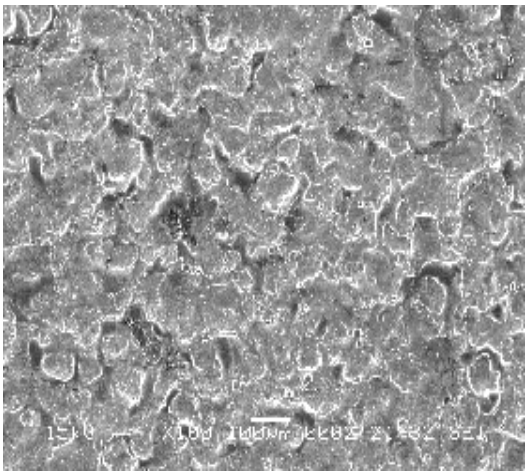
İşleme zamanı : 400 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı + 10 g/l SiC

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.69 Gazyağı + 10 g/l SiC, 7 A şartlarında işlenen numunenin 400 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





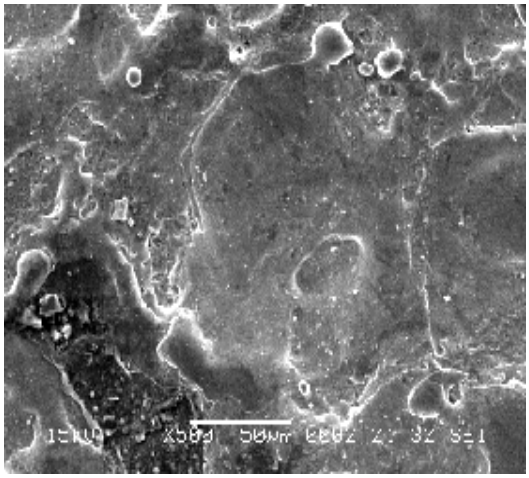
Numune Adı : IF 24

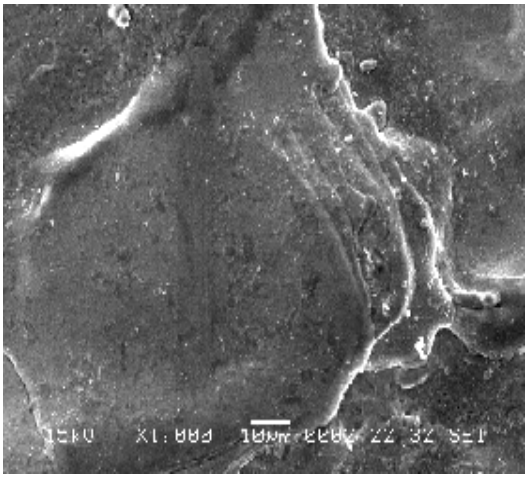
Akım : 7A

İşleme zamanı : 25 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı + 15 g/l SiC

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 24

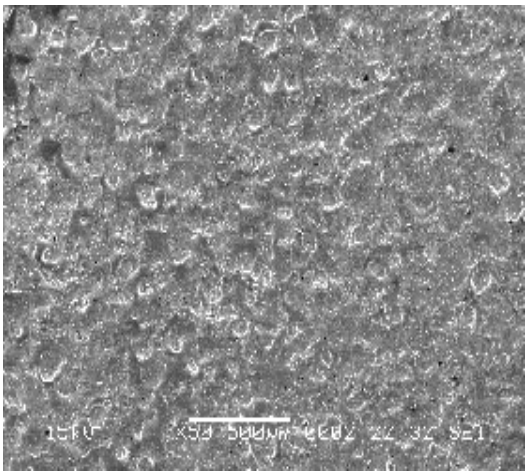
Akım : 7A

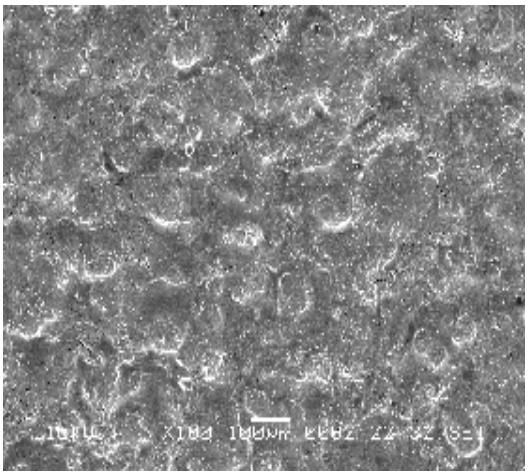
İşleme zamanı : 25 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı + 15 g/l SiC

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.70 Gazyağı + 15 g/l SiC, 7 A şartlarında işlenen numunenin 25 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





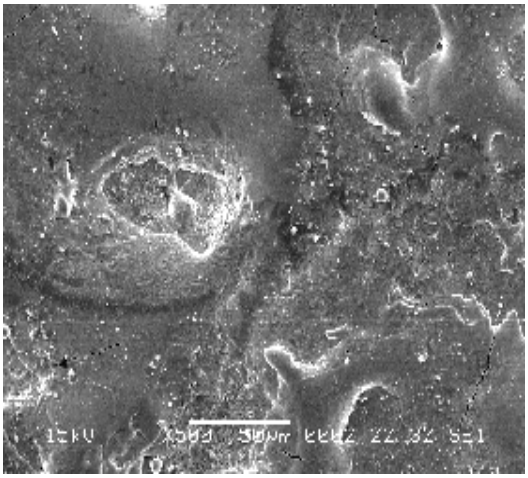
Numune Adı : IF 24

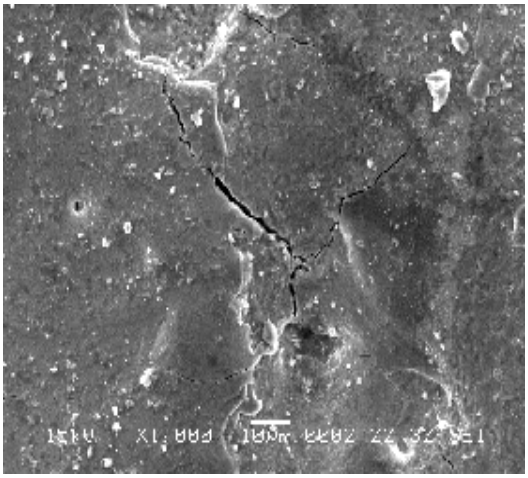
Akım : 7A

İşleme zamanı : 100 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı + 15 g/l SiC

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 24

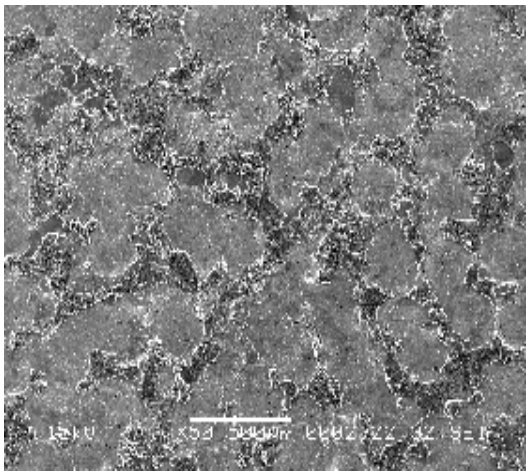
Akım : 7A

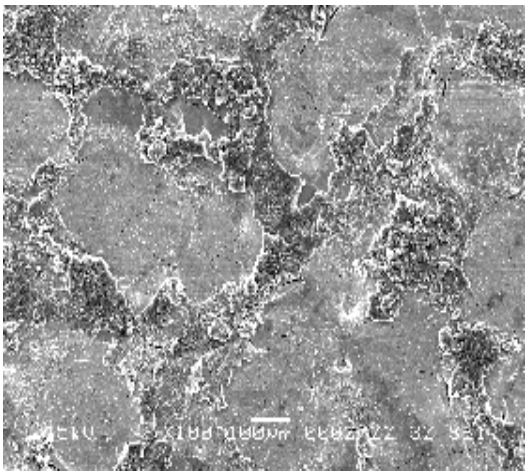
İşleme zamanı : 100 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı + 15 g/l SiC

c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.71 Gazyağı + 15 g/l SiC, 7 A şartlarında işlenen numunenin 100 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.





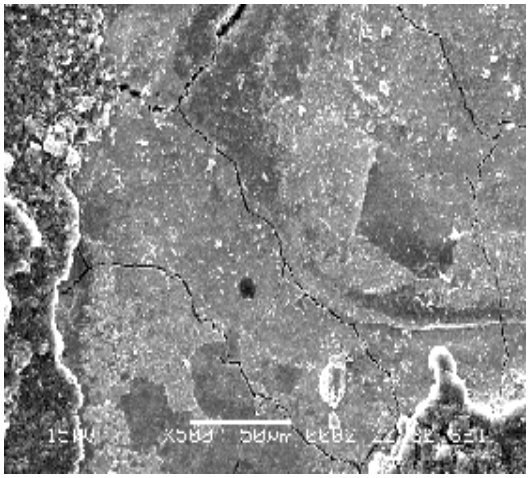
Numune Adı : IF 24

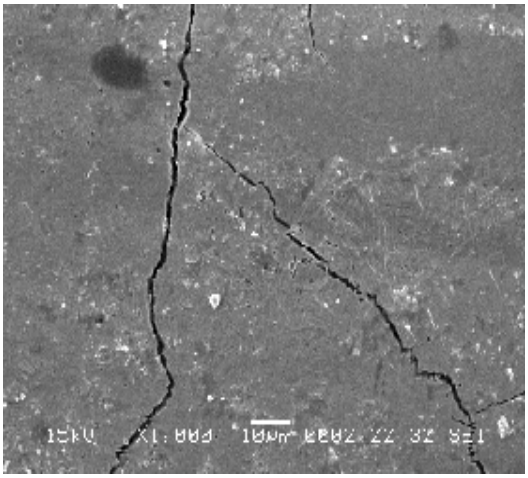
Akım : 7A

İşleme zamanı : 400 µs

Di-elektrik sıvı : Gazyağı + 15 g/l SiC

a) 50 büyütme b) 100 büyütme





Numune Adı : IF 24

Akım : 7A

İşleme zamanı : 400 µs

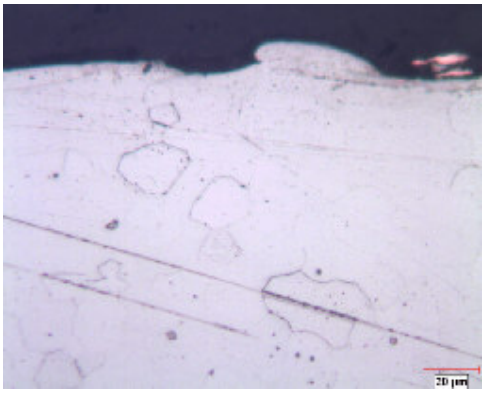
Di-elektrik sıvı : Gazyağı + 15 g/l SiC

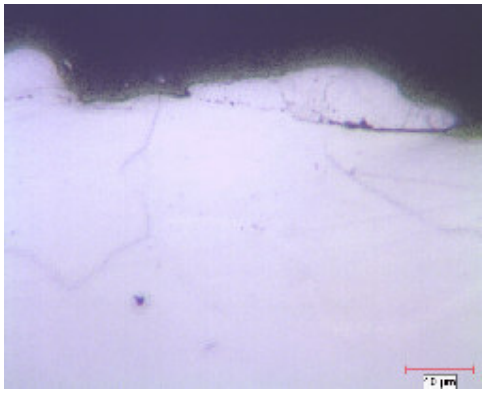
c) 500 büyütme d) 1000 büyütme

Şekil A.72 Gazyağı + 15 g/l SiC, 7 A şartlarında işlenen numunenin 400 µs işleme zamanında 50, 100, 500, 1000 büyütme elektron mikroskobu görüntüleri.

EK AÇIKLAMALAR B

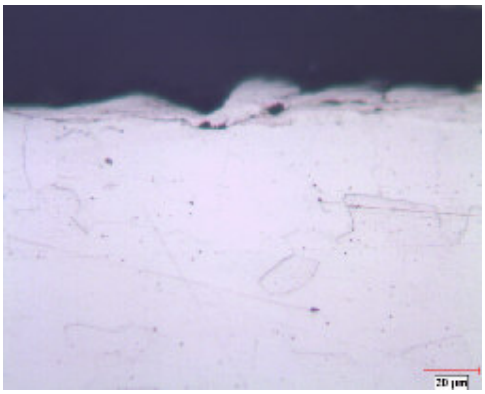
IF ÇELİĞİ NUMUNELERİNDE, İŞLEME ŞARTLARININ BEYAZ KATMAN ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ – OPTİK MİKROSKOP GÖRÜNTÜLERİ

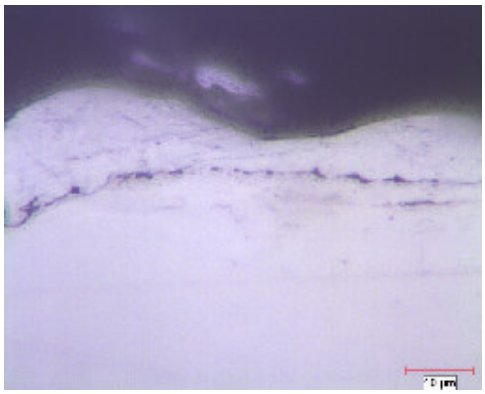




a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

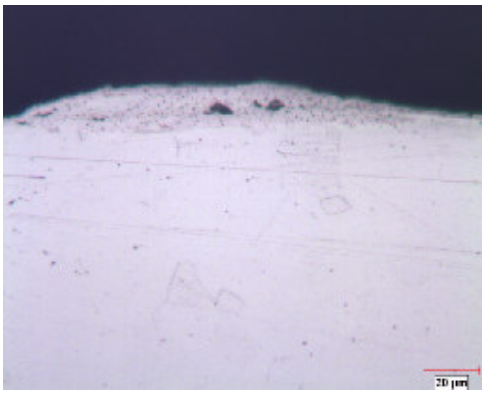
IF 01, Akım : 22A, İşleme zamanı : 25 µs, Di-elektrik sıvı:De-iyonize Su

