

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ
ENSTİTÜSÜ

BAKIRIN ELEKTROSPARK
MİKROALAŞIMLANDIRMA
YÖNTEMİ İLE GÜMÜŞLE KAPLANMASI

Atilla BAŞARGAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MALZEME BİLİMİ ve MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

GEBZE
2010

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ
ENSTİTÜSÜ

BAKIRIN ELEKTROSPARK
MİKROALAŞIMLANDIRMA
YÖNTEMİ İLE GÜMÜŞLE KAPLANMASI

Atilla BAŞARGAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MALZEME BİLİMİ ve MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
Yrd. Doç. Dr. Kemal KORKMAZ

GEBZE

2010



YÜKSEK LİSANS TEZİ JÜRİ ONAY SAYFASI

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 08/01/2010 tarih ve 2010/01 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 25.01.2010 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Atilla BAŞARGAN' ın tez çalışması Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Yrd. Doç. Dr. Kemal KORKMAZ

ÜYE

: Prof. Dr. Orhan ŞAHİN

ÜYE

: Öğr. Gör. Dr. Fatih DİKMEN

ONAY

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../20... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

**TEZİN BAŞLIĞI :BAKIRIN ELEKTROSPARK
MİKROALAŞIMLANDIRMA YÖNTEMİ İLE
GÜMÜŞLE KAPLANMASI**
YAZAR ADI :ATILLA BAŞARGAN

Yüksek güçlü elektrik akımların kontrolünü sağlayan noktalarda gümüş kaplı bakır kontak elemanları yaygın bir şekilde kullanılmaktadır ve bakır üzerine gümüş kaplamanın değişik birkaç metodu vardır. Bunlardan biri de bakır üzerine gümüş alaşımlama yapmaktır.

Bu tez çalışmasında Elektro-Spark Deposition (ESD) yöntemi kullanılarak bakır altlık numuneler üzerinde gümüş elektrotlar ile kaplama deneyleri yapılmıştır. Başarılı bir şekilde gerçekleşen deneyler sonucunda 20-25 μm kalınlığında üniform bir bakır-gümüş alaşım tabakası elde edilmiştir.

ESD prosesinin elektrik parametrelerinden darbe (pulse) enerjisinin ve darbe formunun kaplama karakteristikleri üzerinde etkisi incelenmiştir. Aynı enerjiye sahip üçgen ve dikdörtgen darbe formlarının, prosesin karakterini belirleyen kütle transferine ve kütle erozyonuna ve ayrıca kaplamanın karakterini yansıtan yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri araştırılmıştır. İki darbe formu ayrı ayrı mukayese edilmiş ve birlikte grup darbe halinde kullanılması durumunda etkisi de incelenmiştir. Bunun için darbe süreleri 8-32 μs arasında değişen ve akım şiddeti 100-400 A olan üçgen darbeler ve 50-200 A olan dikdörtgen darbeler kullanılmıştır.

Elektrottan (anot) erozyon olan kütle ve altlığa (katot) transfer olan kütle miktarlarında üçgen darbeler daha yüksek değerler vermesine karşın prosesin verimliliği yani kütle taşıma katsayısı değerleri açısından dikdörtgen darbeler daha iyi sonuç vermiştir. Ayrıca dikdörtgen darbeler ile daha az pürüzlü (yaklaşık $R_a = 2 \mu\text{m}$) yüzeyler elde edilebilmiştir. Bir üçgen bir dikdörtgen darbeden oluşan grup darbe kullanılması durumunda ise beklendiği gibi her iki darbenin ayrı ayrı kullanılması durumunda elde edilen sonuçların arasında değerlere ulaşılmıştır.

SUMMARY

**TITLE OF THE THESIS :SILVER PLATING OF COPPER WITH THE
METHOD OF ELECTRO SPARKS MICRO-
ALLOYING**

AUTHORS NAME :ATILLA BAŞARGAN

Silver-covered copper contact elements are mostly used in order to control high power electric currents. There are several methods of coating silver onto copper. One of the ways to do this is to alloy silver onto copper.

In this thesis, coating experiments were done with silver electrodes onto the samples of copper substrates using the method of Electro-Spark Deposition (ESD). As a result of successful experiments a 20-25 μm layer of uniform silver-copper alloy was obtained.

The effect of pulse energy and pulse form, which are some of electric parameters, on the characteristics of coating was examined during the process of ESD. The effect of the triangle and rectangular pulse forms, which have the same energy, on the mass transfer, which determines the characteristics of the process, and mass erosion and the layer roughness, which represents the characteristics of the coating, was researched. Both of pulse forms were compared separately. Additionally, it was examined when both of the pulses were used at the same time as a group. For this, rectangular pulse with 50-200 A and triangle pulses current with 100-400 A, whose duration time differs from 8 μs to 32 μs , was used.

Considering mass transfer coefficient values, rectangular pulses showed better results although triangle pulses provided high value taking into account the amount of the mass of electric erosion and the mass transfer. Moreover, rectangular pulses supplied more smooth surface (approximately $R_a=2 \mu\text{m}$). When a group of pulses consisting of a triangle and a rectangular is used, a value was, as estimated, attained, which ranged between the results that were obtained when both of the pulses were used separately.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmam süresince yardımını, bilgisini ve desteğini esirgemeyen kıymetli hocam, Rektör Yardımcısı, Mühendislik Fakültesi Dekanı, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Orhan ŞAHİN ve danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Kemal KORKMAZ hocama teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca ESD konularındaki geniş bilgi birikimini ve tecrübelerini paylaştığı için Sayın Prof. Dr. Alexander RIBALKO' ya ve laboratuvar çalışmalarındaki katkılarından dolayı Uzman teknisyen Ahmet NAZIM 'a tüm içtenliğimle teşekkürlerimi sunarım.

Atilla BAŞARGAN

Makine Mühendisi

Ocak 2010

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
TABLOLAR DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Neden Bakır Üzerine Gümüş Kaplama?	2
1.2. Electro-Spark Deposition (ESD) Kaplama Yöntemi	3
1.3. Kaplama Sistemi	4
1.4. ESD Kaplama Prosesinin Teknolojik Özellikleri	6
1.5. ESD Prosesinin Kullanımındaki Avantajlar	7
1.6. ESD' nin Kullanım Alanları	9
2. DENEYSEL UYGULAMA ve BULGULAR	10
2.1. Deneysel Prosedür	10
2.1.1. Kaplama Numunelerinin Hazırlanması	10
2.1.2. Numunelerin Karakterizasyonu	11
2.2. Deneysel Teknik	11
2.3. Deneysel Sonuçlar	14
2.3.1 Kümülatif Kütle Değişimleri	14
2.3.2. Relatif Kütle Değişimleri	15
2.3.3. Kütle Taşınım Katsayı Değerleri	21
2.3.4. Pürüzlülük Değişimleri	24
2.3.5. Her İki Darbe Formun Birlikte Kullanılması	24
2.4. Kaplamaların SEM ve EDX Analizleri	29
3. SONUÇLAR	33
KAYNAKLAR	35
ÖZGEÇMİŞ	37

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simge veya Kısaltma

ESD	: Elektro Spark Deposition
ESA	: Electro Spark Alloying
PC	: Personal Computer
kHz	: kilo hertz
mg	: miligram
μm	: mikrometre (mikron)
μs	: mikrosaniye
EDX	: Energy Dispersive Spectrum
W	: Darbe Enerjisi
T_p	: Darbe Süreleri
A	: Akım Şiddeti
Σ	: Kümülatif Toplam
Δ	: Relatif Değişim
J	: Joule
SEM	: Scanning Electron Microscope

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Fretting sonucu kontak elemanındaki iletkenlik düşüşü. [Braunovic, 2007]	3
1.2. Basit bir ESD kaplama sistemi.	5
1.3. ESD kaplama sisteminde malzeme transferinin şematik bir gösterimi. [Tusek and Lesnjak, 2002]	6
2.1. ESD proste kullanılan aynı enerji ve darbe sürelerine sahip darbe formları.	12
2.2.a. Deneylerde kullanılan otomatik, üç eksenli ve PC kontrollü ESD kaplama ünitesi.	13
2.2.b. Deneylerde kullanılan otomatik, üç eksenli ve PC kontrollü ESD kaplama ünitesi.	14
2.3. Üçgen impulse formundaki, 100-400 A arasındaki darbelerin uygulanması ile elde edilen kümülatif kütle değerlerin kaplama sayısına göre değişimi.	17
2.4. Dikdörtgen impulse formundaki, 50-200 A arasındaki darbelerin uygulanması ile elde edilen kümülatif kütle değerlerin kaplama sayısına göre değişimi.	18
2.5. Üçgen impulse formundaki, 100-400 A arasındaki darbelerin uygulanması ile elde edilen relatif kütle değerlerin kaplama sayısına göre değişimi.	19
2.6. Dikdörtgen impulse formundaki, 50-200 A arasındaki darbelerin uygulanması ile elde edilen relatif kütle değerlerin kaplama sayısına göre değişimi.	20
2.7. Üçgen darbe formunda elde edilen kütle taşıma katsayıları.	22
2.8. Dikdörtgen darbe formunda elde edilen kütle taşıma katsayıları.	23
2.9. Üçgen impulse formundaki, 100-400 A arasındaki darbelerin uygulanması ile elde edilen pürüzlülük değerlerin kaplama sayısına göre değişimi.	25
2.10. Dikdörtgen impulse formundaki, 50-200 A arasındaki darbelerin uygulanması ile elde edilen pürüzlülük değerlerin kaplama sayısına göre değişimi.	26
2.11. Üçgen (Trg) ve Dikdörtgen (Reg) darbe formlarının ayrı ayrı ve birlikte grup olarak ESD metotta kullanıldığı zaman, ilk kaplama proseslerinde elde edilen elektrottaki kütle erozyonu ve altlıktaki kütle kazanımı ile yüzeydeki pürüzlülüğün darbe enerjisi ile değişimi.	28
2.12. İmpulse parametreleri 300 A, 24 µs üçgen ve 150 A, 24 µs dikdörtgen olan darbe formlarının birlikte kullanıldığı (darbe grup uygulanarak yapılmış) bir kaplamanın üstten görüntüsü.	30
2.13. a)Bakır altlığın, b)Bakır üzerine ESD yöntemi kullanılarak elde edilen gümüş kaplamanın EDX analizleri.	31
2.14. ESD yöntemi kullanılarak bakır üzerine yapılmış gümüş kaplamanın yan-kesit görüntüsü.	32

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Kullanılan impulse akımların elektrik parametreleri.	12
2.2. Bakır üzerindeki gümüş kaplamanın EDX analizi.	29

1. GİRİŞ

Son yüzyıl içerisinde malzeme biliminde önemli gelişmelerin meydana gelmesi ile hatırı sayılır bir bilgi birikimi elde edilmiş ve bu bilgi birikimi sayesinde malzemenin içyapısı ile malzemenin mekanik ve fiziksel özellikleri arasında bir ilişki kurabilmek mümkün olmuştur. Şüphesiz elde edilen bu bilgi birikimleri neticesinde yüzey özellikleri değiştirme proseslerinde, özellikle kaplama teknolojisinde önemli ilerlemeler kaydedilmiştir.

Kaplama teknolojisi; eldeki malzemeye görünüm, korozyon direnci, aşınma direnci, ısıl dayanım, optik, elektrik veya ısı iletim v.s. fiziksel ve kimyasal özellikler kazandırmak veya mevcut özelliklerini daha fazla geliştirmek maksadı ile basit ya da kompleks ekipmanlar vasıtasıyla gaz, sıvı veya vakum ortam altında istenen malzeme yüzeyine değişik metal, seramik, sermet (seramik-metal kompozit) ve hatta plastik malzemelerin tatbiki ile gerçekleştirilen bir çeşit yüzey işlem prosesidir. [Ürgen, 1997].

Kaplama prosesi, en yaygın haliyle aşınma direncinin arttırılması, yüzeyin zarar görmemesi veya sürtünme davranışının özelliğini değiştirmesini sağlamak maksadıyla, kaplanacak yüzeye daha değerli kaplama malzemesinden mümkün olduğunca az malzeme kullanılarak tatbik edilmesi ile gerçekleştirilir. Kaplama prosesi uygulanacak yüzey için uygun bir yüzey işlem metodun seçimi metalürjik, malzemenin tabiatı açısından ergonometrik, çevre ve çalışma koşulları ve maliyet oranları gibi hususları hesaba katan bir mühendislik yaklaşım sistemi gerektirir [Ürgen, 1997-Ögel, 1986].

Mevcut çalışmada kaplama prosesi olarak ESD (Electro Spark Deposition) tekniği ele alındı ve bu teknik ile bakır altlık malzemesi üzerine kaplama malzemesi olarak gümüş tatbik edildi.