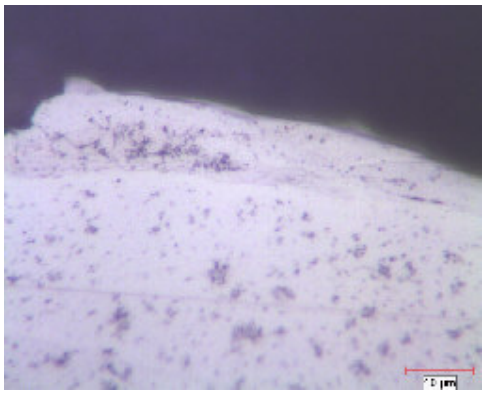




a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

IF 01, Akım : 22A, İşleme zamanı : 100 µs, Di-elektrik sıvı:De-iyonize Su

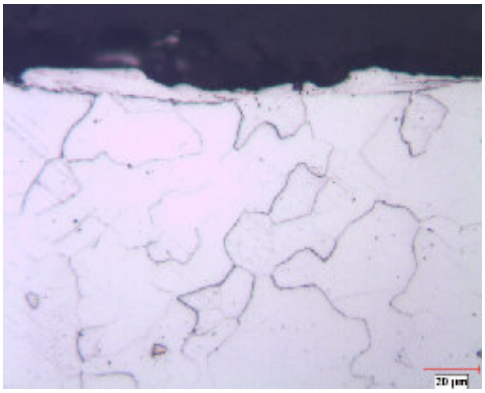


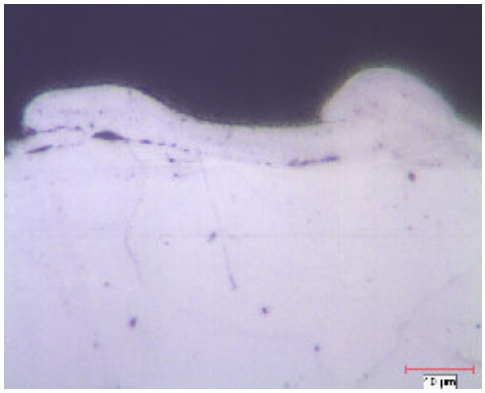


a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

IF 01, Akım : 22A, İşleme zamanı : 400 µs, Di-elektrik sıvı:De-iyonize Su

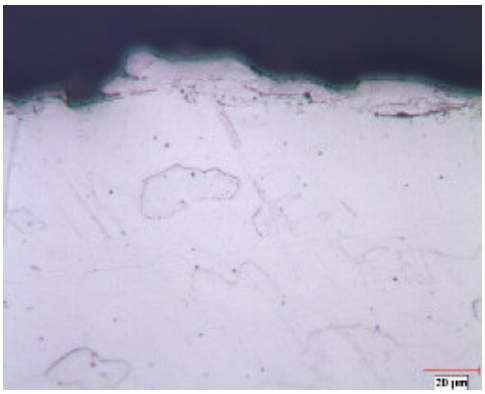
Şekil B.1 De-iyonize su, 22 A şartlarında işlenen numunenin 400 ve 1000 büyütme optik mikroskop görüntüleri.

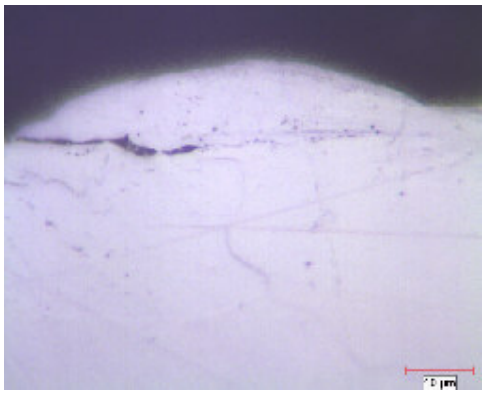




a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

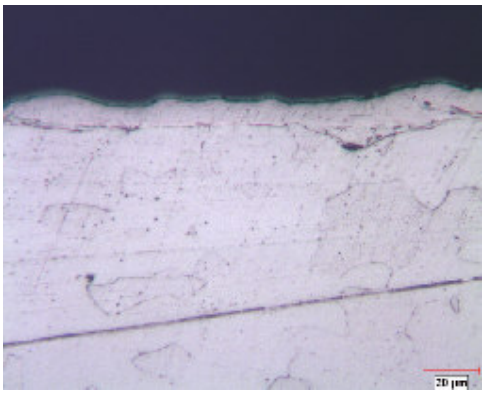
IF 02, Akım : 22A, İşleme zamanı : 25 µs, De-iyonize Su + 5 g/l SiC

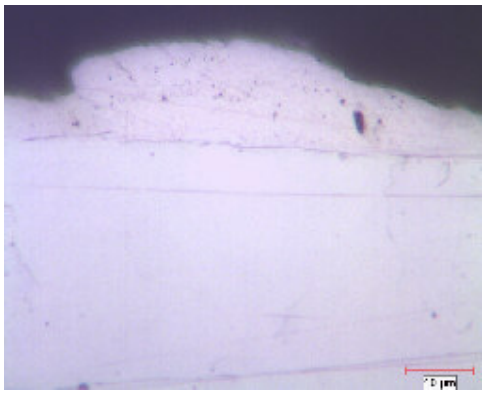




a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

IF 02, Akım : 22A, İşleme zamanı : 100 µs, De-iyonize Su + 5 g/l SiC

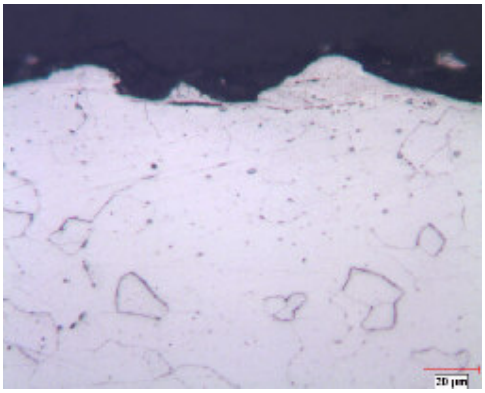


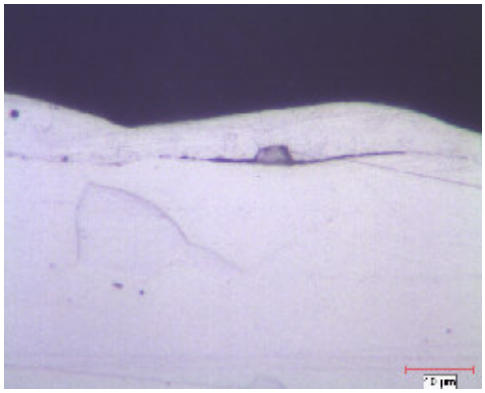


a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

IF 02, Akım : 22A, İşleme zamanı : 400 µs, De-iyonize Su + 5 g/l SiC

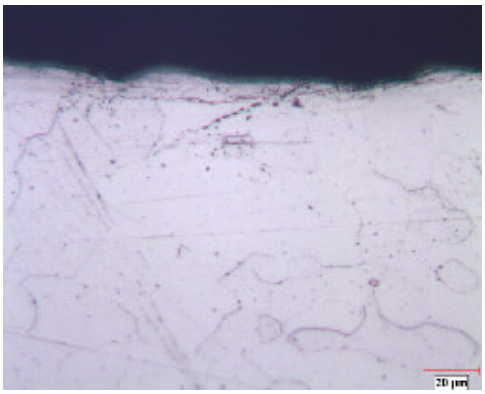
Şekil B.2 De-iyonize su + 5 g/l SiC, 22 A şartlarında işlenen numunenin 400 ve 1000 büyütme optik mikroskop görüntüleri.

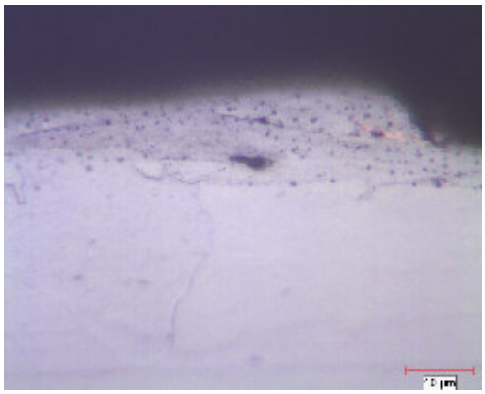




a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

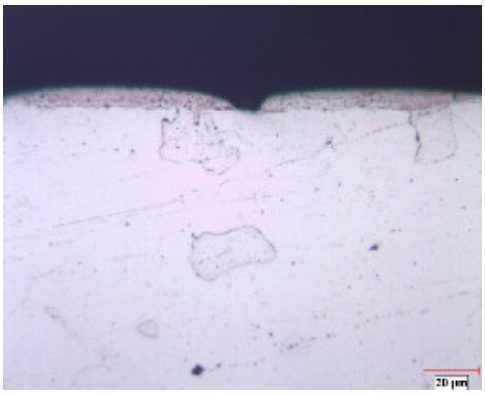
IF 03, Akım : 22A, İşleme zamanı : 25 µs, De-iyonize Su + 10 g/l SiC

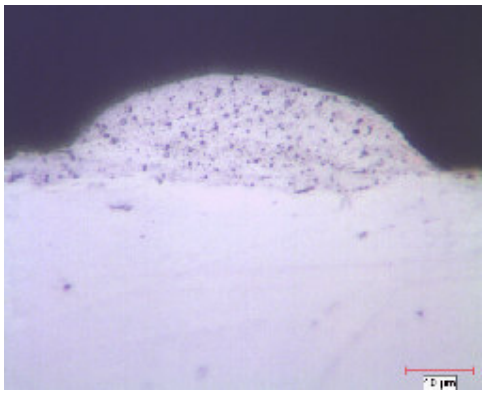




a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

IF 03, Akım : 22A, İşleme zamanı : 100 µs, De-iyonize Su + 10 g/l SiC

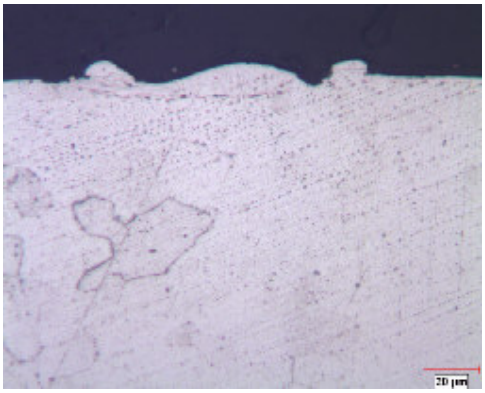


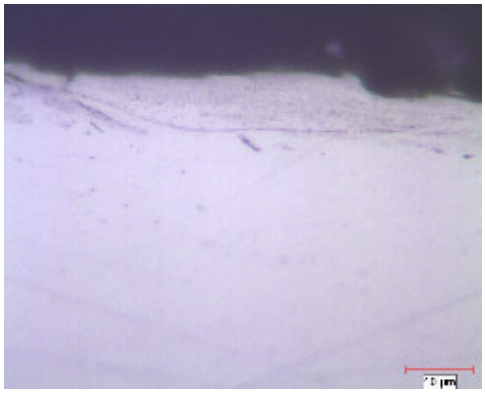


a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

IF 03, Akım : 22A, İşleme zamanı : 400 µs, De-iyonize Su + 10 g/l SiC

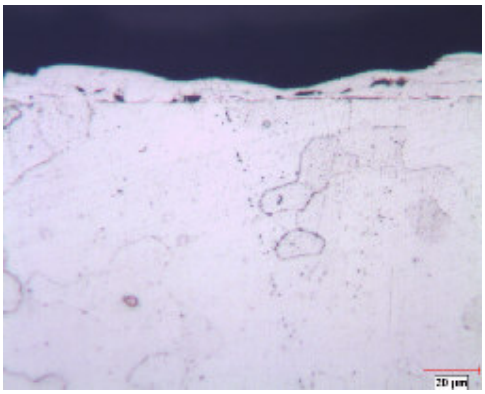
Şekil B.3 De-iyonize su + 10 g/l SiC, 22 A şartlarında işlenen numunenin 400 ve 1000 büyütme optik mikroskop görüntüleri.

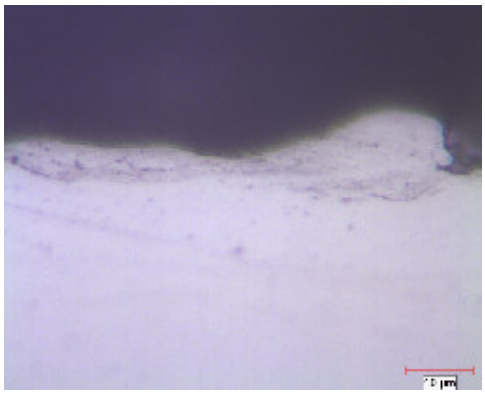




a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

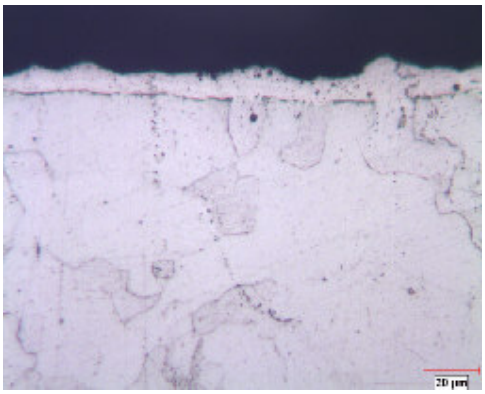
IF 04, Akım : 22A, İşleme zamanı : 25 µs, De-iyonize Su + 15 g/l SiC

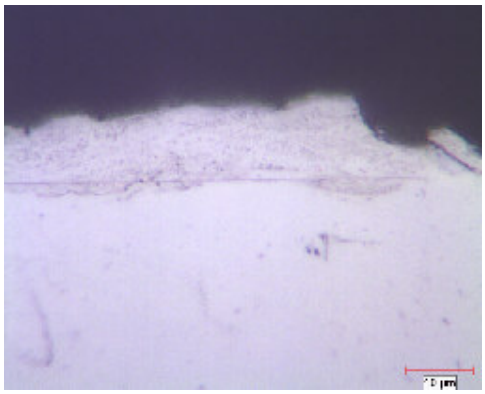




a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

IF 04, Akım : 22A, İşleme zamanı : 100 µs, De-iyonize Su + 15 g/l SiC

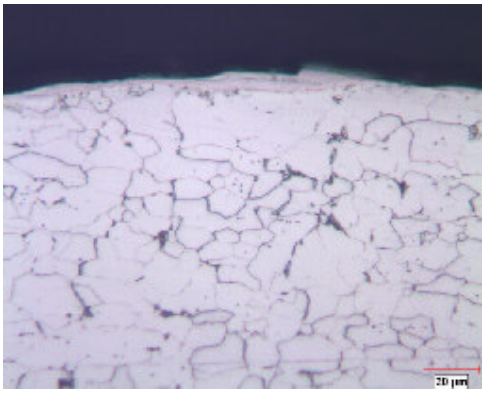
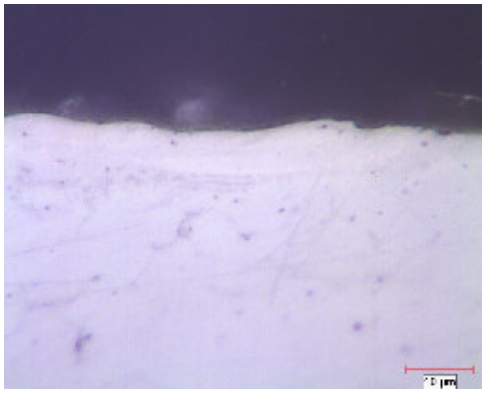




a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

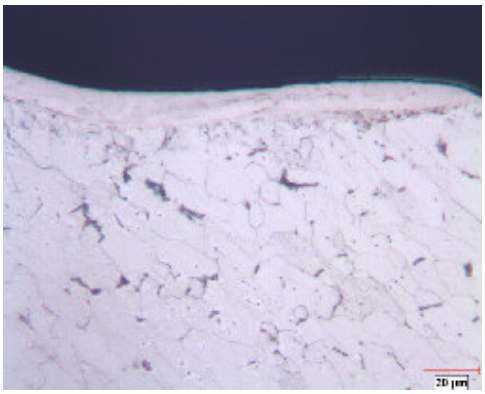
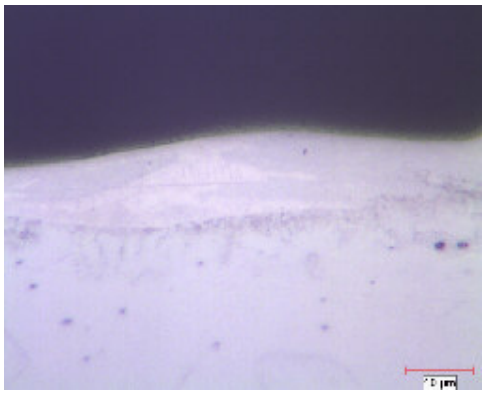
IF 04, Akım : 22A, İşleme zamanı : 400 µs, De-iyonize Su + 15 g/l SiC

Şekil B.4 De-iyonize su + 15 g/l SiC, 22 A şartlarında işlenen numunenin 400 ve 1000 büyütme optik mikroskop görüntüleri.

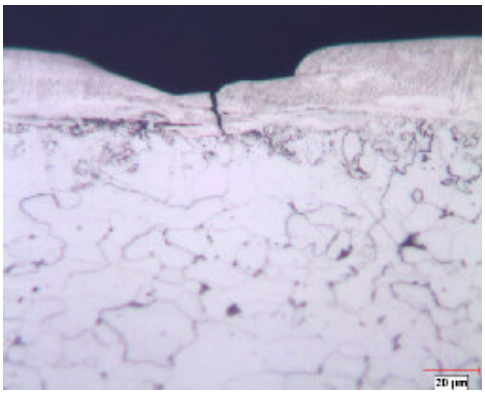
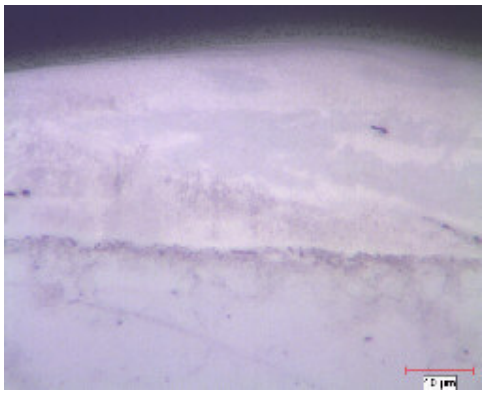
a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

IF 05, Akım : 22A, İşleme zamanı : 25 µs, Gazyağı

a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

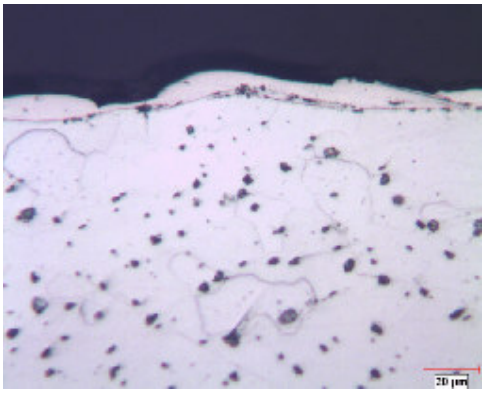
IF 05, Akım : 22A, İşleme zamanı : 100 µs, Gazyağı

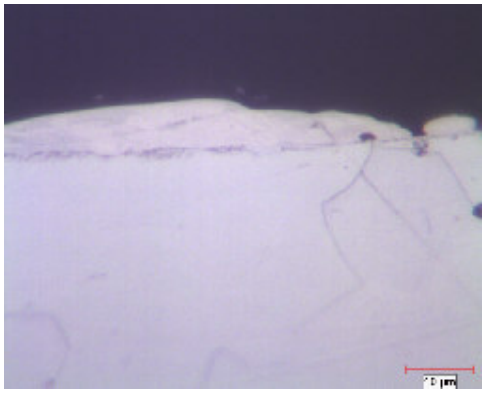
a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

IF 05, Akım : 22A, İşleme zamanı : 400 µs, Gazyağı

Şekil B.5 Gazyağı, 22 A şartlarında işlenen numunenin 400 ve 1000 büyütme optik mikroskop görüntüleri.

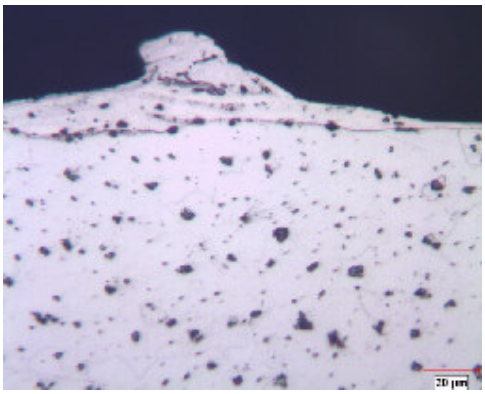


a) 400 büyütme



b) 1000 büyütme

IF 06, Akım : 22A, İşleme zamanı : 25 µs, Gazyağı + 5 g/l SiC

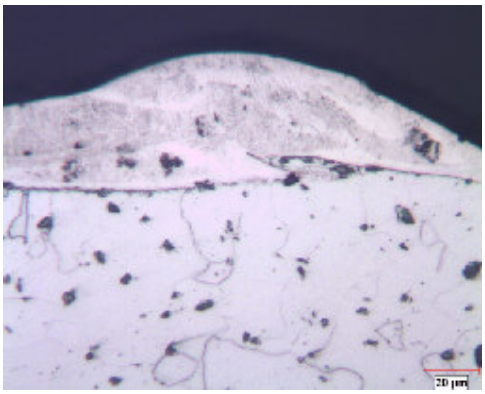


a) 400 büyütme

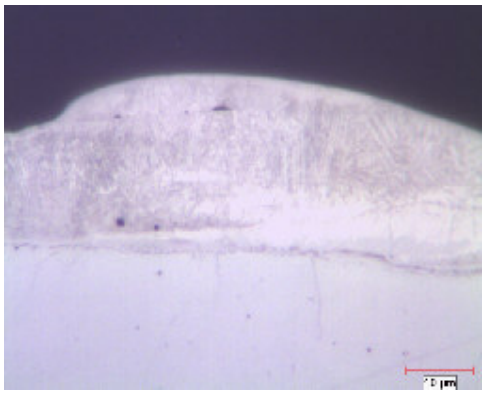


b) 1000 büyütme

IF 06, Akım : 22A, İşleme zamanı : 100 µs, Gazyağı + 5 g/l SiC



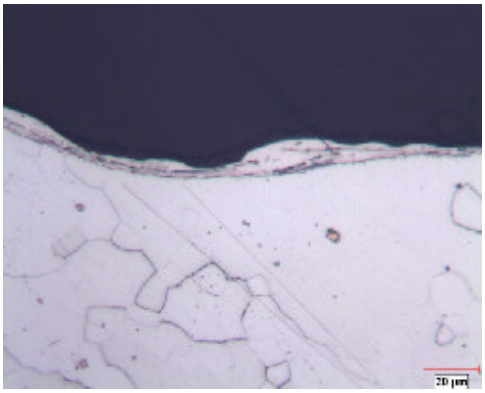
a) 400 büyütme

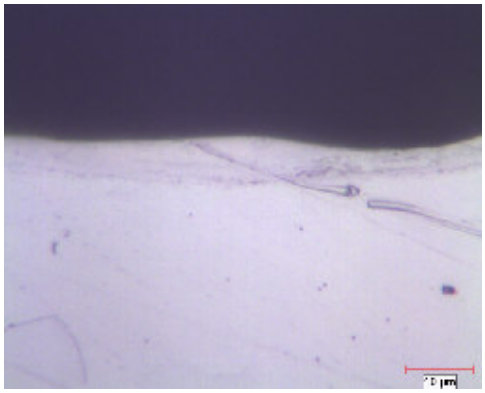


b) 1000 büyütme

IF 06, Akım : 22A, İşleme zamanı : 400 µs, Gazyağı + 5 g/l SiC

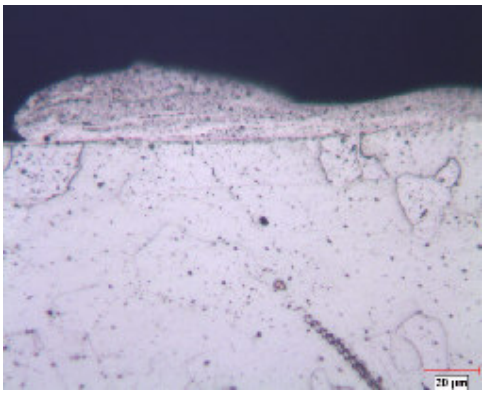
Şekil B.6 Gazyağı + 5 g/l SiC, 22 A şartlarında işlenen numunenin 400 ve 1000 büyütme optik mikroskop görüntüleri.

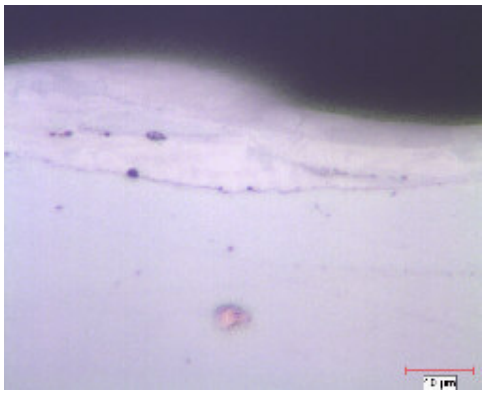




a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

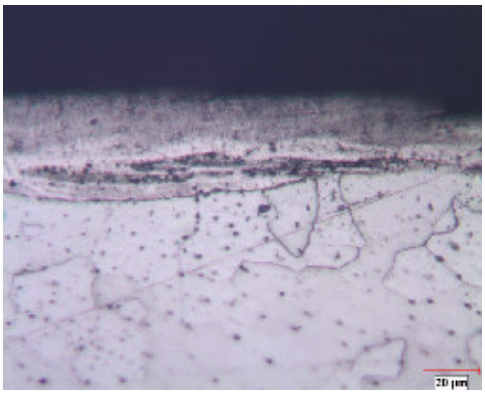
IF 07, Akım : 22A, İşleme zamanı : 25 µs, Gazyağı + 10 g/l SiC

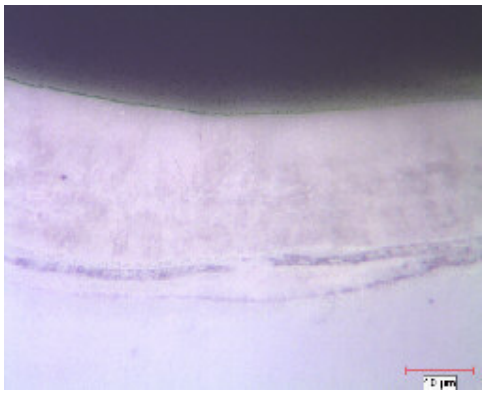




a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

IF 07, Akım : 22A, İşleme zamanı : 100 µs, Gazyağı + 10 g/l SiC

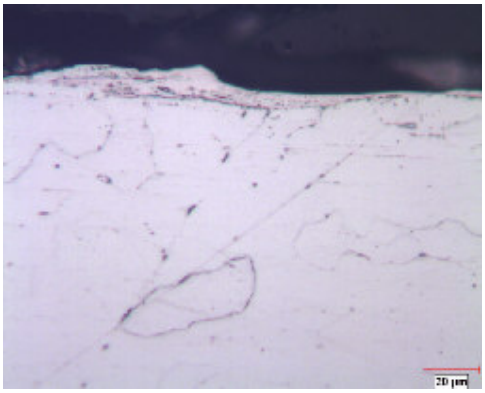
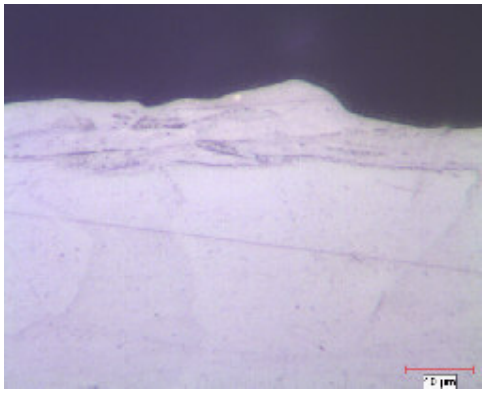




a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

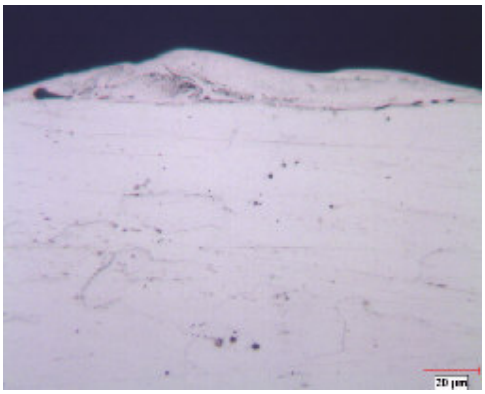
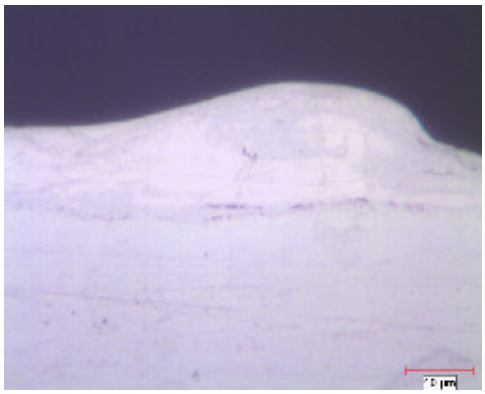
IF 07, Akım : 22A, İşleme zamanı : 400 µs, Gazyağı + 10 g/l SiC

Şekil B.7 Gazyağı + 10 g/l SiC, 22 A şartlarında işlenen numunenin 400 ve 1000 büyütme optik mikroskop görüntüleri.