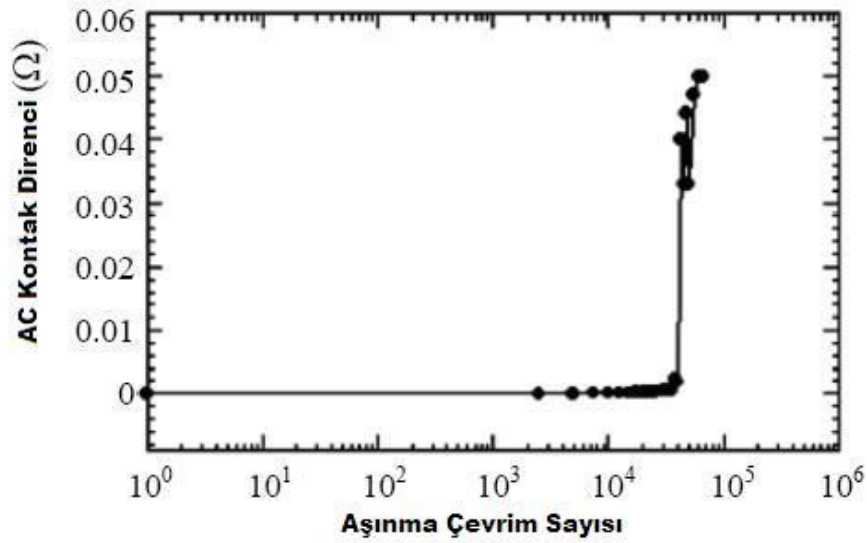
1.1. Neden Bakır Üzerine Gümüş Kaplama?

Bilindiği üzere elektrik akımını en iyi ileten metaller söz konusu olduğunda platin, altın ve gümüş gibi çok değerli metallere sonra bakır ve alüminyum akla gelir. Maliyet ve işlenebilirlik açısından elektrik akımı iletim hatlarında ve kontrol noktalarında çoğunlukla bakır ve alüminyum kullanılmaktadır. Fakat yüksek akımlı elektrik güçlerinin kontrol altına alındığı şalter, röle, kontaktör v.s. mekanizmalar söz konusu olduğunda durum değişir; iletkenlik ve maliyet dışında aşınma, korozyon ve oksitlenme gibi başka faktörlerde ortaya çıkar.

Genellikle elektrik güç kontak elemanlarında kullanılan malzemelerden beklenen başlıca şartlar; yüksek iletkenlik, yüksek korozyon ve oksitlenme direncidir. Bu şartlar ancak bakır ve alüminyum gibi yumuşak iletken metaller üzerine yumuşak, düşük elektrik dirençli ve kimyasal açıdan kararlı kaplamaların tatbik edilmesi ile sağlanabilir. Fakat kaplama malzemesi ve prosesi seçiminde, malzeme ile yüksek kontak yüklerinin bileşiminde tribolojik açıdan yetersiz sistemlerle karşılaşmamaya dikkat etmek gerekir.

Kontak noktasında açma-kapama hareketine ilave olarak, kontak elemanları alternatif akım veya diğer güç kaynakları tarafından oluşturulan fretting titreşimlerine maruz kalabilmekte ve oksitlenme, korozyon sonucu meydana gelen iletkenlikte belirgin bir düşüş görülebilmektedir. (Bkz Şekil 1.1.) [Braunovic, 2007].

Kısaca adına bakırın gümüşlenmesi adı verilen elektroliz yöntemi ile veya diğer başka yöntemlerle korozyona karşı direnç gösteren gümüş, bakır üzerine kaplanabilmektedir. Kontak elemanlarında bakırın gümüş ile kaplanması, kontak yüzeyleri arasında elektrik ark sonucu oluşan fretting davranışı üzerinde olumlu bir etkisi olmuştur. [Kassmana and Jacobsona, 1993, 1996].



Şekil 1.1. Fretting sonucu kontak elemanındaki iletkenlik düşüşü. [Braunovic, 2007].

Bakır üzerini gümüş ile kaplamanın değişik yöntemleri olmasına karşın bu çalışmada değişik bir alaşımlama yöntemi olan ESD (Elektro-Spark Deposition) tekniğinin kullanımı ve prosesin elektrik parametrelerinin kaplama karakteristikleri üzerine etkilerinin araştırılması öngörülmüştür.

1.2. Electro-Spark Deposition (ESD) Kaplama Yöntemi

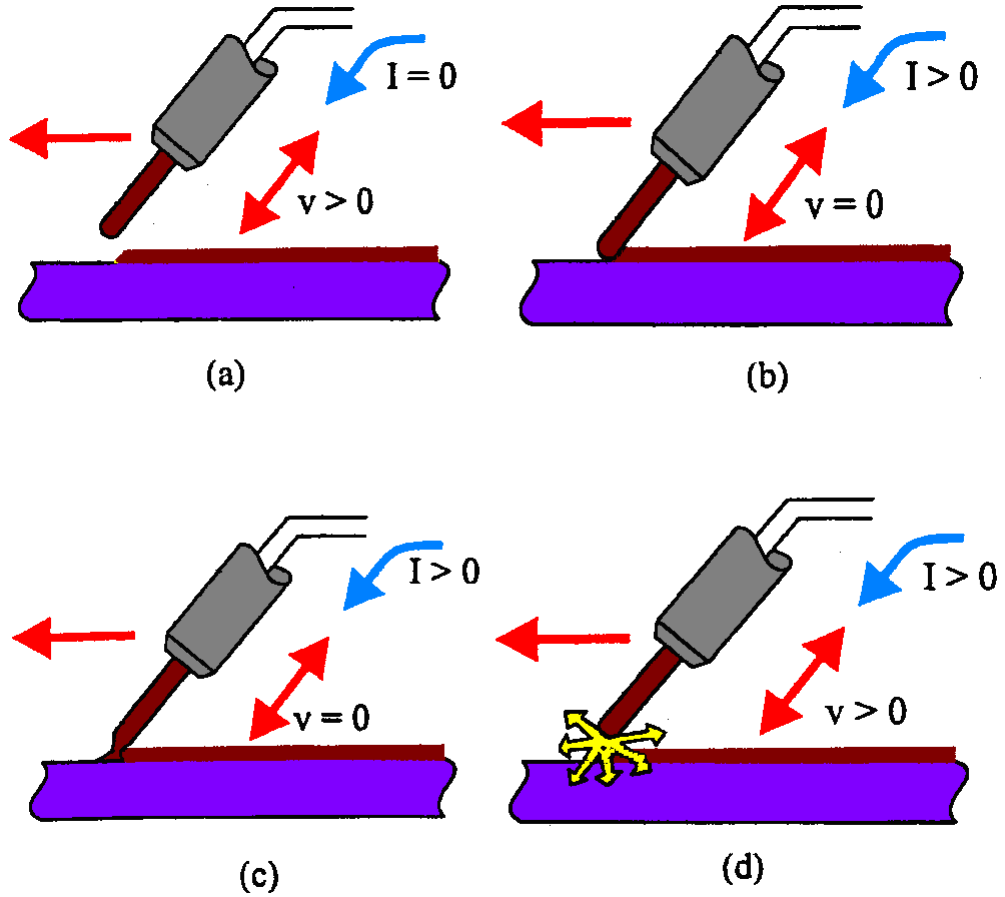
Electro-Spark Deposition (Elektro-Spark Biriktirme) yöntemi, elektrot olarak kullanılan iletken bir malzemenin metalik bir altlık üzerine kat kat (deposit) biriktirilmesiyle kaplama işleminin gerçekleştirildiği darbeli (pulse) bir mikro ark kaynağıdır. Bu kaplama prosesi çok kısa süreler içinde (mikro saniyeler mertebesinde) yüksek elektrik akım darbelerinin (pulsar) uygulanmasıyla, altlık ile elektrot arasında oluşturulan sparklar (mikro elektrik kıvılcım) neticesinde elektrot malzemenin ergimiş halde mikro damlacıklarının, yerçekimi kuvveti de dahil bir takım statik ve dinamik kuvvetlerin etkisiyle altlık malzemeye transferinin gerçekleştirilmesi üzerine dayanmaktadır. Transferi gerçekleşen damlacık halindeki elektrot parçası elektrik sparkın bitiminde altlık yüzeyinde altlık malzeme ile alaşım yaparak katılaşır ve bu nedenle bu kaplama prosesine Electro-Spark Alloying (ESA)

ismi de verilir. Prosesin elektrik parametrelerinin kontrolü için basit bir yazılımın yüklendiği PC yardımı ile düzenli oluşturulan elektrik sparkların oluşturduğu mikro-depozitlerin yan yana ve üst üste yığılması, tamamı ile altlıktan farklı yeni bir yüzey tabakası meydana getirir. [Korkmaz, 2008].

Kullanılan elektrik akım darbeleri diğer kaynak metotlarında olduğundan çok daha kısa sürelerde, 10^{-3} sn ler mertebelerinde olup darbe frekansları 0,1 ile 4 kHz arasında uygulanmaktadır. Uygulanan elektrik akımının mikro saniyeler mertebesinde darbeli olması bir çevrim (döngü) boyunca altlığın oluşan ısıyı dağıtmasına olanak sağlar ve ısı birikmesine engel olunur. Malzemeye bağlı olmak üzere proseste 10^5 - 10^6 °C/sn gibi yüksek katılma hızları meydana gelir [Sheldon and Johnson, 1986].

1.3. Kaplama Sistemi

ESD kaplama sistemi, kapasitör tabanlı bir güç kaynağı, bir aplikatöre (electrode holder) bağlı elektrot (anot) ve üzerine kaplama yapılan altlık (katot) malzemeden oluşmaktadır (Bkz Şekil 1.2.)



Şekil 1.3. ESD kaplama sisteminde malzeme transferinin şematik bir gösterimi.
[Tusek and Lesnjak, 2002],

- a-) Prosese başlamadan hemen önce I (akım) sıfır, titreşim mevcut ($v>0$),
- b-) Elektrot ile altlık arasında kısa devre (kontakt) gerçekleşir (akım geçer, $I>0$, $v=0$),
- c-) Kısa devrenin kalkmasından (akım kesilmeden) den hemen önce,
- d-) Elektrot ile altlık arasında elektrik spark (kıvılcım) oluşumu gerçekleşmektedir.

1.4. ESD Kaplama Prosesinin Teknolojik Özellikleri

Kaplama teknolojisi, herhangi bir komponentin (bileşen) sadece yüzeyinde bir takım özelliklerini değiştirmekle onun çalışma koşullarına bütünüyle uyumunu ve tepkisini geliştirilebilen geniş bir aralıkta metotları içermektedir. Bunlardan biri olarak ele aldığımız ESD yönteminin tatbik edildiği bir kaplamadan beklenen

özellikler, şu şekilde bir veya daha fazlası spesifik amaçları içerebilir: [Korkmaz, 2008]

- Bakım maliyetlerini azaltmak.
- Yüksek çalışma sıcaklıklarında termal yükleri azaltmak.
- Aşınma, erozyon ve aşındırma direncini geliştirmek.
- Korozyon direncini arttırmak.
- Oksitlenmeyi azaltmak.
- Sıcak korozyonu ya da sülfidasyonu azaltmak.
- Boyutsal restorasyona imkan sağlamak.

1.5. ESD Prosesinin Kullanımındaki Avantajlar

ESD prosesinin kullanımının diğer yüzey modifikasyon işlemlerine göre belli başlı avantajları şu şekilde sıralanabilir: [Sheldon and Johnson, 1986-Johnson, 2002-Reynolds, 2003].

- Bir kaynak yöntemi olmasına rağmen, her bir sparktaki enerji çok küçük olup (başka bir deyişle transfer edilen enerjinin düşük olması) altlık malzemedir biriken ısı düşüktür ve böylece altlık malzeme ortam sıcaklığı civarında kalır.
- Isıya maruz kalan (Heat Affected Zone) çok küçük bir bölge olup, yalnızca birkaç mm derinliğe kadardır. (Komponentin bir bütünü göz önüne alınırsa çok küçük bir bölgede ısınma söz konusudur.)
- Kaplama prosesi altlık malzemenin bulk özelliklerini değiştirmez ve altlıktaki bozunumlar ve metalurjik değişimler minimum düzeyde kalır.

- Bazı alaşımlar amorf yapıda olabilirken, yüksek hızlı soğumadan dolayı nano yapılar meydana gelmektedir.
- Benzer kimyadaki kaplamalar ile mukayese edildiğinde, yüksek yapışma mukavemetli ve birbiri ile kaynaşmış metalurjik bağ, geleneksel kaplamalara göre çok daha iyi nitelikte aşınma ve erozyon özellikleri göstermektedir.
- Altlık ile elektrot arasında bir alaşım oluşturulmakta ve böylece, ara yüzeyde ıslatmayı sağlamak için ayrıca bir ara tabakaya gerek duyulmamaktadır.
- Kaplamalar çeşitli kalınlıkta ve kompozisyonda oluşturulabilir. Öyle ki, bu yöntemle oluşturulan alaşım kaplamalar çok yaygındır. (kobalt-krom tabanlı ve haynes alaşımlar). Ayrıca WC-TaC-Co gibi kompozit kaplamalar içinde bu metot kullanılabilir.
- Metal ve / veya sermet kaplamaların oluşturulduğu ESD prosesinde, minimum düzeyde yüzey ön hazırlık gerektirmekte ve metal yüzeylere doğrudan tatbik edilebilmektedir.
- Herhangi bir elektriksel iletken malzeme bir metalik altlık üzerine depozit (biriktirme) edilebilmektedir.
- Bu sistem portatif olup; tüm ekipmanın bakımı kolayca yapılabilmekte, istenen yere taşınabilmekte ve kolayca kurulmasına olanak sağlamaktadır.
- Zararlı atık sular ve maddeler yoktur.
- Kullanıcıyı koruyucu ekipmana gerek yoktur.
- Bu proses çok basit olup, kullanıcı yüzey mühendisinin kendi el becerisini kullanarak en uygun uygulamaları geliştirmesine olanak sağlayacak şekilde bir hüner ve düşük maliyet gerektirir.