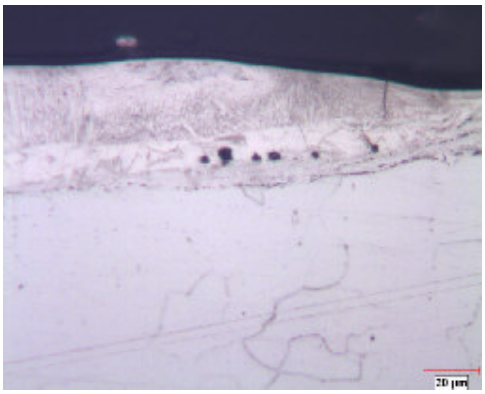
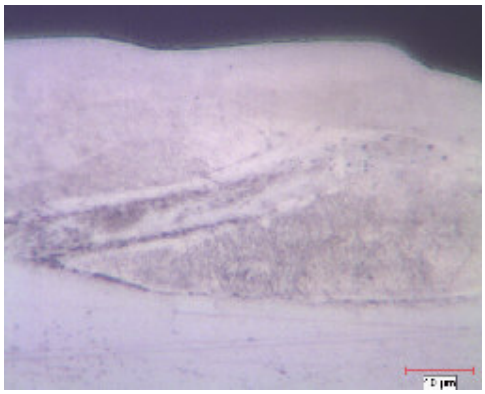
a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

IF 08, Akım : 22A, İşleme zamanı : 25 µs, Gazyağı + 15 g/l SiC

a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

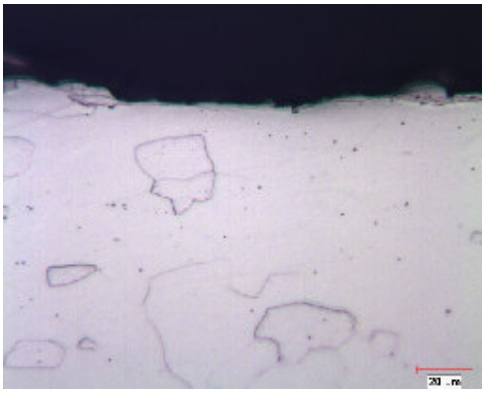
IF 08, Akım : 22A, İşleme zamanı : 100 µs, Gazyağı + 15 g/l SiC

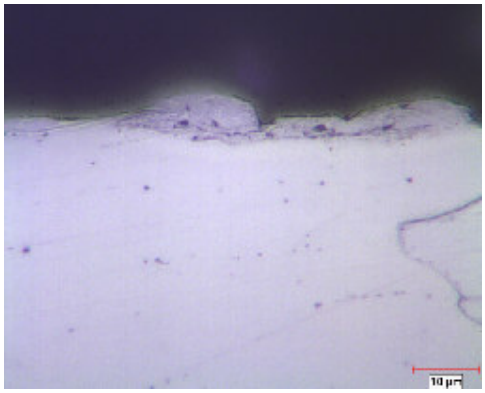



a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

IF 08, Akım : 22A, İşleme zamanı : 400 µs, Gazyağı + 15 g/l SiC

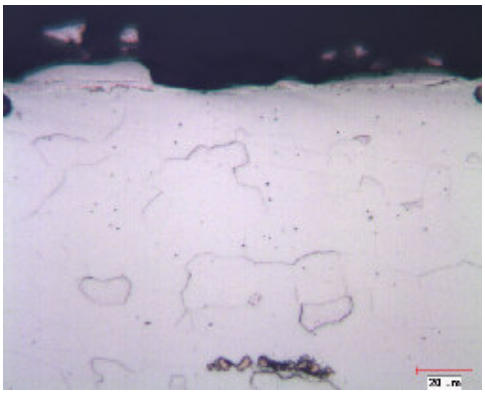
Şekil B.8 Gazyağı + 15 g/l SiC, 22 A şartlarında işlenen numunenin 400 ve 1000 büyütme optik mikroskop görüntüleri.

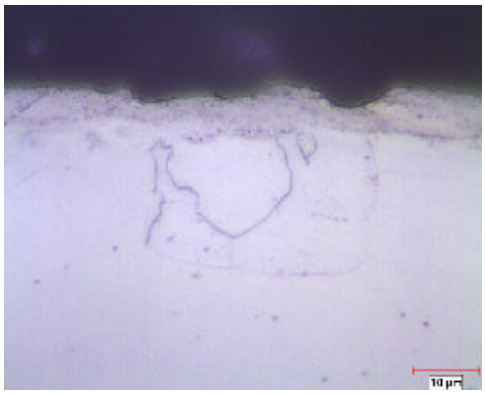




a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

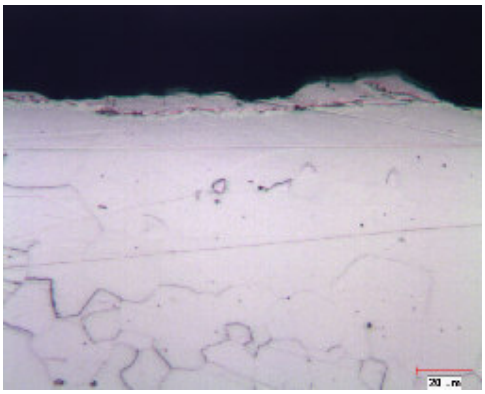
IF 09, Akım : 14A, İşleme zamanı : 25 µs, De-iyonize Su

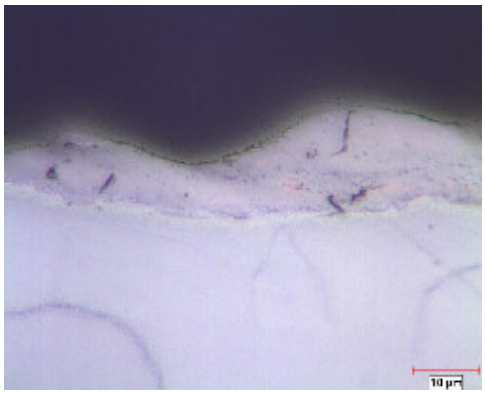




a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

IF 09, Akım : 14A, İşleme zamanı : 100 µs, De-iyonize Su

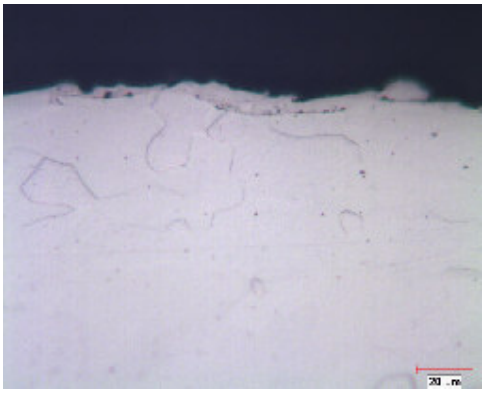


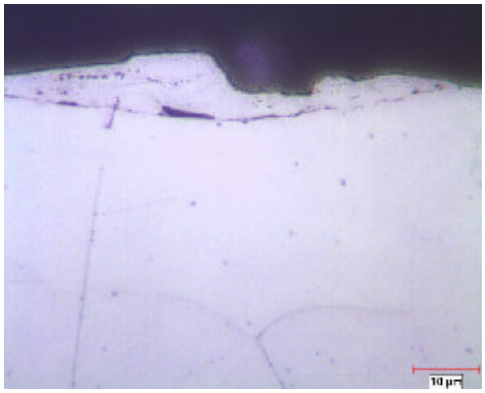


a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

IF 09, Akım : 14A, İşleme zamanı : 400 µs, De-iyonize Su

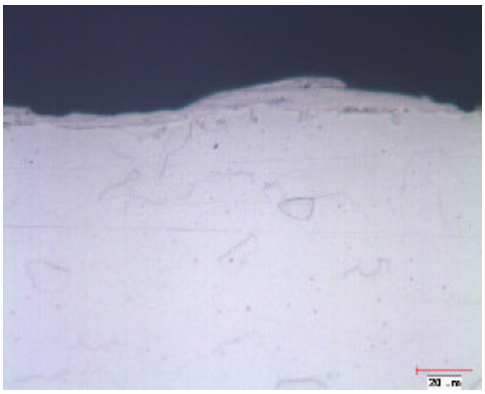
Şekil B.9 De-iyonize su, 14 A şartlarında işlenen numunenin 400 ve 1000 büyütme optik mikroskop görüntüleri.

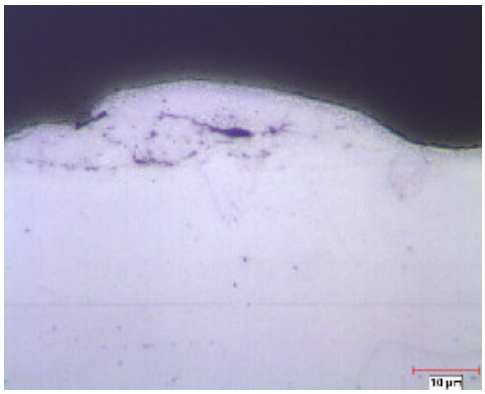




a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

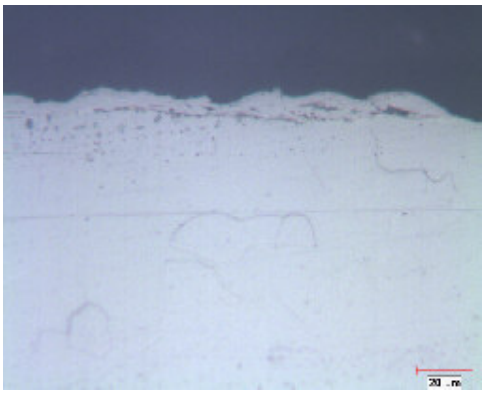
IF 10, Akım : 14A, İşleme zamanı : 25 µs, De-iyonize Su + 5 g/l SiC

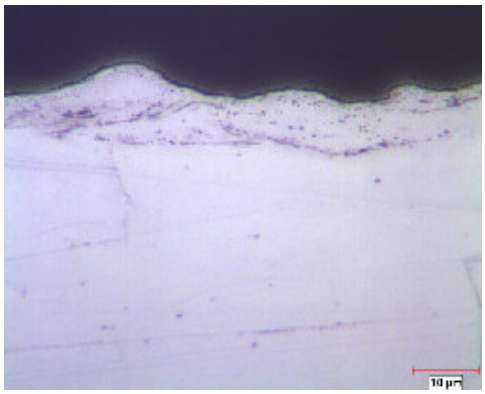




a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

IF 10, Akım : 14A, İşleme zamanı : 100 µs, De-iyonize Su + 5 g/l SiC

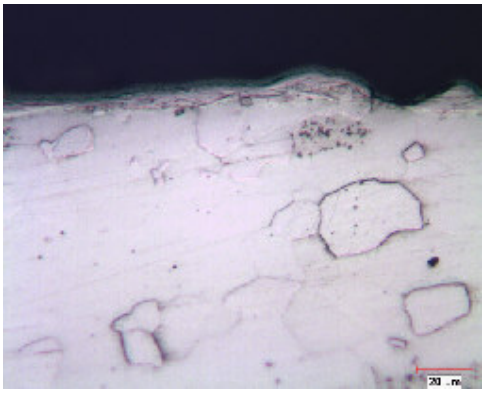


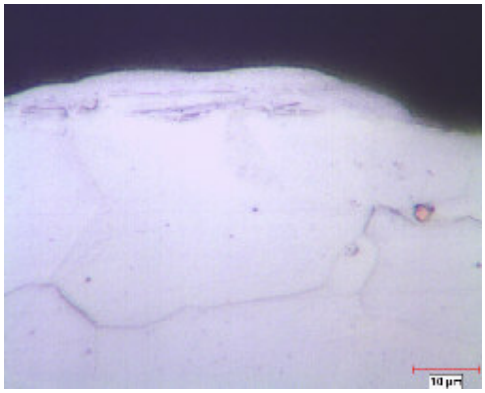


a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

IF 10, Akım : 14A, İşleme zamanı : 400 µs, De-iyonize Su + 5 g/l SiC

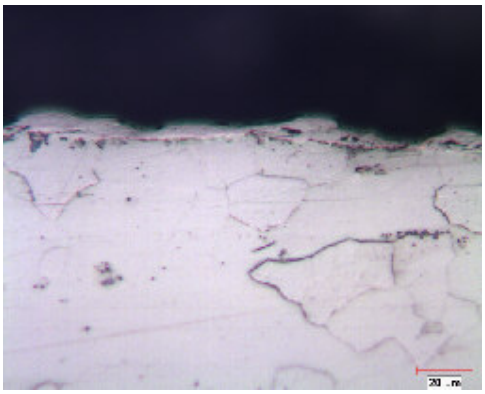
Şekil B.10 De-iyonize su + 5 g/l SiC, 14 A şartlarında işlenen numunenin 400 ve 1000 büyütme optik mikroskop görüntüleri.

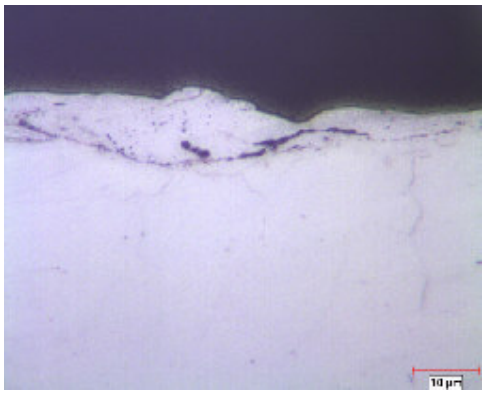




a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

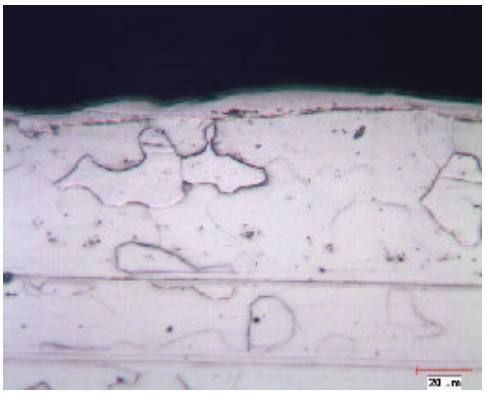
IF 11, Akım : 14A, İşleme zamanı : 25 µs, De-iyonize Su + 10 g/l SiC

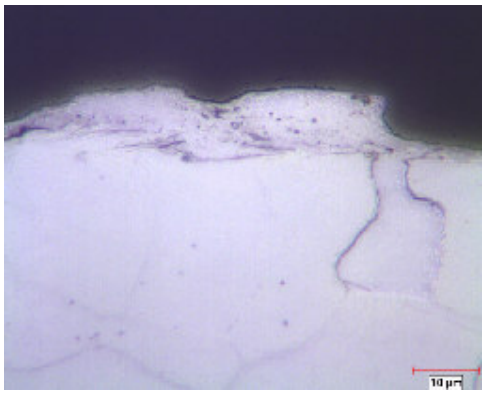




a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

IF 11, Akım : 14A, İşleme zamanı : 100 µs, De-iyonize Su + 10 g/l SiC

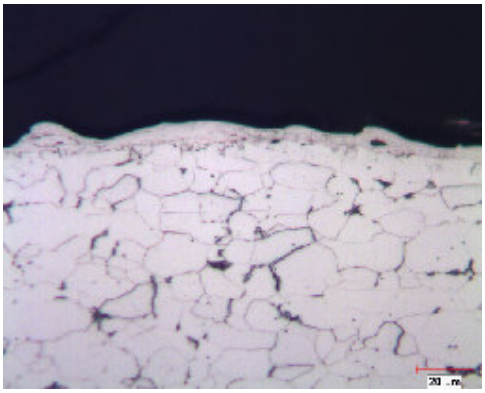


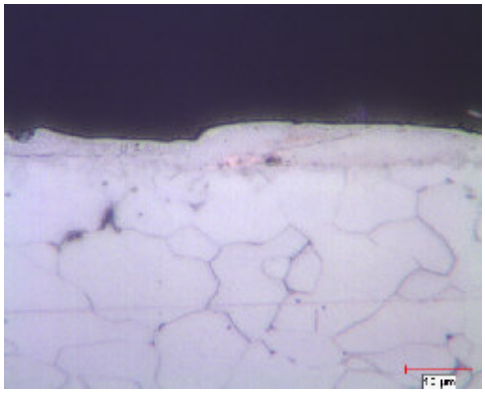


a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

IF 11, Akım : 14A, İşleme zamanı : 400 µs, De-iyonize Su + 10 g/l SiC

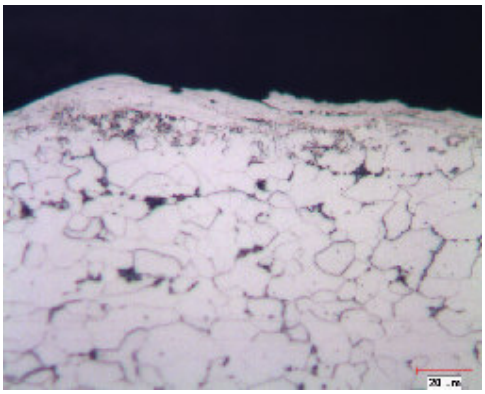
Şekil B.11 De-iyonize su + 10 g/l SiC, 14 A şartlarında işlenen numunenin 400 ve 1000 büyütme optik mikroskop görüntüleri.





a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

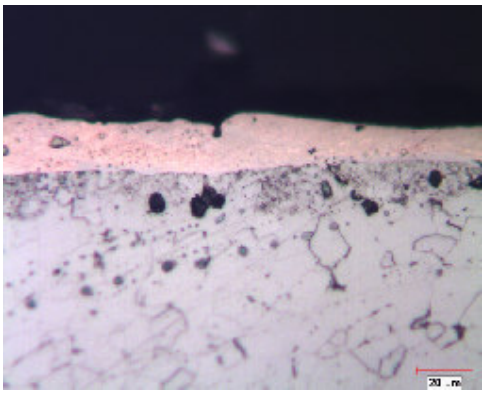
IF 12, Akım : 14A, İşleme zamanı : 25 µs, De-iyonize Su + 15 g/l SiC

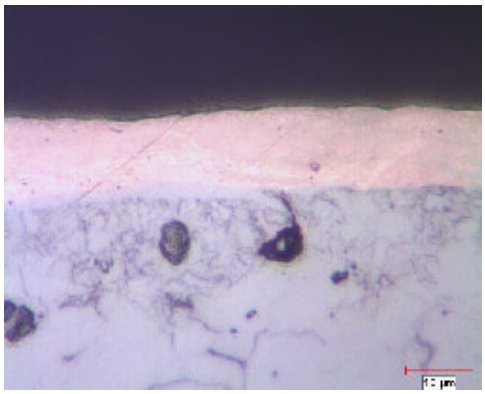




a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

IF 12, Akım : 14A, İşleme zamanı : 100 µs, De-iyonize Su + 15 g/l SiC

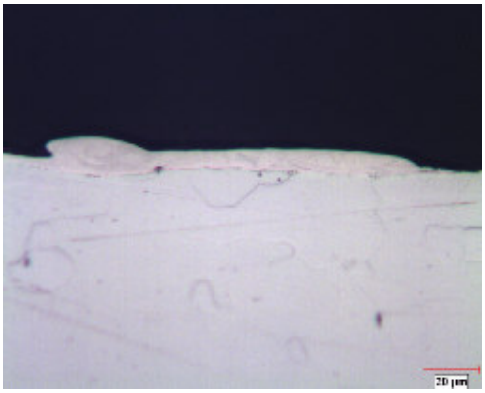


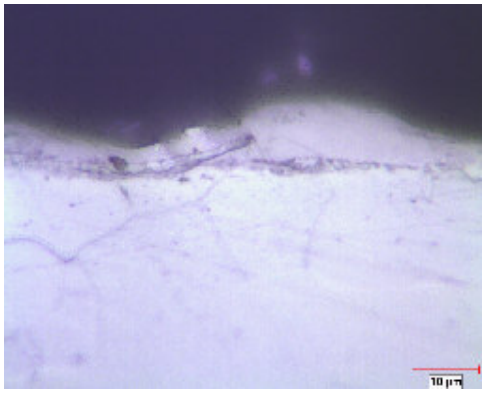


a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

IF 12, Akım : 14A, İşleme zamanı : 400 µs, De-iyonize Su + 15 g/l SiC

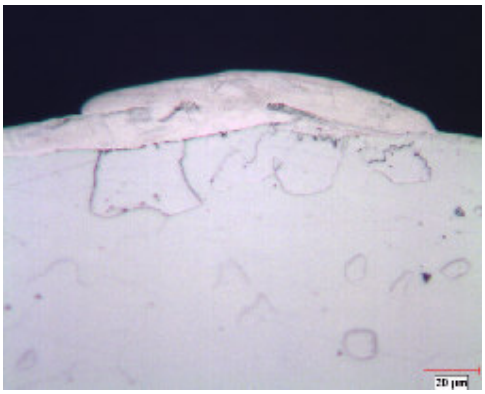
Şekil B.12 De-iyonize su + 15 g/l SiC, 14 A şartlarında işlenen numunenin 400 ve 1000 büyütme optik mikroskop görüntüleri.

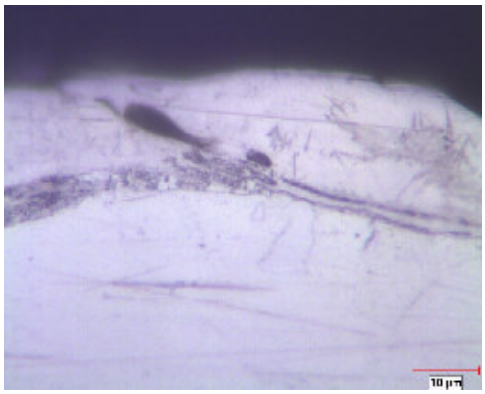




a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

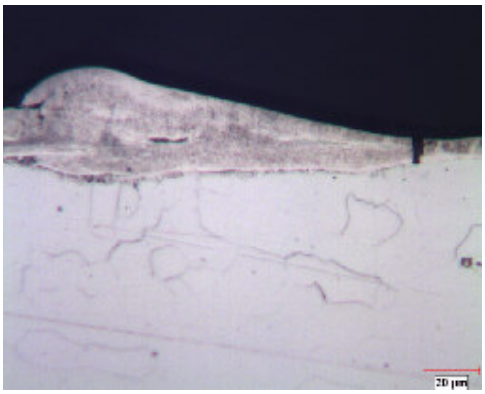
IF 13, Akım : 14A, İşleme zamanı : 25 µs, Gazyağı

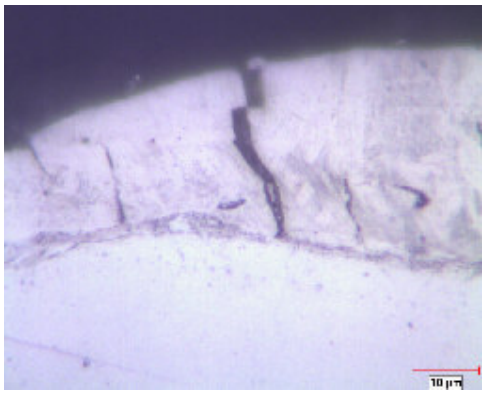




a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

IF 13, Akım : 14A, İşleme zamanı : 100 µs, Gazyağı

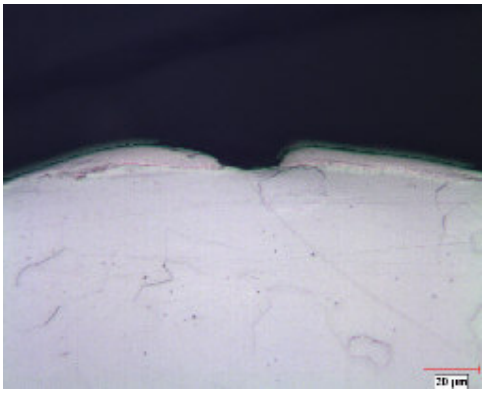


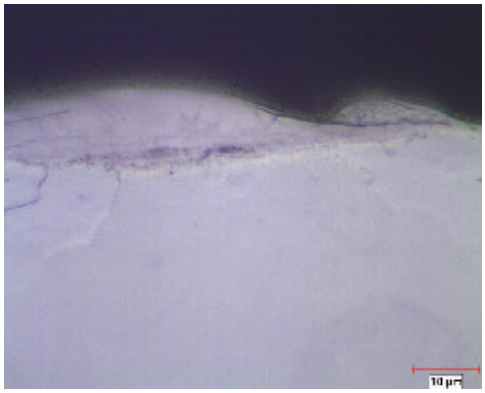


a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

IF 13, Akım : 14A, İşleme zamanı : 400 µs, Gazyağı

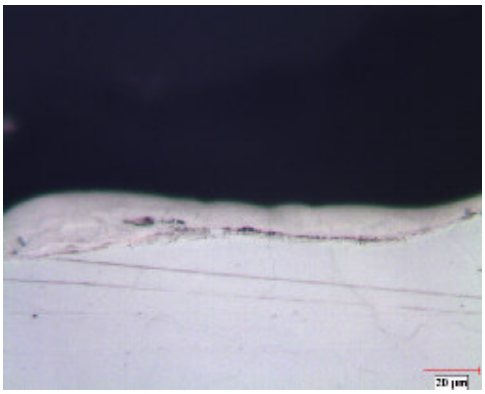
Şekil B.13 Gazyağı, 14 A şartlarında işlenen numunenin 400 ve 1000 büyütme optik mikroskop görüntüleri.

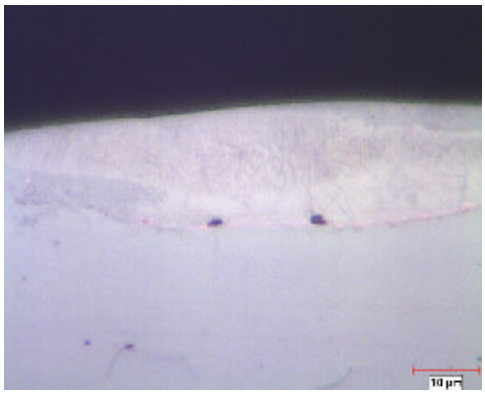




a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

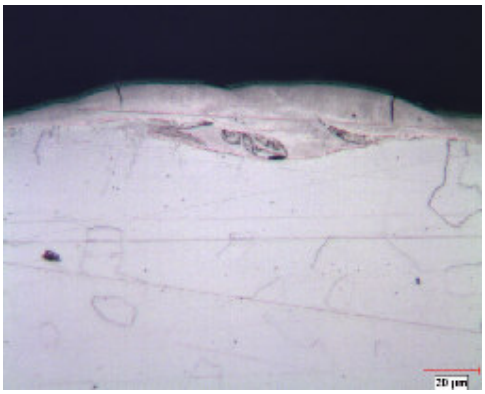
IF 14, Akım : 14A, İşleme zamanı : 25 µs, Gazyağı + 5 g/l SiC

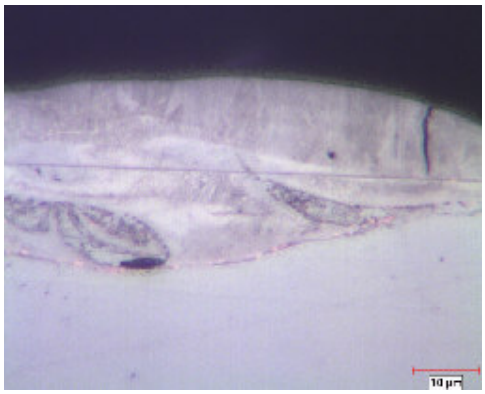




a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

IF 14, Akım : 14A, İşleme zamanı : 100 µs, Gazyağı + 5 g/l SiC

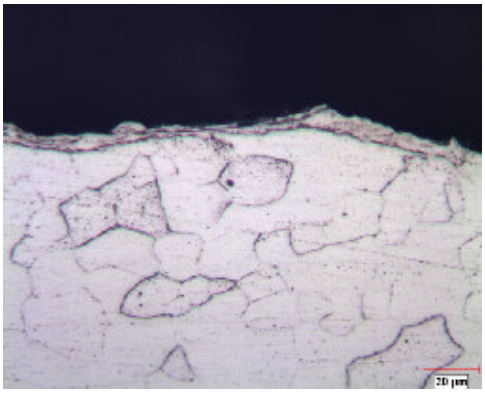


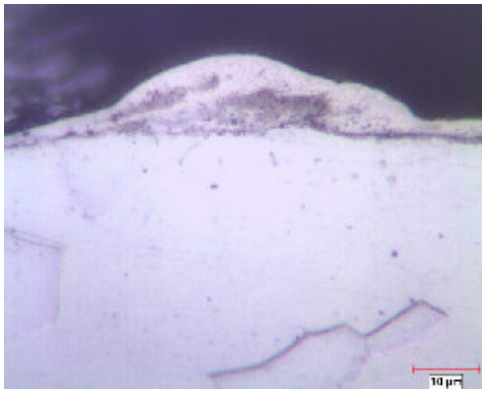


a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

IF 14, Akım : 14A, İşleme zamanı : 400 µs, Gazyağı + 5 g/l SiC

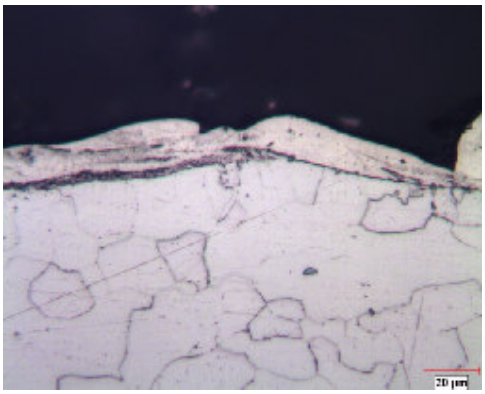
Şekil B.14 Gazyağı + 5 g/l SiC, 14 A şartlarında işlenen numunenin 400 ve 1000 büyütme optik mikroskop görüntüleri.