- Elektrot boyutunun küçük ve depozit hızının düşük olması sebebi ile büyük kaplama alanları için uygun olmamasına karşın küçük yüzeyler ve hatta girintili-çıkıntılı geometrilerde çok iyidir.

Diğer kaynak metotlarında olduğu gibi, ESD kaplama malzemesi ergimeden sonra hemen katılaşır ve bu nedenle içinde daima çekme gerilmeleri oluşur. Bunun bir sonucu olarak ESD kaplamalar sıklıkla çatlak ve genellikle yorulmaya maruz kalan kritik komponentler (bileşen) için uygun değildirler. Örnek olarak yorulmaya karşı hassas olan türbin motor parçalarının onarımında kullanılmazlar. Bunların yanı sıra spark kaynağı alev alabilen ortamlarda kullanılmamalı ve atık gazlar fark edilmez olduğunda kadmiyum kullanılıyorsa özel kontrol tedbirleri gerektirebilmektedir.

1.6. ESD' nin Kullanım Alanları

ESD prosesi kullanılarak yapılan oldukça sert kaplamalar aşınmaya dayanıklı yüzeylerde kullanılırken, çeşitli alaşım metallere faydalanan kompozit kaplamalar ise yüksek sıcaklık, oksitlenmeye ve korozyona maruz koşullarında çalışan komponentlerin yüzeylerini korumak için uygulanmaktadır. Belli başlı küçük komponentler; mil yatakları, blade (kanatçık), torna ve matkap aynalarında, dişlilerde, pompalar, shaft tertibatında, araç-gereçlerde, kalıp ve lokmalarda, valf yatakları, enjektör uçları vs olup bunların yanında döküm kalıpcılığında veya girintili çıkıntılı küçük yüzeylerde hataların giderilmesi, tamir onarım gibi birçok maksatla kullanılan ESD prosesinin aşağıdaki ana başlıklar altında uygulamaları sıralanabilir: [Sheldon and Johnson 1986-Johnson, 2002-Reynolds, 2003-Maksimov and Marchenko, 1988];

- Nükleer, fosil ve jeotermal enerji ortamlarda.
- Havacılık ve uzay uygulamaları için yüksek sıcaklık komponentlerinde.
- Buhar ve gaz türbin kanatçıkları kaplamalarında.

- Endüstriyel kesici takımlarında.
- Metal işleme ve El aletlerinde.
- Gemi inşası ve komponentlerinde.
- Tıp ve dişçilik aletlerinde.
- Çok büyük boyutlardaki tarım ve tekstil ekipmanların aşınmaya dirençli yüzeylerinde.
- Metal kesme makaslarında .
- Ormancılıkta; tomruk, ağaç ve kağıt ürünleri işleme aletlerinde.
- Atıkların geri kazanımı ve su arıtma santrallerinde.
- Yüksek sıcaklık sensörlerinde.
- Petrokimya ve ilaç endüstrisinde kullanılan sistemlerde.
- Modern spor ekipmanlarında vs.

2. DENEYSEL UYGULAMA ve BULGULAR

2.1. DeneySEL Prosedür

2.1.1. Kaplama Numunelerinin Hazırlanması

Kaplama prosesinde kullanılacak altlık numuneler, 20mm çapındaki saf bakır silindirik çubuktan Struers marka Minitom model hassas disk kesicide 5mm kalınlığında kuponlar elde edilecek şekilde kesilmiştir. Kuponların her iki yüzeyi daha sonra sırasıyla 800 ve 1000 gritlik zımparalar kullanılarak Struers Labopol-5 marka parlatma cihazı ile ESD prosesi için hazırlanmıştır. Kaplama malzemesi olarak kullanılan elektrot 3x4 mm dikdörtgen kesitli gümüşten çubuklar piyasadan hazır olarak temin edilmiştir.

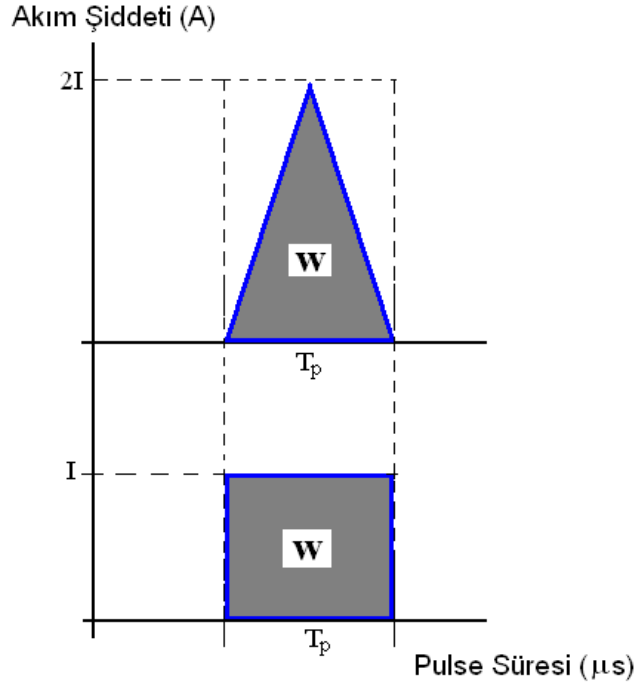
2.1.2. Numunelerin Karakterizasyonu

ESD prosesinin karakterize edilebilmesi için, proses sonucu kaplamada transfer edilen kütle miktarının ve kaplama yüzeyinde oluşan pürüzlülük değerlerin ölçümü yapılmıştır. 0,1 mg duyarlılıktaki Metter Toledo 200 marka hassas bir terazi ile her altlık numunenin kaplama öncesi ve sonrası ve ayrıca işlem elektrotunun her seferinde ağırlıkları ölçülerek kaplama prosesi esnasında altlık numunelere transfer edilen ve işlem elektrotundan erozyona uğrayan (kayıp) kütle miktarları kümülatif ve rölatif olarak elde edilmiştir. Her proseste kullanılan numunenin her iki yüzeyinde kaplama yapıldığı için sonuçlar ikiye bölünerek ortalaması olarak alınmıştır. Pürüzlülük ölçümleri içinde 0,01 μm hassaslıkta SJ-400 Mitutoyo marka bir profilometre kullanılmıştır. Ortalama pürüzlülük değerlerini elde etmek için, her proseste iki yüzeyi kaplanan numunenin her bir yüzeyi için rastgele seçilen beş farklı doğrultularda ve 8 mm mesafelerde ölçümler halinde yapılmıştır.

Kaplanan numunelerden bir kaçı standart metalografik metotlarla hazırlanarak yüzey morfolojisi ve EDX analizleri için Philips XL 30 SFEG model bir Taramalı Elektron Mikroskobu ile incelenmiştir. İncelenecek numuneler önce Struers-Minitom model bir hassas disk kesicilerde kaplama yüzeyini dikey kesecek şekilde kesilmiş ve daha sonra bakalitler içine alınmıştır. Bakalite oturtulmuş numuneler SEM de incelemeye hazır hale gelmesi için sırasıyla 500, 800, 1000 ve 1200 gritlik zımparalarla Struers Labopol-5 marka parlatma cihazı kullanılarak parlatılmıştır.

2.2. Deneysel Teknik

Bu çalışmada, ilk önce Elektro-spark Depozition yöntemini kullanarak bakır üzerine gümüş kaplamayı başarılı bir şekilde gerçekleştirebilmek ve daha sonra farklı darbe formlarını kullanarak ESD yönteminin elektrik parametrelerinin kaplamanın karakteristiklerine etkisini incelemek amaç edinilmiştir. Deneysel olarak uygulanan bu tekniğin genel ideolojisi ve darbe parametreleri, Şekil 2.1. ve Tablo 2.1 de sunulmaktadır. Mümkün olabildiğince aynı darbe enerjisine (W) ve darbe sürelerine (T_p) sahip, farklı darbe formları (üçgen ve dikdörtgen) uygulanmıştır.



Şekil 2.1. ESD proste kullanılan aynı enerji ve darbe sürelerine sahip darbe formları.

Tablo 2.1.Kullanılan impulse akımların elektrik parametreleri.

Darbe Akım Şiddetleri (A)		Darbe Süreleri (μs)	Darbe Frekansları (Hz)	Darbe Enerjileri (J)
Üçgen	Dikdörtgen			
100	50	8	7500	0,0068
200	100	16	1875	0,0272
300	150	24	833	0,0612
400	200	32	469	0,1088

Dikdörtgen ve üçgen şeklindeki darbelerin süreleri 8 ve 32 μs arasında değişmekte olup, aynı enerjilere sahip olmak kaydıyla tatbik edilen akımların şiddeti üçgen form için 100 A ile 400 A ve dikdörtgen form için 50 A ile 200 A arasındadır. ESD prosesin de uygulanan elektrik miktarı sabit tutulmuş olup, (deneysel sonuçların birbiri ile mukayesesi için sabit alınmıştır) 3 Coulomb' dur. [Şahin and Ribalko, 2006-Şahin et all, 2008]. Darbe setlerinin frekansı da ESD prosesin elektrik

miktarının sabit tutulması şartı göz önünde bulundurularak hesaplanan değerler uygulanmıştır. (Bkz Tablo 2.1.).

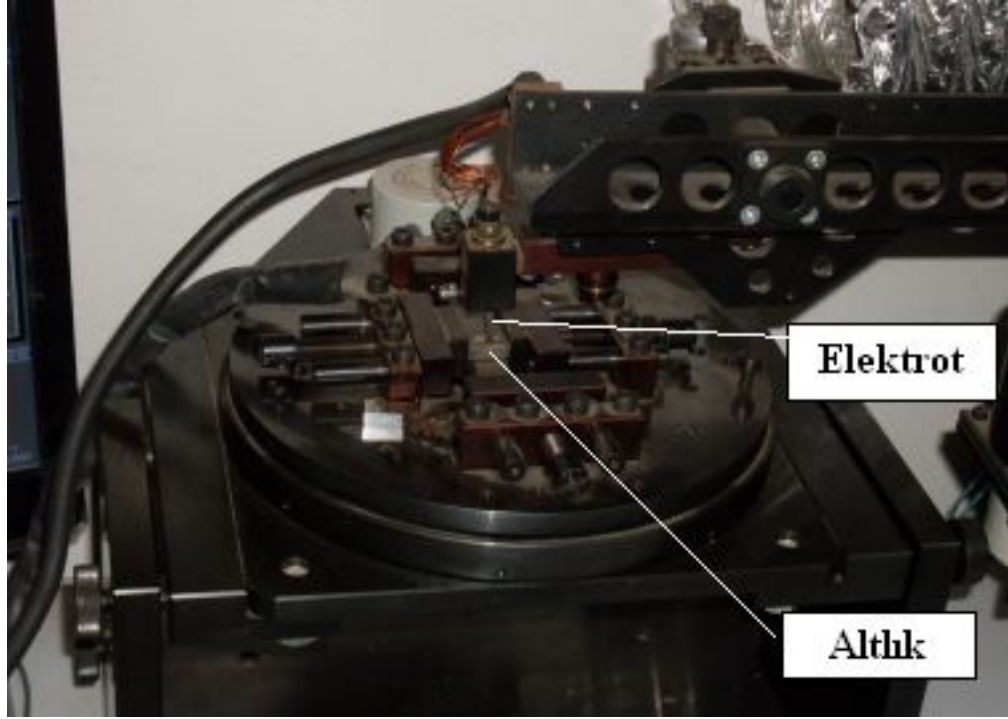
ESD sisteminde kullanılan kaplama ünitesi otomatik olup üç eksen üzerinde hareket kabiliyetine sahiptir (Bkz Şekil 2.2.a ve 2.2.b). Altlık üzerinde elektrot XY eksenleri boyunca istenilen basamak aralığında gezdirilerek kaplanacak yüzey taranabilmektedir. Ayrıca elektrot Z eksenı doğrultusunda titreşim hareket verilerek katot (altlık) ve anot (elektrot) arasında belirli frekanslarda temas ile birlikte sistemde kısa devre ve böylece elektrik akım geçişi sağlanabilmektedir.

Deneylerimizde 20 mm çapındaki bakır altlıklar üzerinde gümüş elektrotumuz X ve Y eksenlerinde 10 mm gezdirilerek 1cm² lik bir alanlar kaplanmıştır. Her iki eksen boyunca gümüş elektrot 0,28 mm basamaklar halinde bakır altlık üzerinde hareket ettirilerek 1cm² lik yüzeyler 126 s lik kaplama süresince kaplanmıştır. Her kaplama tabakası ve koşullarında kaplama hızı 0,48 cm²/s de sabit tutulmuştur.



a)

Şekil 2.2.a. Deneylerde kullanılan otomatik, üç eksenli ve PC kontrollü ESD kaplama ünitesi.



b)

Şekil 2.2.b. Deneylerde kullanılan otomatik, üç eksenli ve PC kontrollü ESD kaplama ünitesi.

2.3. Deneysel Sonuçlar

Yapılan deneylerde proses esnasında işlem elektrotunun (anot) kütle kaybı yani erozyonu, altlığın (katot) kütle kazancı ve kaplamanın pürüzlülük (R_a) gibi ESD kaplama prosesin temel karakteristikleri ölçülmüştür. [Şahin and Ribalko, 2006-Şahin et al, 2008].

2.3.1 Kümülatif Kütle Değişimleri

Her iki darbe formu için Tablo 2.2. de verilen darbe parametreleri kullanılarak farklı 4 bakır altlık numuneye (toplam 8 numune) gümüş kaplama yapılmış ve her bir tabakanın kaplama süresi 126 s olacak şekilde toplamda 5 kat kaplama prosesi tatbik edilmiştir. Her kaplama prosesi sonrası altlık ve elektrottaki kütle değişimleri ölçülmüş ve bunların kaplama sayısı (ya da kaplama süresi) değişimleri incelenmiştir. Altlıktaki (katot) toplam kütle kazanımı ve elektrottaki (anot) toplam

kütle kaybı (erozyonu) değerleri hassas bir terazi kullanılarak her koşul için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bkz (1), (2)

$$KK_n = \sum_{n=1}^5 m_0 + \Delta MK_n \quad (1)$$

$$KE_n = \sum_{n=1}^5 m_0 - \Delta ME_n \quad (2)$$

KK_n : Katottaki n. kaplamadaki kümülatif kütle kazanımı.

KE_n : Anottaki n. kaplamadaki kümülatif kütle erozyonu.

ΔMK_n : Katottaki n. kaplamadaki relatif kütle kazanımı.

ΔME_n : Anottaki n. kaplamadaki relatif kütle erozyonu.

m_0 : Katot veya anodun başlangıç kütlesi.

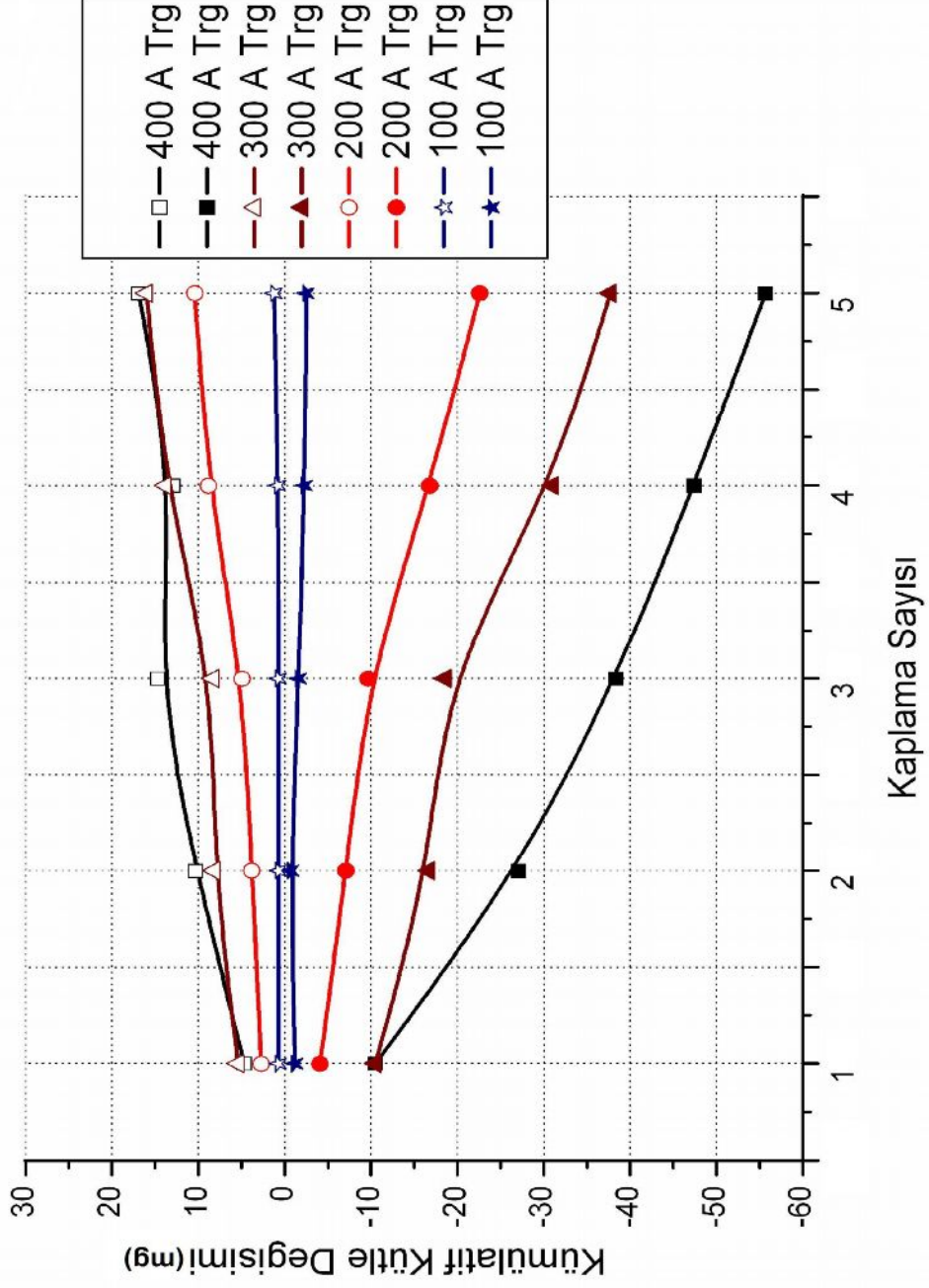
Şekil 2.3. ve 2.4 de sırasıyla üçgen ve dikdörtgen darbe formların uygulanması sonucu elde edilen kümülatif kütle artış ve azalışların kaplama sayısı ile değişimleri verilmektedir. Her iki grafikte de kaplama sayısı arttıkça kümülatif olarak hem elektrottaki kütle azalımı (erozyon) ve hem de altlıktaki kütle artışı (kazanç) devam etmektedir. Fakat her iki darbe formundaki eğilimler farklılık göstermektedir. Dikdörtgen darbelerdeki kütle kazanç ve erozyonu ilk kaplama tabakalarında hızlı artış gösterirken 3. kaplamadan sonra daha az değişir hale gelmektedir. Buna karşılık üçgen darbeler ise bunun tam tersi bir eğilim göstermektedir.

2.3.2 Relatif Kütle Değişimleri

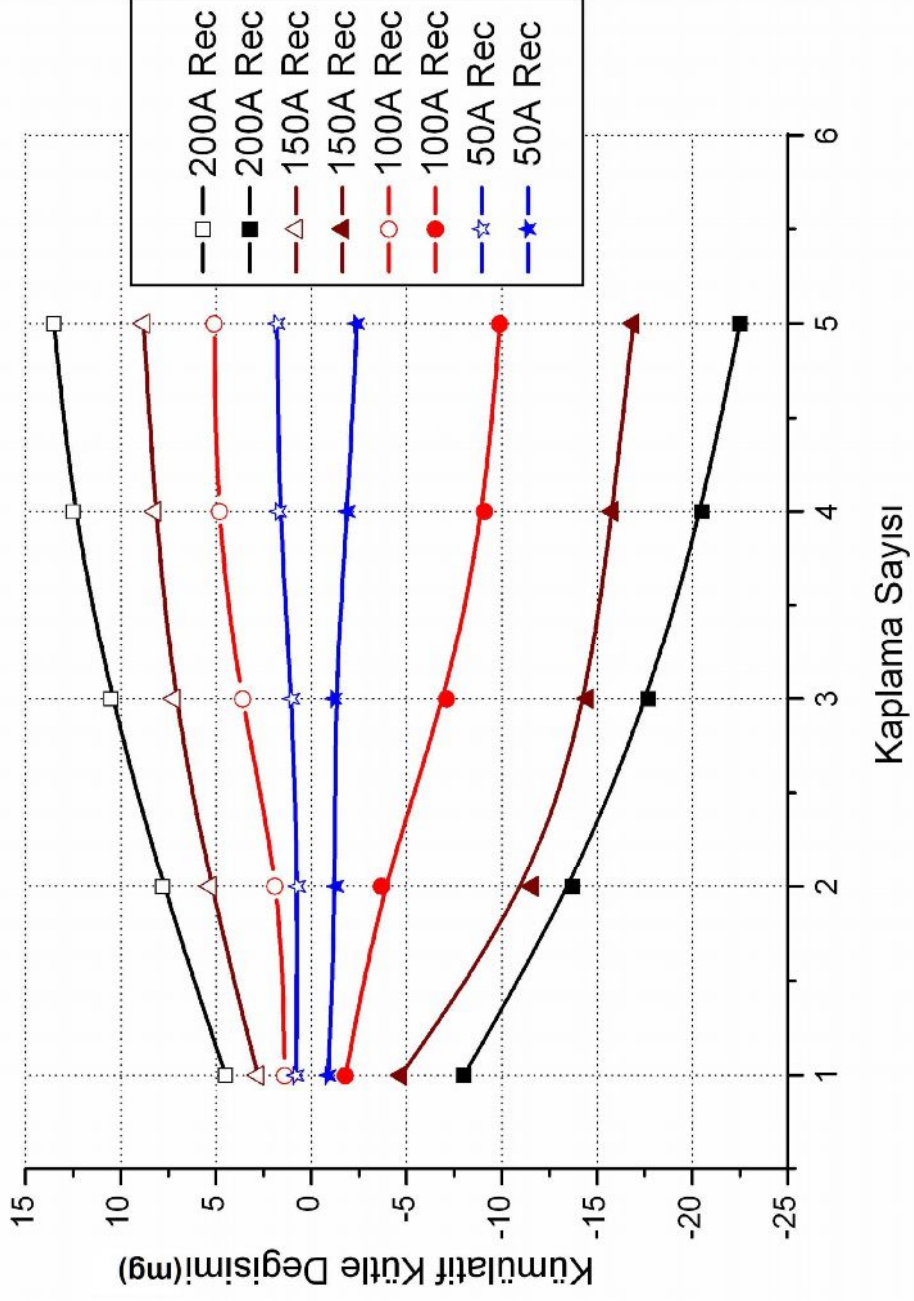
Elektrot ve altlıktaki kütle değişimlerinin daha iyi analiz edilebilmesi için (her iki set için) her kaplamadan sonra elde edilen değerler, bir önceki kaplamadan elde edilen değerlerin farkı alınarak kaplama sayısına göre relatif kütle değişimleri (ΔMK_n ve ΔME_n) elde edilmiştir. Bu değişimler Şekil 2.5. ve 2.6 da ki grafiklerde verilmektedir.

Şekil 2.5 ve 2.6 da ki grafiklerde de anlaşılmaktadır ki; dikdörtgen darbelerin kullanıldığı proseste ESD nin genel karakterine uygun olarak kaplama sayısı arttıkça relatif kütle değerleri her akım şartında azalarak sabit bir hale ulaşmaktadır. Buna karşın üçgen darbelerin kullanımında ise lineer bir azalış olmasa da başlangıçtaki yani ilk kaplama tabakasında elde edilen değerlere göre muhakkak bir düşüş mevcuttur. Ayrıca kullanılan akım şiddetlerine göre elektrottaki erozyon ile altlıktaki kütle kazanımları arasında her akım seti içinde bir uyum söz konusudur. Birlikte azalıp veya artmaktadır, yani yüksek akımlarda (yüksek enerjilerde) yüksek kütle kazanımları ve kütle erozyonları gerçekleşmektedir.