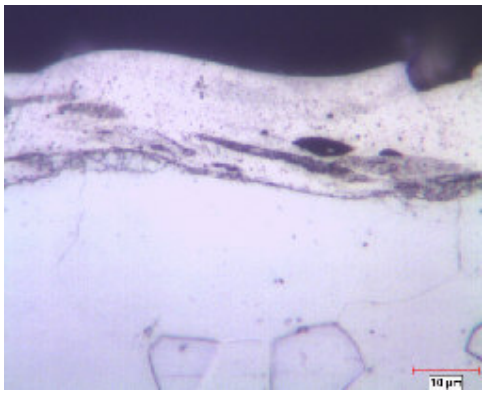




a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

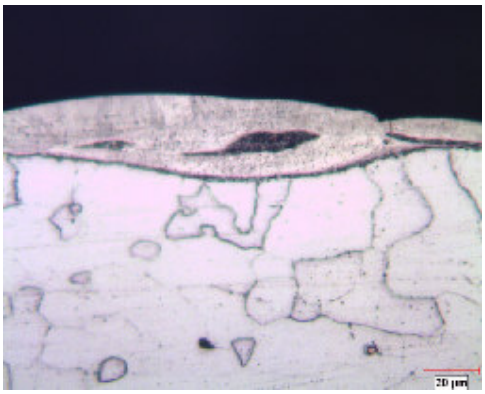
IF 15, Akım : 14A, İşleme zamanı : 25 µs, Gazyağı + 10 g/l SiC

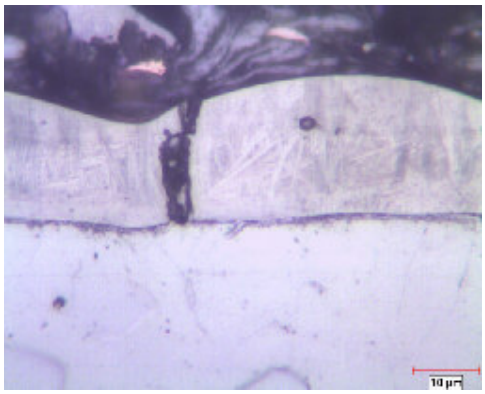




a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

IF 15, Akım : 14A, İşleme zamanı : 100 µs, Gazyağı + 10 g/l SiC

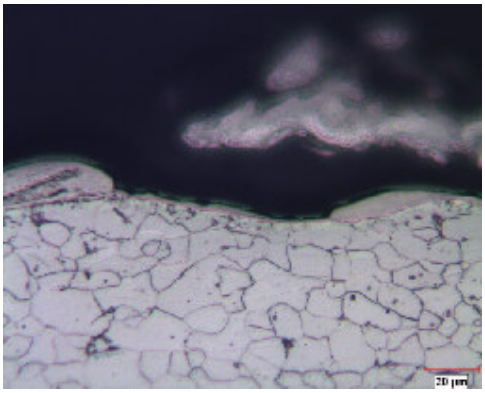


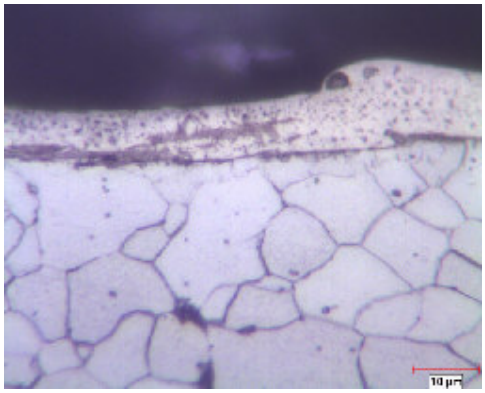


a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

IF 15, Akım : 14A, İşleme zamanı : 400 µs, Gazyağı + 10 g/l SiC

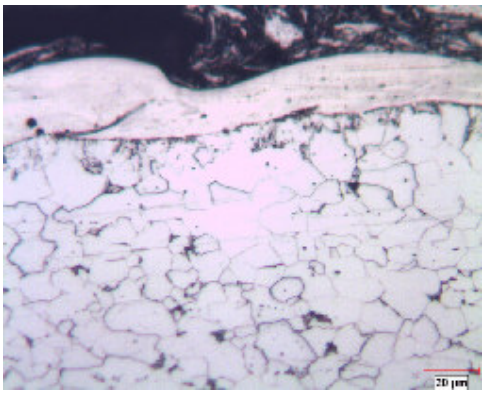
Şekil B.15 Gazyağı + 10 g/l SiC, 14 A şartlarında işlenen numunenin 400 ve 1000 büyütme optik mikroskop görüntüleri.

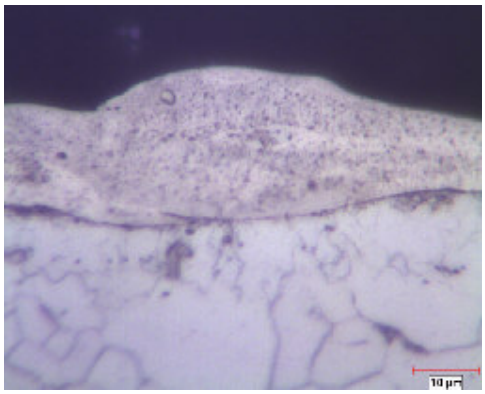




a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

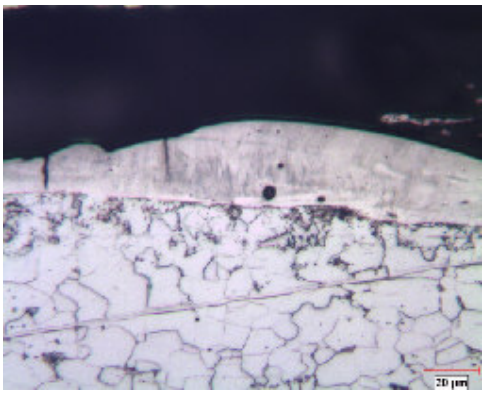
IF 16, Akım : 14A, İşleme zamanı : 25 µs, Gazyağı + 15 g/l SiC

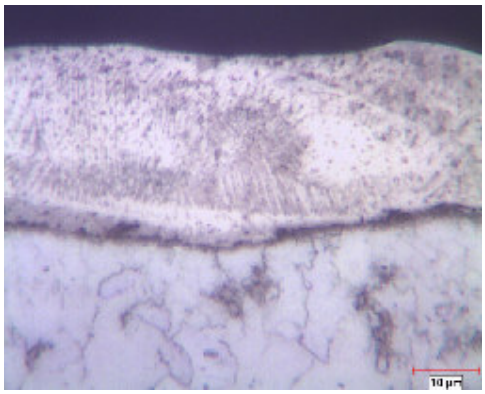




a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

IF 16, Akım : 14A, İşleme zamanı : 100 µs, Gazyağı + 15 g/l SiC

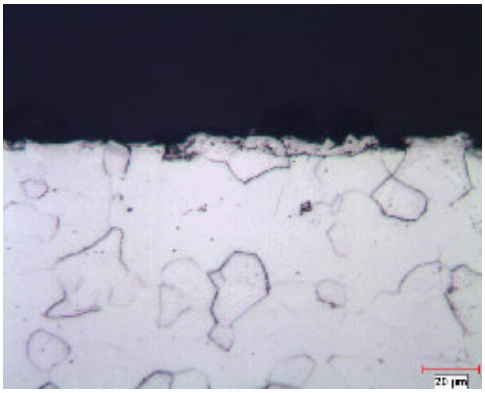


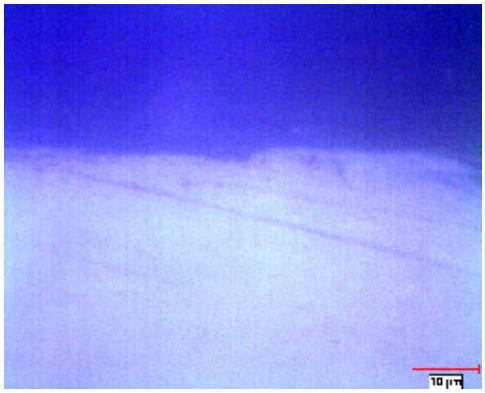


a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

IF 16, Akım : 14A, İşleme zamanı : 400 µs, Gazyağı + 15 g/l SiC

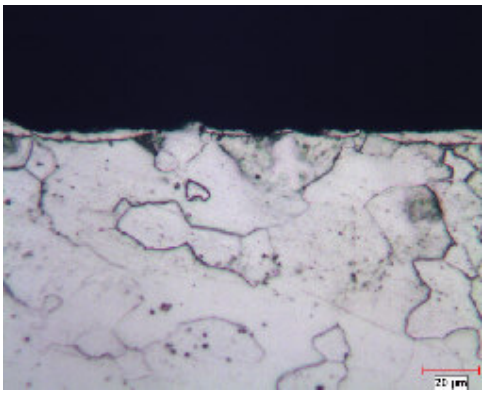
Şekil B.16 Gazyağı + 15 g/l SiC, 14 A şartlarında işlenen numunenin 400 ve 1000 büyütme optik mikroskop görüntüleri.

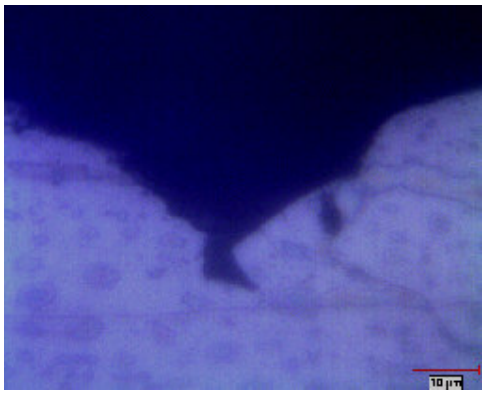




a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

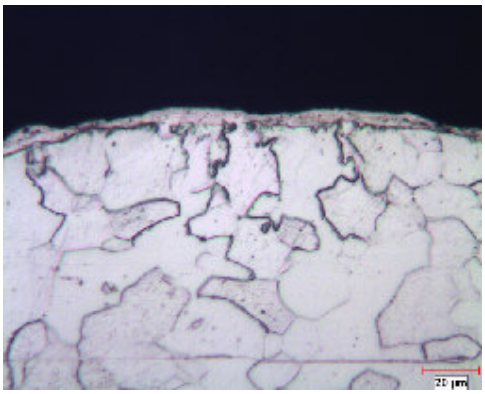
IF 17, Akım : 7A, İşleme zamanı : 25 µs, De-iyonize Su

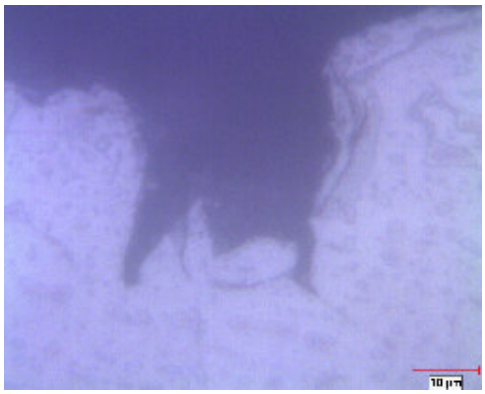




a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

IF 17, Akım : 7A, İşleme zamanı : 100 µs, De-iyonize Su

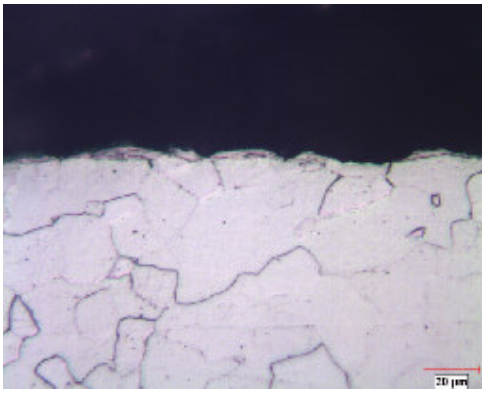
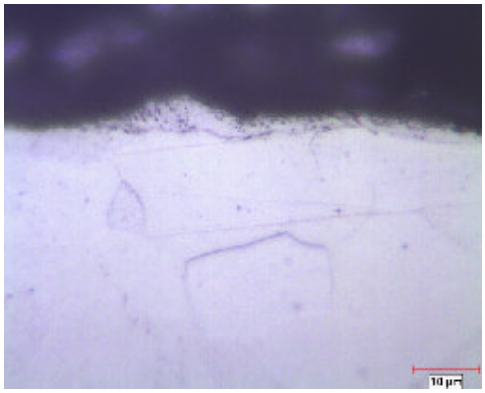




a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

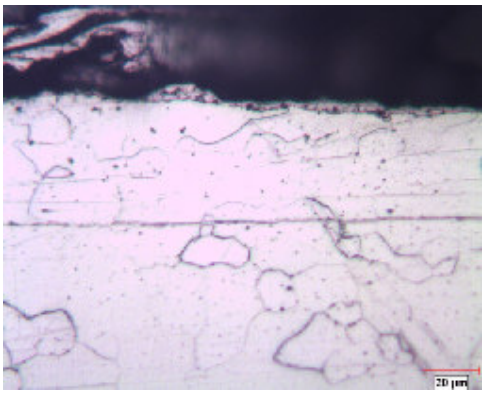
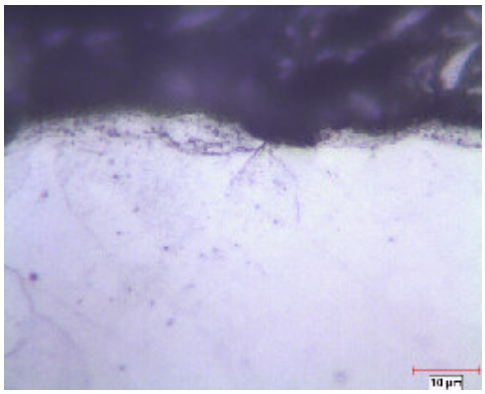
IF 17, Akım : 7A, İşleme zamanı : 400 µs, De-iyonize Su

Şekil B.17 De-iyonize su, 7 A şartlarında işlenen numunenin 400 ve 1000 büyütme optik mikroskop görüntüleri.