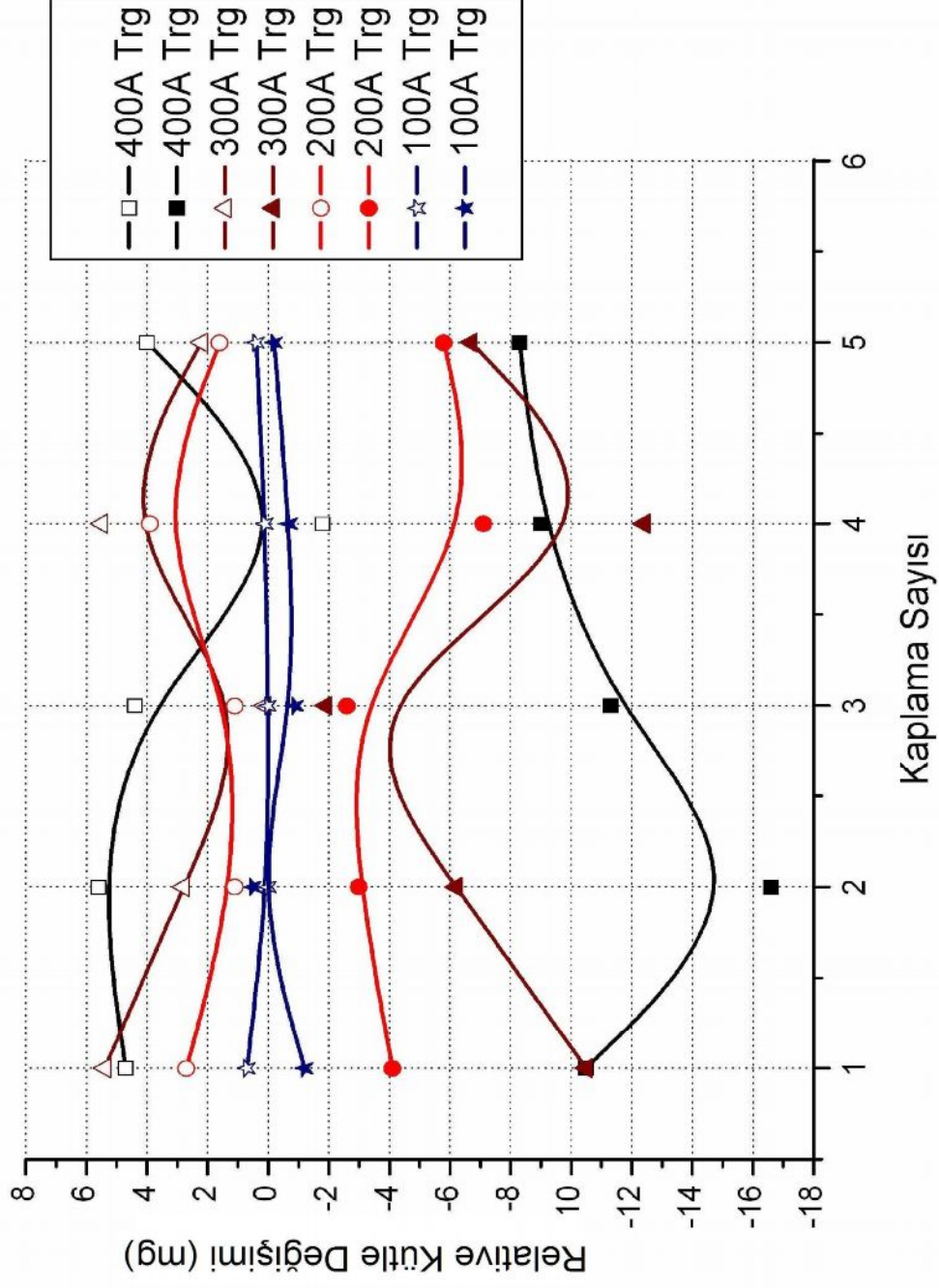
Şekil 2.5 ve 2.6 dikkatlice incelenirse, üçgen darbe formunda elde edilen kütle değişimlerinin hem altlığın kazandığı kütle hem de elektrotun kaybettiği kütle (erozyon) açısından dikdörtgen darbe formuna göre daha fazla olduğu görülebilir.



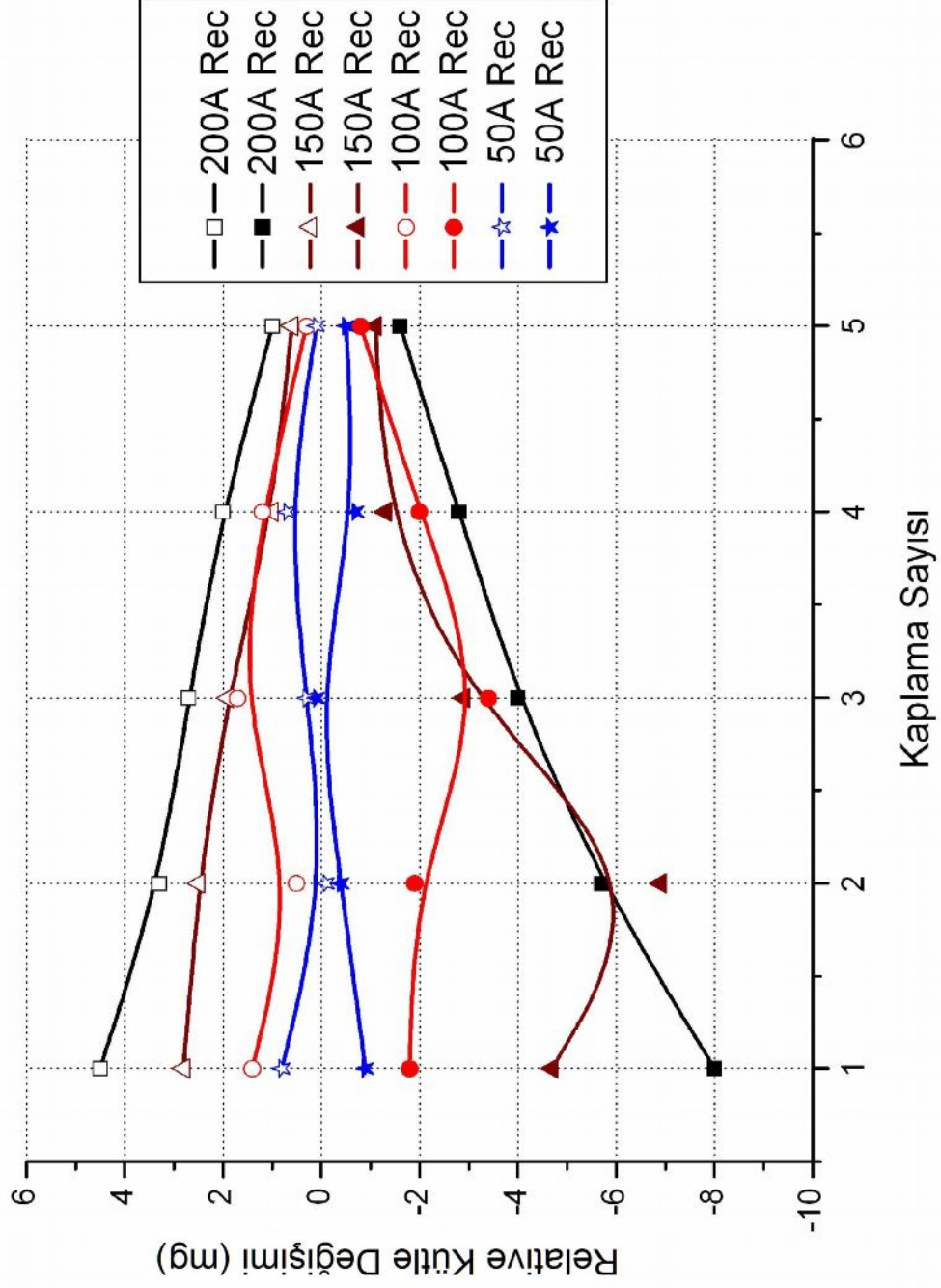
Şekil 2.3. Üçgen impulse formundaki, 100-400 A arasındaki darbelelerin uygulanması ile elde edilen kümülatif kütle değerlerin kaplama sayısına göre değişimi.



Şekil 2.4. Dikdörtgen impulse formundaki, 50-200 A arasındaki darbelerin uygulanması ile elde edilen kümülatif kütle değerlerin kaplama sayısına göre değişimi.



Şekil 2.5. Üçgen impulse formundaki, 100-400 A arasındaki darbelerin uygulanması ile elde edilen relatif kütle değerlerin kaplama sayısına göre değişimi.



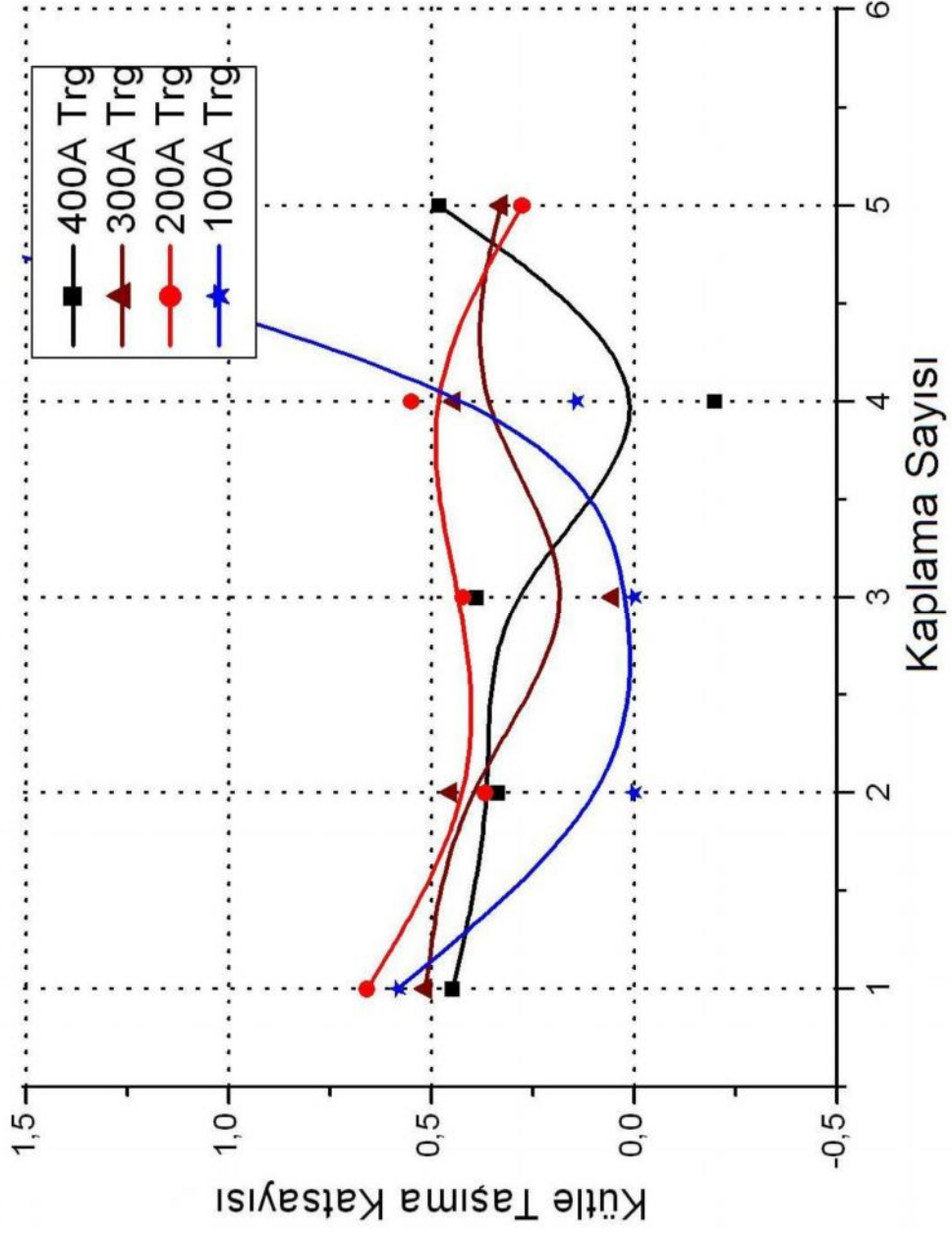
Şekil 2.6. Dikdörtgen impulse formundaki, 50-200 A arasındaki darbelerin uygulanması ile elde edilen relatif kütle değerlerin kaplama sayısına göre değişimi.

2.3.3. Kütle Taşınım Katsayısı Değerleri

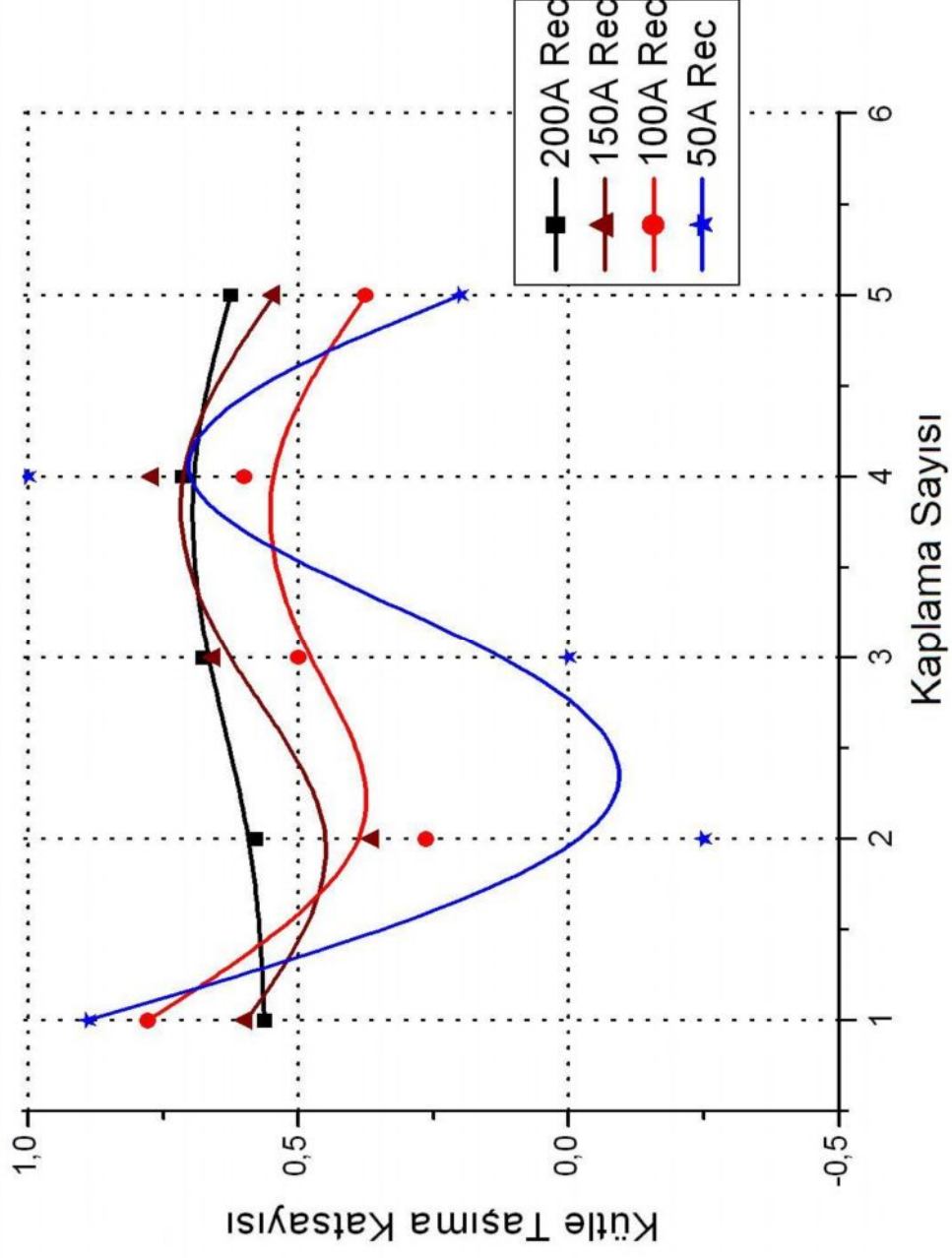
ESD kaplama tekniğinde prosesin verimini en iyi karakterize eden değer, kütle taşınım katsayılarıdır. Aynı şartlarda elde edilen altlıktaki (katot) kütle kazanımın elektrottaki (anot) erozyon olan kütleyle oranıdır. Kütle taşınım değeri (TK_n), katot ve anottaki relatif kütle değişimlerinin birbirine bölünerek elde edilir. Bkz (3).

$$TK_n = \frac{\Delta MK_n}{\Delta ME_n} \quad (3)$$

Şekil 2.7 ve 2.8 deki grafiklerde sırasıyla üçgen ve dikdörtgen darbe formların, verilen elektrik parametrelerinin kullanılarak elde edilen kütle taşıma katsayıları verilmektedir. Üçgen form için 100 A ve dikdörtgen form için 50 A akım şiddetinin kullanıldığı küçük enerjili (0,0068 J) darbeler haricinde elde edilen kütle taşıma katsayıları her iki darbe formu için genelde 0,5 civarında yoğunlaşmaktadır. Yani her ikisinde de verim aşağı yukarı % 50 civarında olup altlıkta kazanılan kütlenin yaklaşık iki katı kadar kütle elektrotta erozyona uğramaktadır. Fakat dikdörtgen darbe formunda Şekil 2.7 ve 2.8 de görüldüğü üzere genelde 0,5 katsayının üzerinde değerlere haiz iken üçgen darbe formunda genelde değerler 0,5 ortalama katsayının altındadır. Şekil 2.5 ve 2.6 daki grafiklerden genelde üçgen darbe formunda daha fazla kütlenin altlığa transfer olduğu görülmesine karşın, ESD tekniğinde kullanılan dikdörtgen darbe formun üçgen forma göre daha verimli bir kaplama prosesi gerçekleştirdiği söylenebilir.



Şekil 2.7. Üçgen darbe formunda elde edilen kütle taşıma katsayıları.



Şekil 2.8. Dikdörtgen darbe formunda elde edilen kütle taşıma katsayıları.

2.3.4. Pürüzlülük Değişimleri

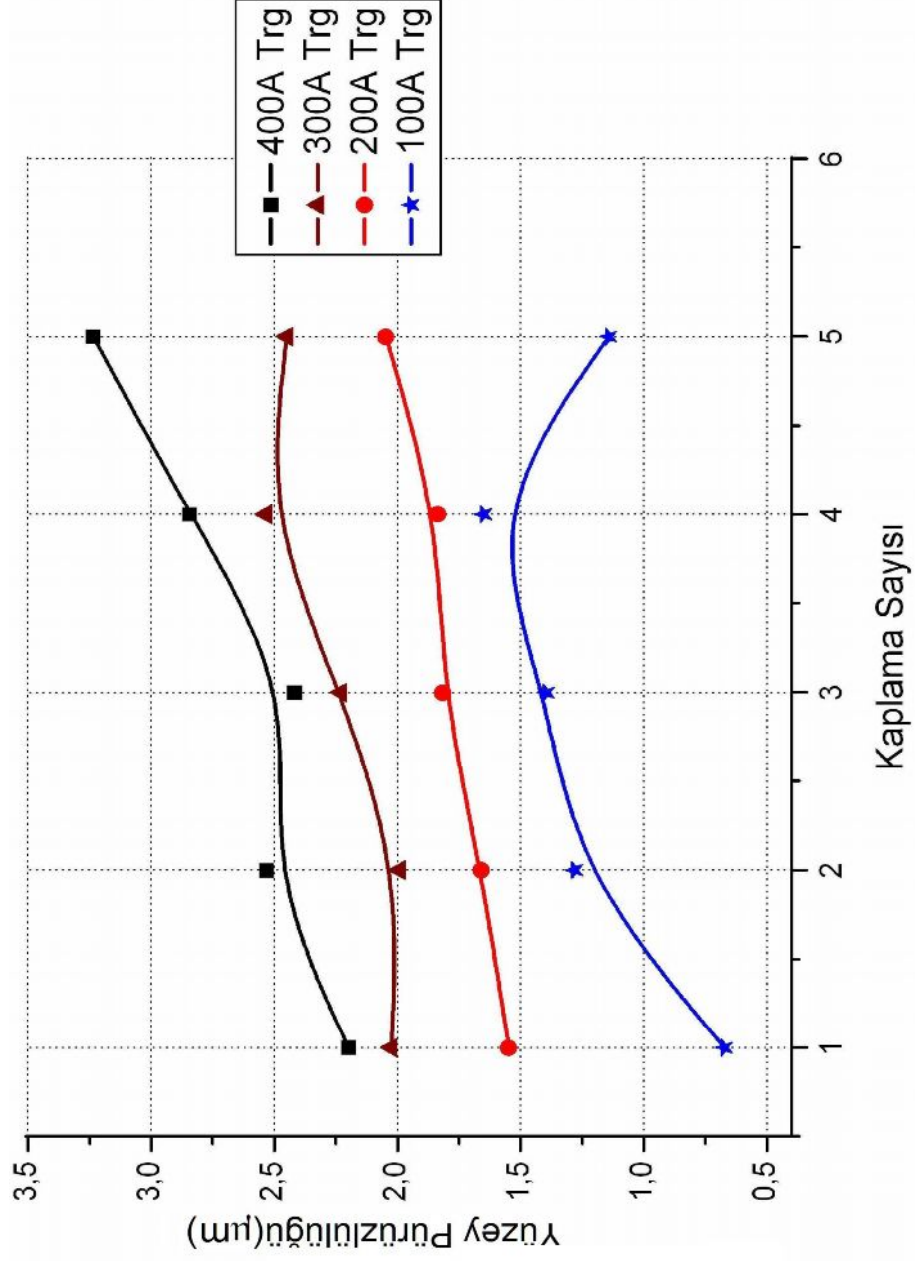
Bakır altlık üzerinde ESD tekniği ile gerçekleştirilen gümüş kaplamaların sırasıyla üçgen ve dikdörtgen darbe formu kullanılması durumunda her kaplama tabakası sonrası elde edilen yüzey pürüzlük değerleri Şekil 2.9 ve 2.10 daki grafiklerde görülmektedir.

Grafiklerdeki pürüzlülük eğrilerin gidişatına göre, her iki darbe formunda da artan akım şiddetleri ile birlikte kullanılan darbe enerjisinin artmasının pürüzlülüğü de arttırdığı söylenebilir. Ayrıca kaplama sayısının artması ile yani ilk tabakadan sonraki kaplamalarda yine pürüzlülük artmaktadır. En düşük pürüzlülük değeri ilk kaplama tabakasında elde edilebilmektedir.

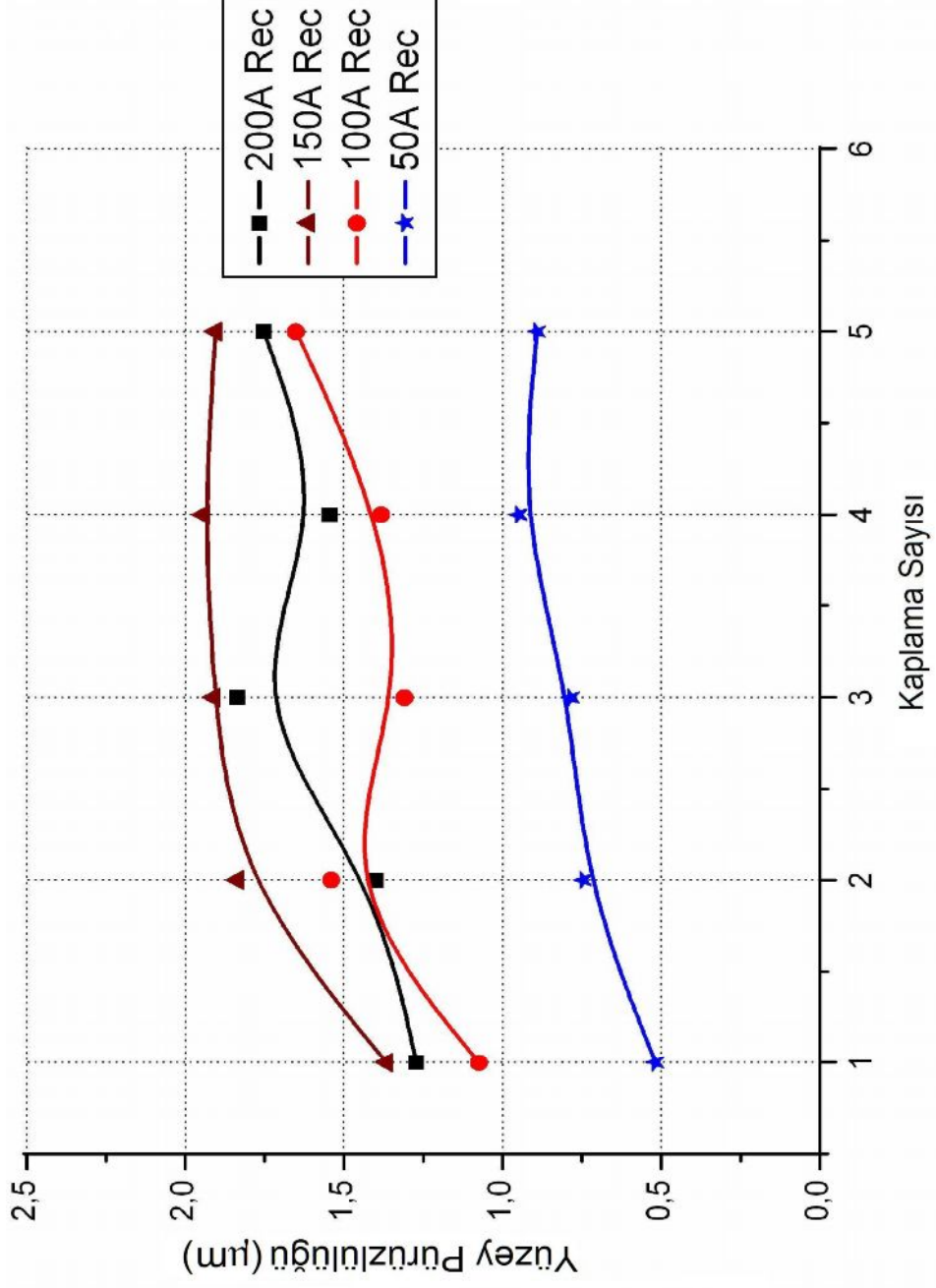
Kullanılan her iki darbe formunun, kaplama yüzeylerinde oluşturduğu pürüzlülük mukayese edilmek istenirse; dikdörtgen darbeler de pürüzlülük değerleri her akım şiddeti için $2\ \mu\text{m}$ nin altında kalırken, (Bkz Şekil 2.10.) üçgen darbeler de ise özellikle yüksek akım şiddetlerinde (dolayısıyla yüksek darbe enerji) pürüzlülük değerleri $2\ \mu\text{m}$ nin üstüne çıkabilmektedir. (Bkz Şekil 2.9.). Bu durumda kesin olarak şu sonuca varabiliriz; dikdörtgen darbe formun kullanılması daha az pürüzlü bir yüzey tabakası elde etmemizi sağlamaktadır.