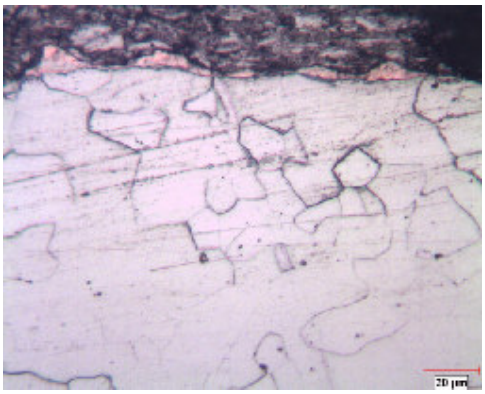
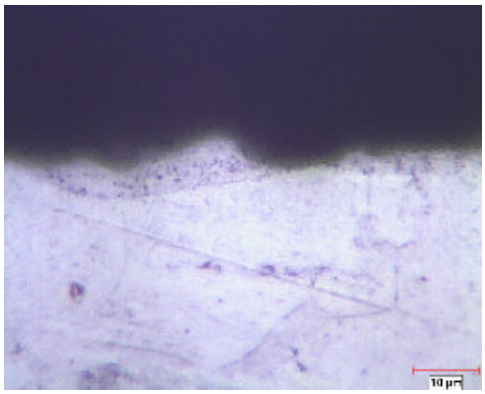
a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

IF 18, Akım : 7A, İşleme zamanı : 25 µs, De-iyonize Su + 5 g/l SiC

a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

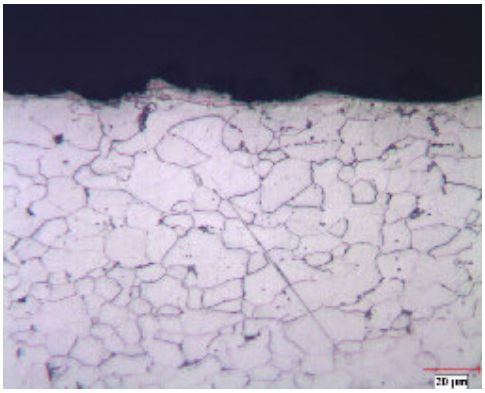
IF 18, Akım : 7A, İşleme zamanı : 100 µs, De-iyonize Su + 5 g/l SiC

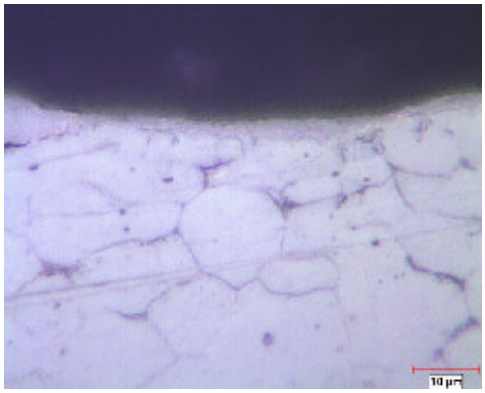
a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

IF 18, Akım : 7A, İşleme zamanı : 400 µs, De-iyonize Su + 5 g/l SiC

Şekil B.18 De-iyonize su + 5 g/l SiC, 7 A şartlarında işlenen numunenin 400 ve 1000 büyütme optik mikroskop görüntüleri.

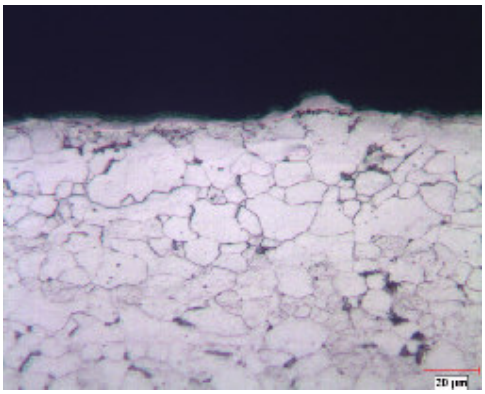


a) 400 büyütme

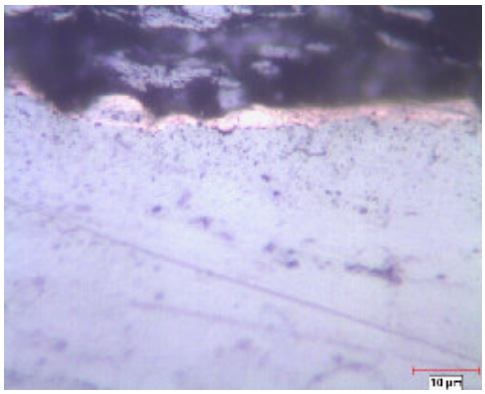


b) 1000 büyütme

IF 19, Akım : 7A, İşleme zamanı : 25 µs, De-iyonize Su + 10 g/l SiC

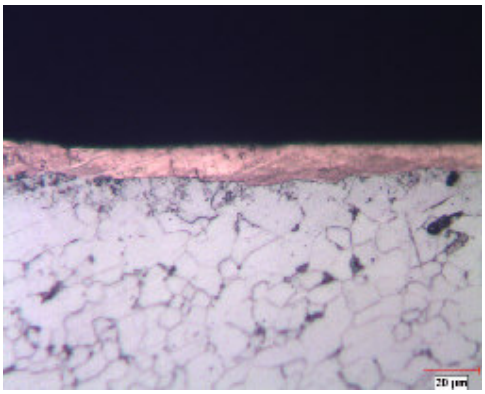


a) 400 büyütme

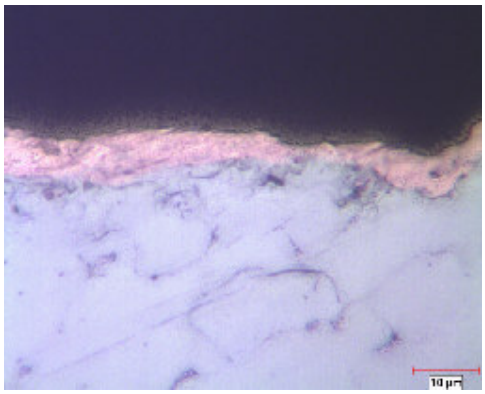


b) 1000 büyütme

IF 19, Akım : 7A, İşleme zamanı : 100 µs, De-iyonize Su + 10 g/l SiC



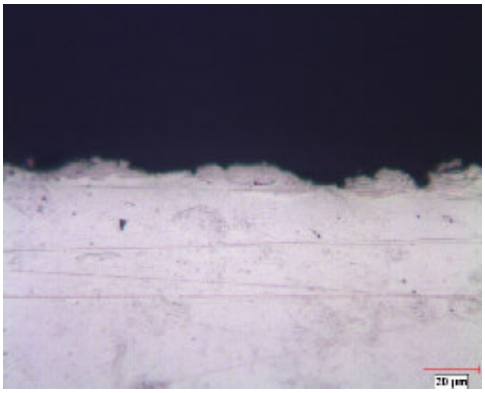
a) 400 büyütme

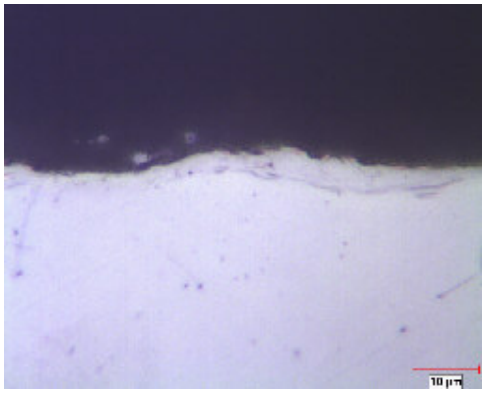


b) 1000 büyütme

IF 19, Akım : 7A, İşleme zamanı : 400 µs, De-iyonize Su + 10 g/l SiC

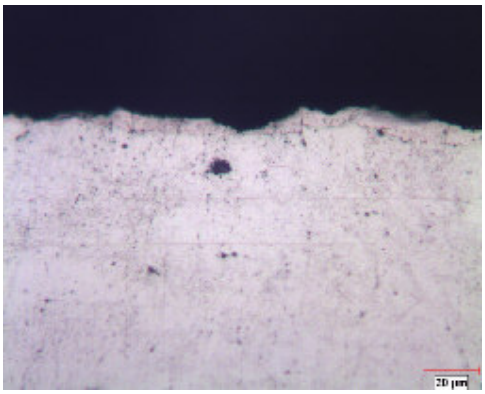
Şekil B.19 De-iyonize su + 10 g/l SiC, 7 A şartlarında işlenen numunenin 400 ve 1000 büyütme optik mikroskop görüntüleri.

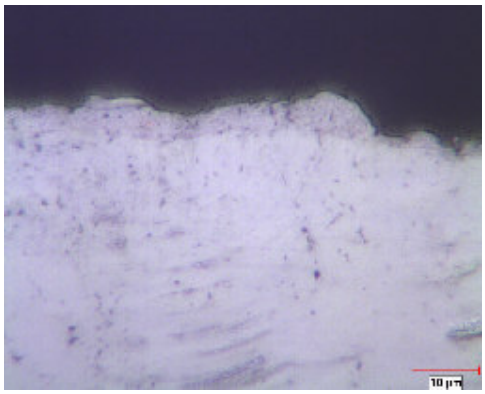




a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

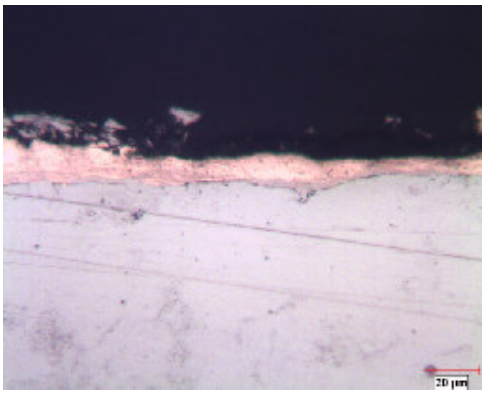
IF 20, Akım : 7A, İşleme zamanı : 25 µs, De-iyonize Su + 15 g/l SiC

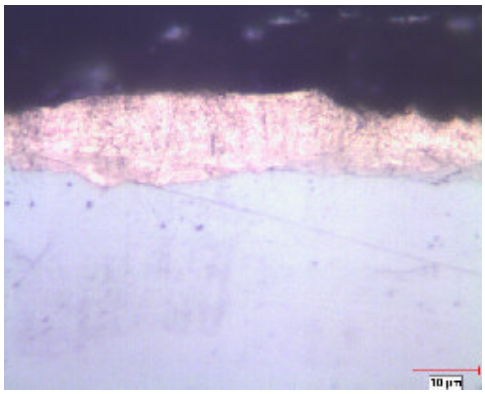




a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

IF 20, Akım : 7A, İşleme zamanı : 100 µs, De-iyonize Su + 15 g/l SiC

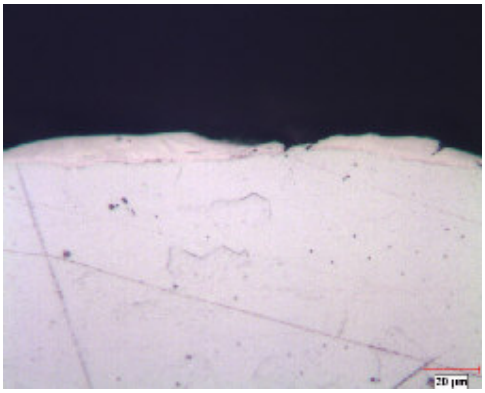


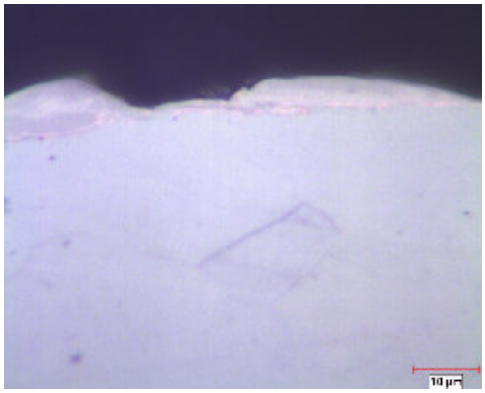


a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

IF 20, Akım : 7A, İşleme zamanı : 400 µs, De-iyonize Su + 15 g/l SiC

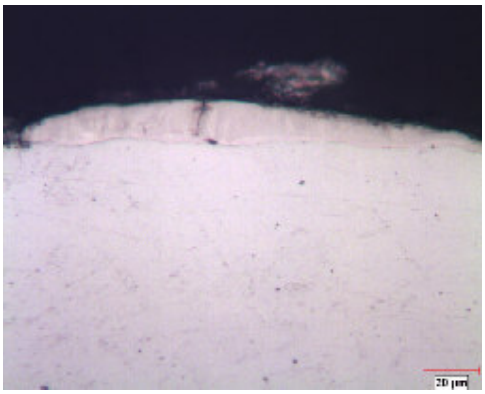
Şekil B.20 De-iyonize su + 15 g/l SiC, 7 A şartlarında işlenen numunenin 400 ve 1000 büyütme optik mikroskop görüntüleri.

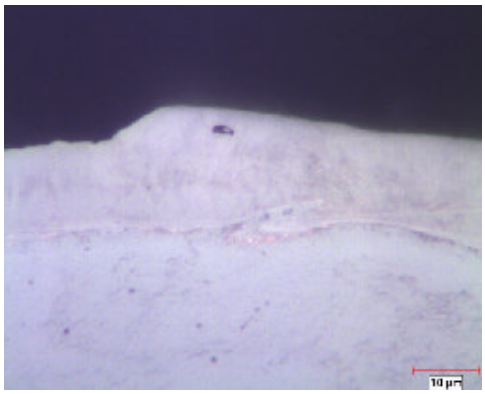




a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

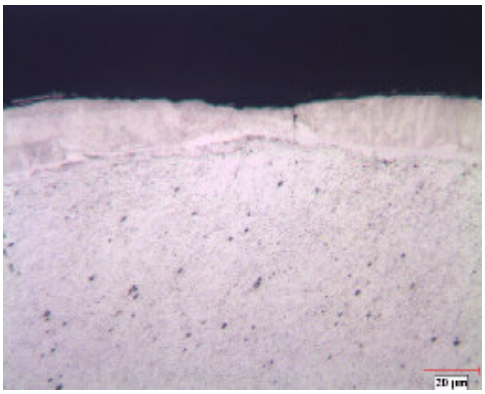
IF 21, Akım : 7A, İşleme zamanı : 25 µs, Gazyağı

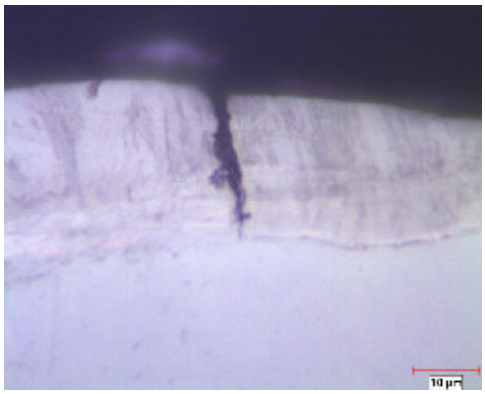




a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

IF 21, Akım : 7A, İşleme zamanı : 100 µs, Gazyağı

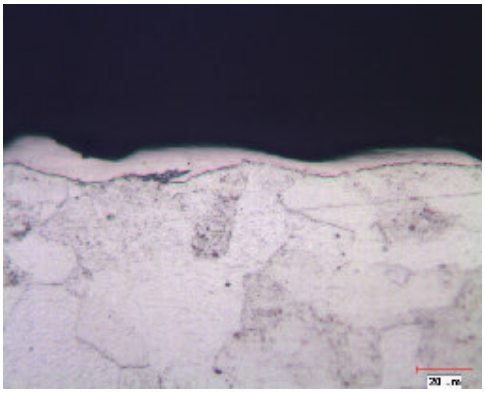


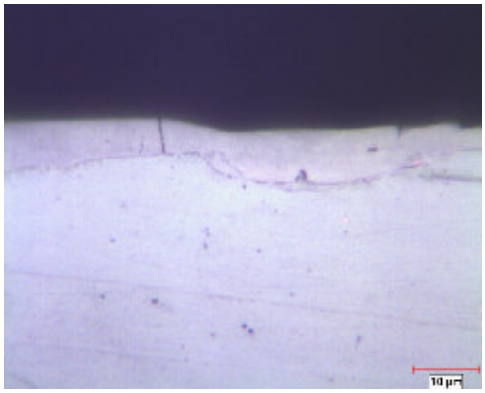


a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

IF 21, Akım : 7A, İşleme zamanı : 400 µs, Gazyağı

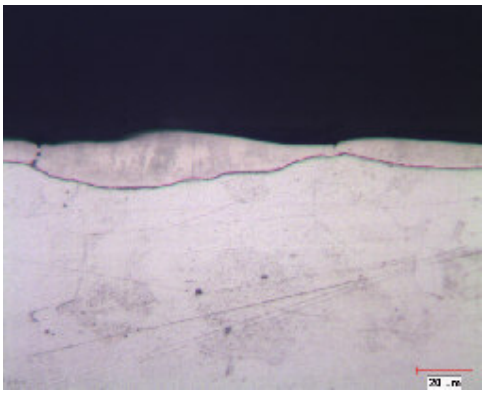
Şekil B.21 Gazyağı, 7 A şartlarında işlenen numunenin 400 ve 1000 büyütme optik mikroskop görüntüleri.