2.3.5. Her İki Darbe Formun Birlikte Kullanılması

Üçgen ve dikdörtgen darbe formların genel bir mukayesesi yapılırsa; ESD tekniğinin kullanılması esnasında altlığa kütle transferinde en yüksek değerlerin üçgen darbe formların kullanılması durumunda elde edilmesine karşın prosesin en yüksek verimli koşullarını ve en az pürüzlük değerlerini de dikdörtgen darbe formun kullanılması ile elde edildiği söylenebilir.



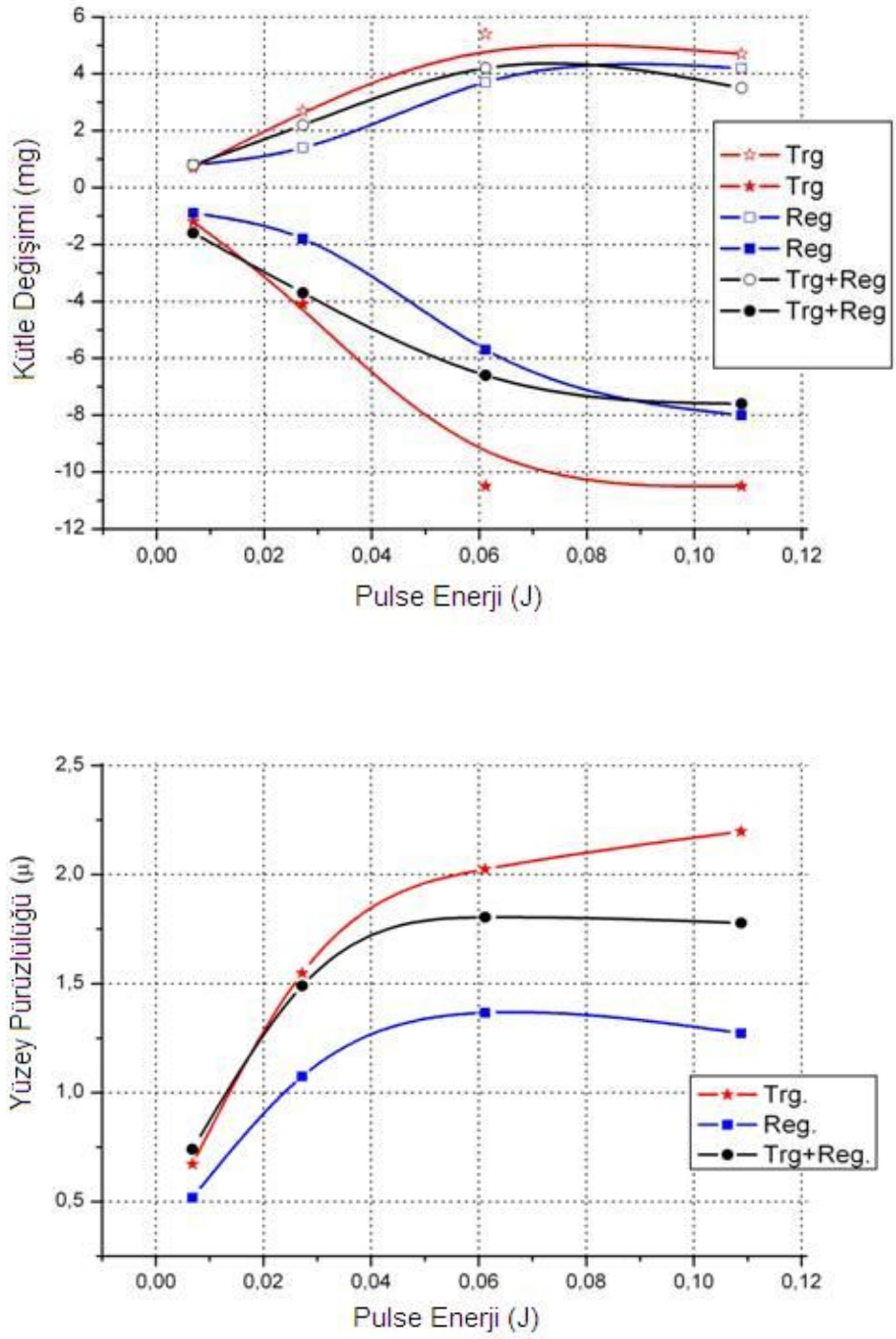
Şekil 2.9. Üçgen impulse formundaki, 100-400 A arasındaki darbelerin uygulanması ile elde edilen pürüzlülük değerlerin kaplama sayısına göre değişimi.



Şekil 2.10. Dikdörtgen impulse formundaki, 50-200 A arasındaki darbelerin uygulanması ile elde edilen pürüzlülük değerlerin kaplama sayısına göre değişimi.

Çalışmanın bu aşamasında her iki darbe formunun birlikte kullanılarak oluşturulan bir grup (üçgen + dikdörtgen) darbe uyarlaması, ESD prosete tatbik edilmiştir. Kullanılan elektrik parametrelerinde bir değişiklik yapılmaksızın sadece uygun darbe frekansları kullanılarak her iki darbe için toplam harcanacak elektrik yükün yine 3 Coulomb' da sabit tutulması öngörülmüştür.

Şekil 2.11. de grup darbenin (üçgen + dikdörtgen) uygulanması ile elde edilen sadece ilk kaplama üzerindeki prosesin karakteristiklerinden kütle değişim ve yüzey pürüzlülük değerlerinin kullanılan darbe enerjileri ile değişimleri ifade edilmektedir. Grafiklerden de görüldüğü üzere grup darbe uygulaması ile hem kütle transfer ve erozyon miktarları ve hem de pürüzlülük miktarları açısından ortalama değerler elde edilmiştir. İlk tabaka için 0,0068 ile 0,1088 J arasındaki darbe enerji kullanılarak edilen değerlerde üçgen darbe formu en yüksek pürüzlülük ve en yüksek kütle değişim değerleri verirken, grup darbe formun kullanılması genelde bu değerleri aşağı çekmesine karşın dikdörtgen darbe formuna göre de daha fazladır.



Şekil 2.11. Üçgen (Trg) ve Dikdörtgen (Reg) darbe formlarının ayrı ayrı ve birlikte grup olarak ESD metotta kullanıldığı zaman, ilk kaplama proseslerinde elde edilen elektrottaki kütle erozyonu ve altlıktaki kütle kazanımı ile yüzeydeki pürüzlülüğün darbe enerjisi ile değişimi.

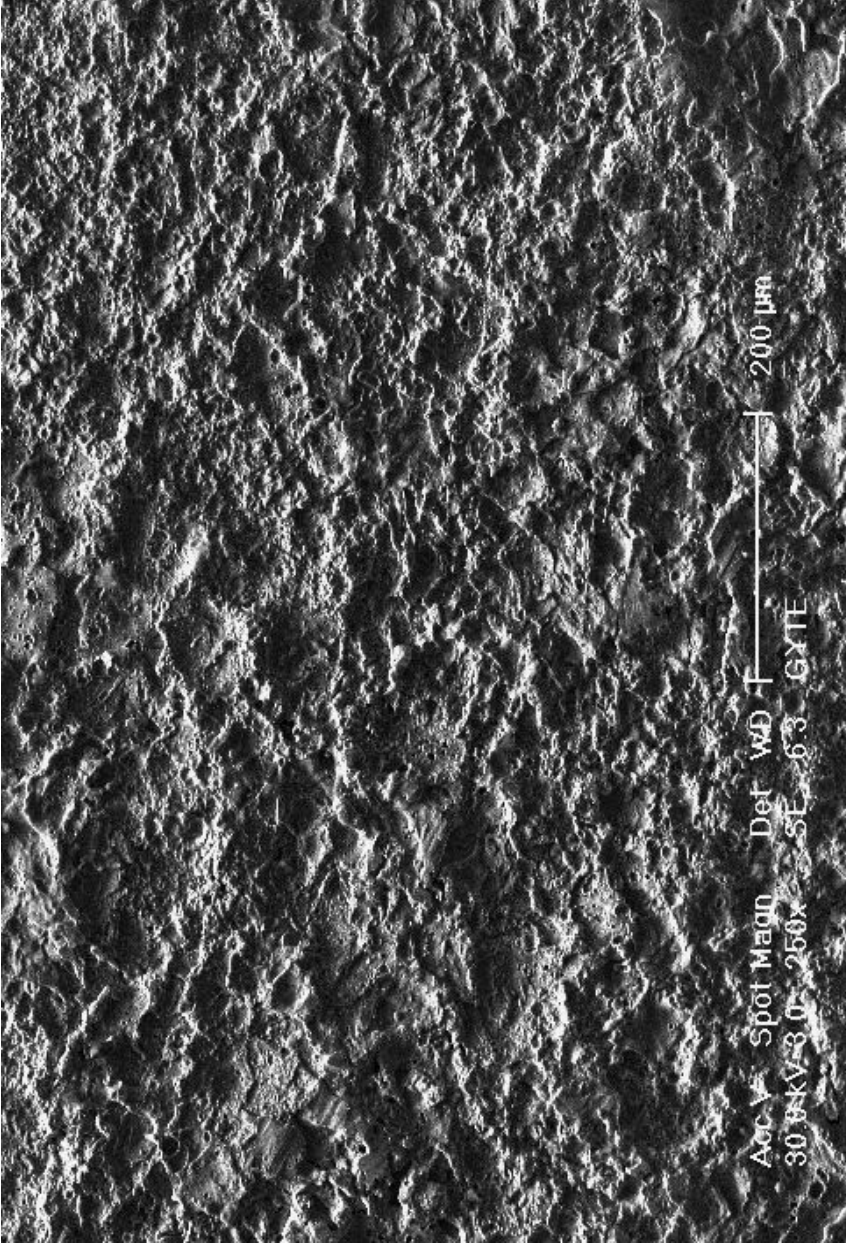
2.4 Kaplamaların SEM ve EDX Analizleri

ESD tekniği ile yapılan kaplamalardan bir kaçını daha önce bahsettiğimiz şekilde hazırlandıktan sonra kaplamaların morfolojik yapısını incelemek ve kimyasal yapı analizlerini araştırmak için EDX (Energy Dispersive Spectrum) donanımlı bir SEM (Scanning Electron Microscope) mikroskobu kullanıldı.

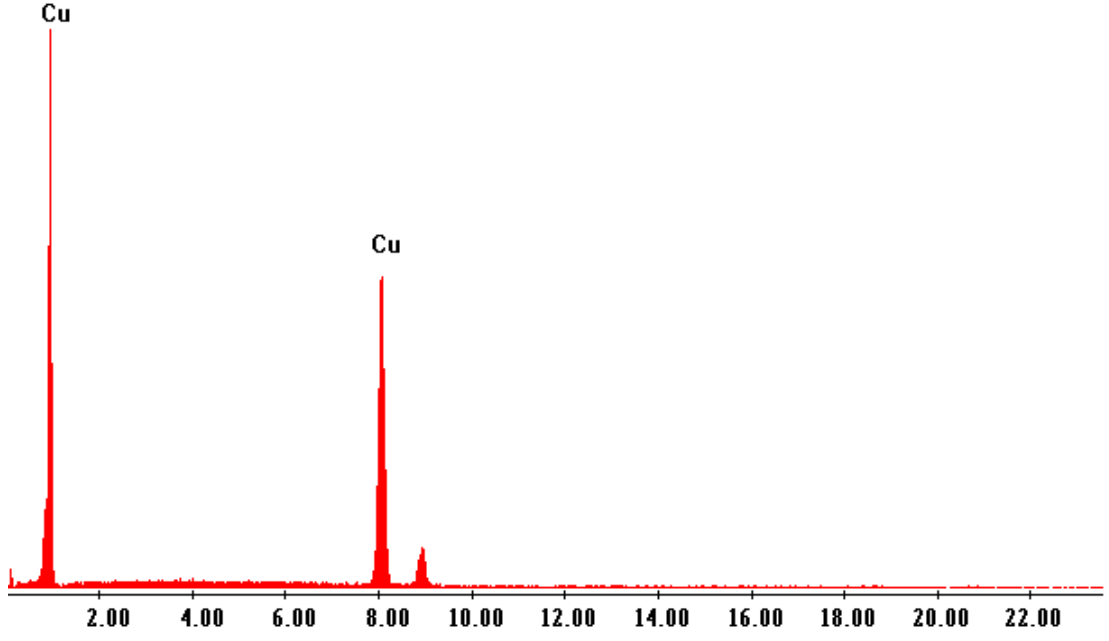
Farklı koşullarda oluşturulan birkaç numunenin yüzey görüntülerinin incelenmesinden anlaşılmıştır ki; farklı darbe formlarının kullanılmasının kaplamaların yüzey morfolojisinde kayda değer herhangi bir fark oluşturmadığı görülmüştür. Şekil 2.12. de impulse parametreleri 300 A, 24 μ s üçgen ve 150 A, 24 μ s dikdörtgen olan darbe formlarının birlikte kullanıldığı bir darbe grup uygulanarak yapılmış bir kaplamanın üstten görüntüsü yer almaktadır. Morfolojik yapı görüntüden de anlaşıldığı üzere ESD kaplamanın genel karakteristiğini yansıtmaktadır; elektrottan ergimiş halde eroziv olan kütlenin altlık üzerine depozit olurken oluşan splash (depozit damlacığı) görüntüler ve depozit damlacıkların dinamik kuvvetlerin etkisi altında etrafa saçılıp katılaşan partiküller. Ayrıca görüntüden anlaşılmaktadır ki altlığı tamamen örten bir kaplama tabakası mevcut olup bakır altlık üzerine başarılı bir şekilde ESD yöntemi ile gümüş kaplama gerçekleştirilmiştir. Şekil 2.12. de morfolojisi incelen numunenin, 30 kV de yapılan EDX analiz sonuçları Tablo 2.2. de verilmektedir. Ayrıca bakır altlığında EDX analizi yapılmış olup, altlığın ve kaplamanın EDX grafikleri Şekil 2.13. de verilmektedir.