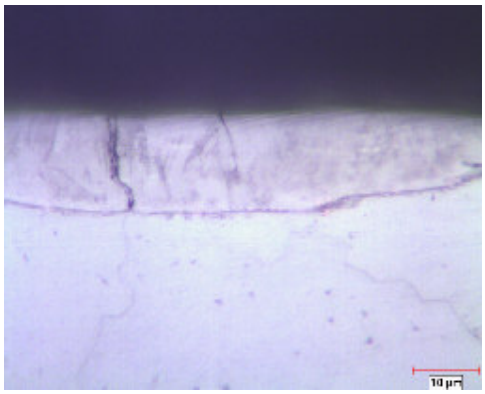




a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

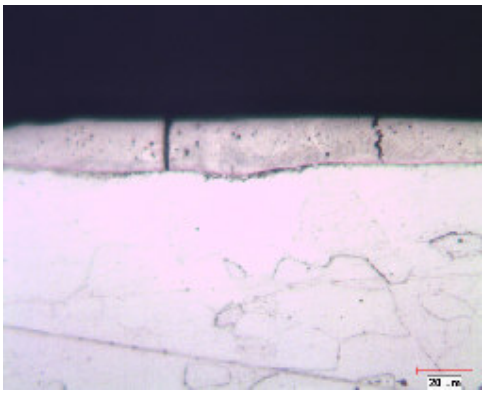
IF 22, Akım : 7A, İşleme zamanı : 25 µs, Gazyağı + 5 g/l SiC

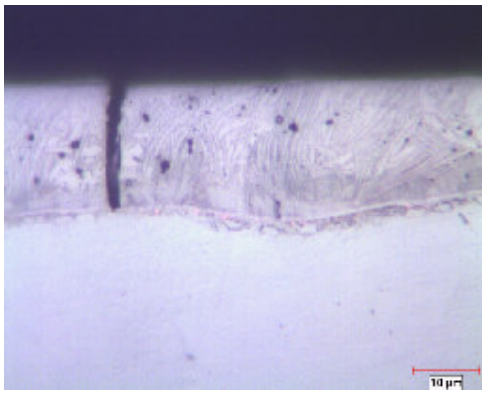




a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

IF 22, Akım : 7A, İşleme zamanı : 100 µs, Gazyağı + 5 g/l SiC

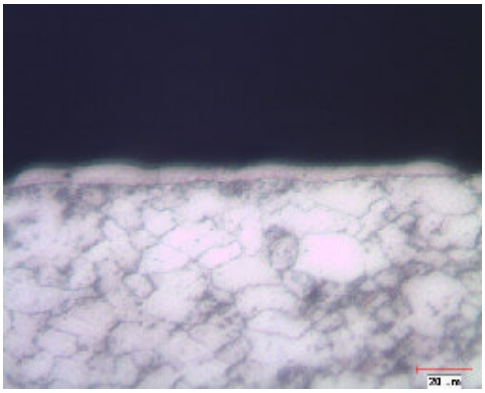


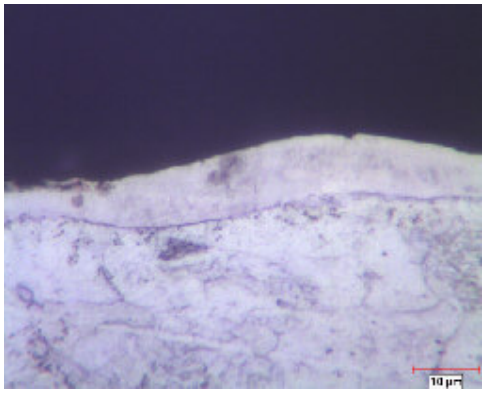


a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

IF 22, Akım : 7A, İşleme zamanı : 400 µs, Gazyağı + 5 g/l SiC

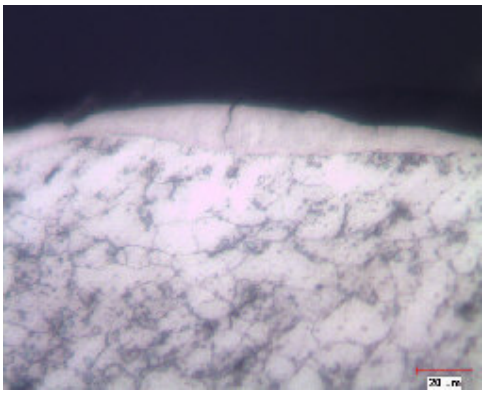
Şekil B.22 Gazyağı + 5 g/l SiC, 7 A şartlarında işlenen numunenin 400 ve 1000 büyütme optik mikroskop görüntüleri.

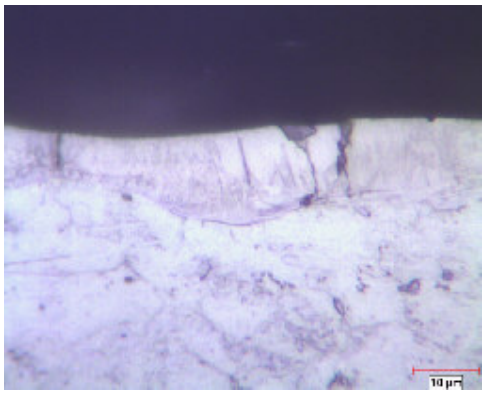




a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

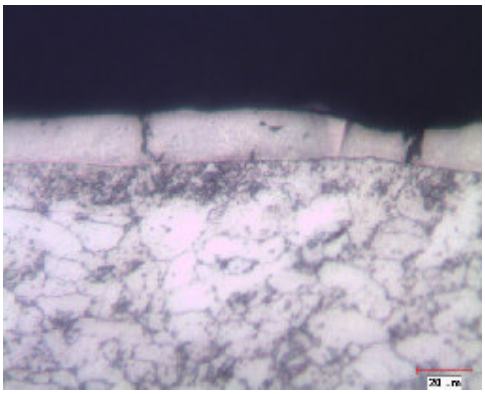
IF 23, Akım : 7A, İşleme zamanı : 25 µs, Gazyağı + 10 g/l SiC

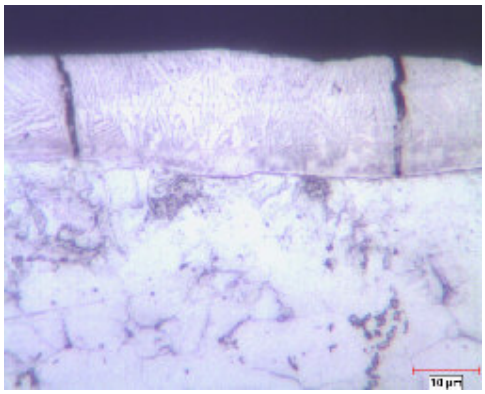




a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

IF 23, Akım : 7A, İşleme zamanı : 100 µs, Gazyağı + 10 g/l SiC

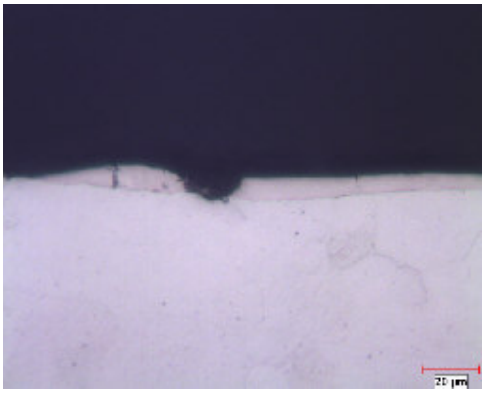
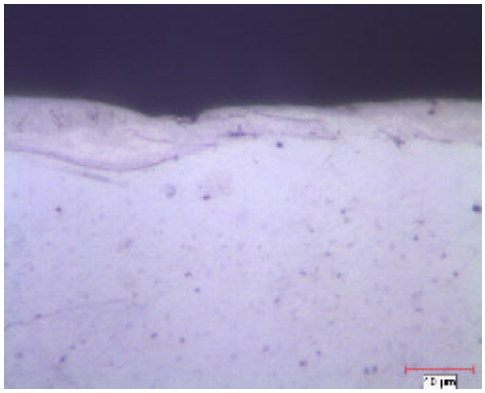




a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

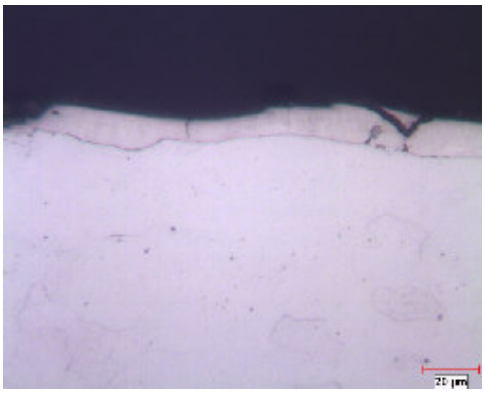
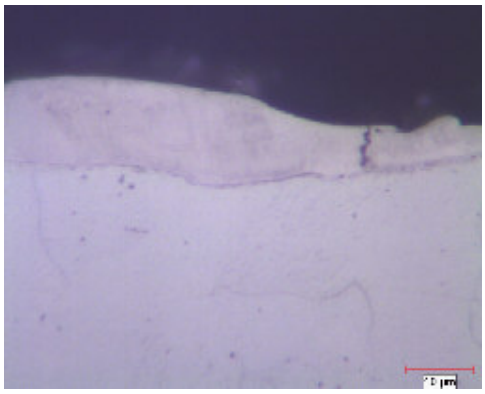
IF 23, Akım : 7A, İşleme zamanı : 400 µs, Gazyağı + 10 g/l SiC

Şekil B.23 Gazyağı + 10 g/l SiC, 7 A şartlarında işlenen numunenin 400 ve 1000 büyütme optik mikroskop görüntüleri.

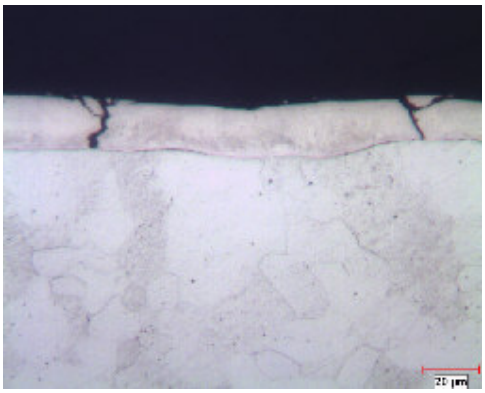
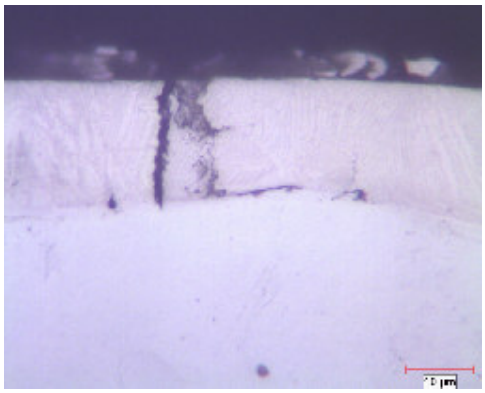
a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

IF 24, Akım : 7A, İşleme zamanı : 25 µs, Gazyağı + 15 g/l SiC

a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

IF 24, Akım : 7A, İşleme zamanı : 100 µs, Gazyağı + 15 g/l SiC

a) 400 büyütme b) 1000 büyütme

IF 24, Akım : 7A, İşleme zamanı : 400 µs, Gazyağı + 15 g/l SiC

Şekil B.24 Gazyağı + 15 g/l SiC, 7 A şartlarında işlenen numunenin 400 ve 1000 büyütme optik mikroskop görüntüleri.

ÖZGEÇMİŞ

Yusuf ERSÖZ 1975'de İzmir'de doğdu; ilk ve orta öğrenimini İzmir'de Dokuz Eylül İlköğretim Okulu'nda tamamladı; İzmir Atatürk Lisesi'nden mezun olduktan sonra 1992 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Makine Bölümü'ne girdi. 1998 yılında "iyi" derece ile mezun oldu. Askerlik görevine kadar Kutlusan & Ryvers Kafes Ekipmanları San.Tic.Ltd.Şti'nde İmalat Şefi olarak çalıştı. 2000 yılında askerlik görevini tamamlamasının ardından 2000-2002 yılları arasında Interims Risk Management Company'de Risk Mühendisi olarak görev aldı. 2002-2004 yılları arasında Federal Mogul Silindir Gömleği ve Segman Üretim Tesisleri A.Ş.'de İmalat Şefi olarak çalıştı. 2004 yılında Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları T.A.Ş. işletmesinde, İş Güvenliği Müdürlüğünde, İş Güvenliği Mühendisi olarak göreve başladı. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı B grubu İş Güvenliği Mühendisi sertifikası alarak halen aynı müdürlükteki görevine devam etmekte ve 2005 yılında girdiği ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans programını sürdürmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres: Ereğli Demir Çelik Fabrikaları T.A.Ş.
İş Güvenliği Müdürlüğü
67320 Ereğli/ZONGULDAK

Tel: (372) 329 5983 - 3613
Fax: (372) 323 5751
E-posta: yersoz@erdemir.com.tr

Yusuf ERSÖZ