Tablo 2.2. Bakır üzerindeki gümüş kaplamanın EDX analizi.

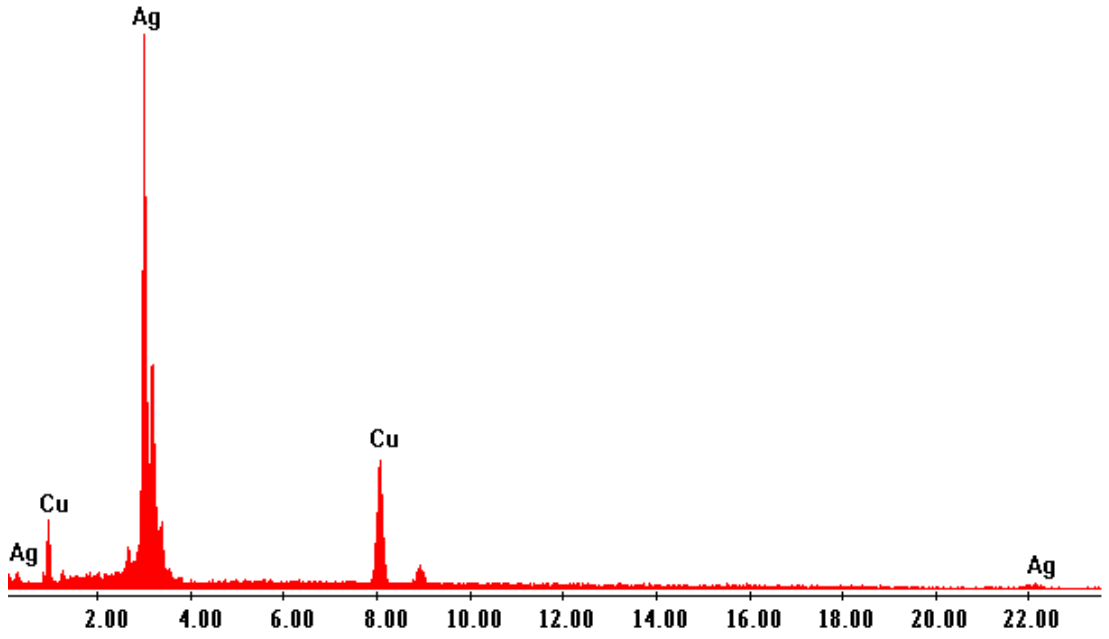
Element	Ağırlıkça Yüzde	Atomik Yüzde
Ag	75,77	64,81
Cu	24,23	35,19
Toplam	100,00	100,00



Şekil 2.12. İmpulse parametreleri 300 A, 24 µs üçgen ve 150 A, 24 µs dikdörtgen olan darbe formlarının birlikte kullanıldığı (darbe grup uygulanılarak yapılmış) bir kaplamanın üstten görüntüsü.

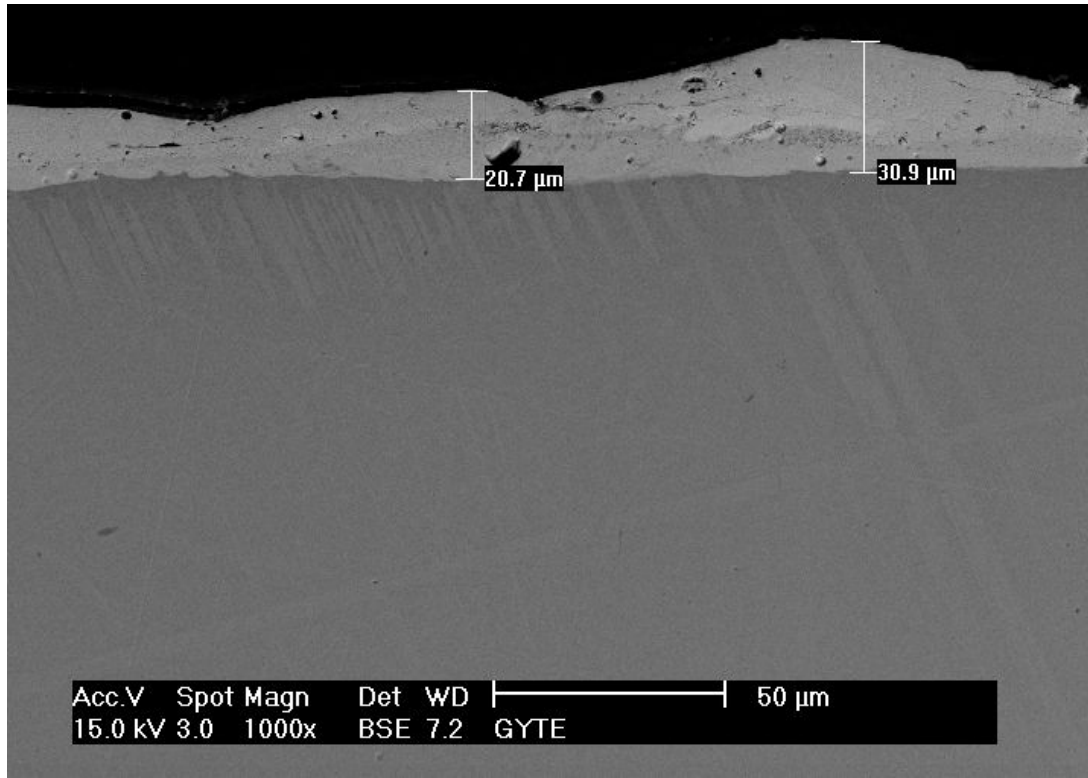


a)



b)

Şekil 2.13.a) Bakır altlığın, b) Bakır üzerine ESD yöntemi kullanılarak elde edilen gümüş kaplamanın EDX analizleri.



Şekil 2.14. ESD yöntemi kullanılarak bakır üzerine yapılmış gümüş kaplamanın yan-kesit görüntüsü.

Tablo 2.2. deki veriler ve Şekil 2.13. deki grafiklerden anlaşılmaktadır ki bakır üzerindeki gümüş kaplamada azımsanmayacak kadar (% 25 civarında) hala bakır mevcuttur. Bu da ESD prosesi ile yapılan kaplamada altlık malzeme (Cu) ile elektrot malzeme (Ag) arasında bir eriyik havuzu içinde tam bir karışımın ve katılaşma sonrasında bir alaşımlamanın gerçekleştiğinin ispatıdır.

Şekil 2.14. de, oluşturulan alaşım kaplamanın yan kesit görüntüsü sunulmaktadır. Görüntüden bakır altlık üzerinde deposit olan yaklaşık 20–25 μm kalınlığında bir gümüş kaplamanın mevcut olduğu anlaşılmaktadır. Altlık ile kaplama arasında üniform bir ara yüzeyinde (interface) olduğu görülmektedir. Bütün bunlar bakır altlık ile üzerinde alaşımlanan gümüşün metalurjik bir bağ oluşturduğunu işareti olup ESD yöntemine özgü bir sonuçtur.

3. SONUÇLAR

Electrospark Deposition (ESD) yöntemi kullanılarak bakır altlık numuneler üzerine gümüş elektrot ile kaplama deneyleri yapılmış ve prosesin elektrik parametrelerinin (darbe akım şiddeti, darbe süresi ve darbe formu) kaplama karakteristikleri (erozyon ve transfer kütleleri, yüzey pürüzlülüğü) üzerinde etkileri incelenmiştir. Elde edilen bulgular, maddeler halinde şu şekilde özetlenebilir;

1. Bakırın üzerine gümüşün kaplanmasında ESD tekniği başarılı olmuştur. Elde edilen kaplamada, SEM ve EDX analizlerine göre eriyik halde transfer olan gümüş yine eriyik haldeki bakır ile tam bir karışım oluşturarak, Cu-Ag esaslı bir alaşımlama gerçekleşmiştir.
2. Altlık ile kaplama arasında bir geçiş ara yüzeyi olup, ara yüzeyden itibaren yaklaşık 20–25 μm kalınlığında üniform bir deposit tabakası mevcuttur.
3. Yüzey morfolojisi incelemelerinden kaplamanın bir süreklilik arz ettiği ve yaklaşık 2 μm civarında bir pürüzlülüğe sahip olduğu anlaşılmıştır. ESD tekniği açısından bu değer oldukça başarılıdır.
4. Elektrottaki kütle erozyonu, altlıktaki kütle kazanımı ve kaplama yüzey pürüzlülüğü gibi ESD tekniğinin kendine özgü karakteristikleri açısından, proses, darbe formu ve darbe enerjisi açısından incelenmiş olup; üçgen darbe formun erozyon kütle transferi konusunda daha yüksek değerler vermesine karşılık, dikdörtgen darbe formun verimlilik açısından (% 50 nin üstünde) daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca dikdörtgen darbe formu 2 μm nin bile altında pürüzlülük değerleri vermiştir. Aynı enerjilere sahip olmasına karşın iki darbe formu arasındaki bu farkın, verilen akımın darbelerinin eğimi yani akımın artma hızı, yani verilen enerjinin hızı ile ilgisi olduğu düşünülmektedir.

5. Her iki darbe formunun birlikte kullanıldığı bir grup darbe uygulanması durumunda beklenildiği gibi her iki formun ayrı ayrı kullanılması neticesinde elde edilen değerleri arasında ortalama sonuçlar elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

- 1- ÜRGEN Mustafa, “Modern Yüzey İşlem Teknolojileri ve Türkiye’deki Gelişmeler”, 9. Uluslararası Metalürji ve Malzeme Kongresi, İstanbul, TURKEY, 1997, Sayfa 333-349.
- 2- ÖGEL Bilgehan, “Metal Yüzeylere Uygulanan İşlemler, Yöntem ve Malzeme Seçimi”, Metalürji Dergisi, 1986, Sayfa 5-14.
- 3- BRAUNOVIC Milenko, “Reliability of power connections”, Journal of Zhejiang University SCIENCE A, 2007 8(3):343-356.
- 4- KASSMANA Asa and JACOBSONA Staffan, “Surface damage, adhesion and contact resistance of silver plated copper contacts subjected to fretting motion”, Wear, V: 165, 1993, Sayfa 227-230.
- 5- KASSMANA Asa and JACOBSONA Staffan, “Gross plastic fretting mechanical deterioration of silver coated electrical contacts”, Wear, V: 201, 1996, Sayfa 244-254.
- 6- KORKMAZ Kemal, “Elektrospark Biriktirme Yöntemiyle Mikro Alaşımli Çeliklerin Tungsten Karbür İle Kaplanması”, Doktora Tezi, GYTE, 2008.
- 7- JOHNSON R.N. and SHELDON G.L. , “Advances in the electrospark deposition coating process”, Journal of Vacuum Science & Technology A, Volume 4, Issue 6 , 1986, Pages 2740-2746
- 8- LESNJAK A. and TUSEK J. , “Processes and properties of deposits in electrospark deposition”, Science and Technology of Welding and Joining 2002 Vol. 7 No. 6 ,

- 9- LESNJAK A. and TUSEK J., "Some characteristics of electrospark deposition", Z. Metalkunde 94, 2003/11, Pages:1260-1266.
- 10-JOHNSON Roger N., "ElectroSpark Deposition: Principals and Applications", Society of Vacuum Coaters, 45th Annual Technical Conf. Proceedings, Lake Buena Vista, FL, 87-92, April 13-18, 2002.
- 11- REYNOLDS James L. Jr., "Electro-Spark Deposition", Advanced Materials & Process, March 2003, Pages 35-37
- 12-MAKSIMOV V.K. and MARCHENKO L.F., "Electrospark alloying and wear resistance in microsurgery instruments", Biomedical Engineering, 22(2) March (1988) 44-46.
- 13-RIBALKO A.V.and SAHIN O., "A modern representation of the behaviour of electrospark alloying of steel by hard alloys", Surface and Coatings Technology, Volume 201, Issues 3-4, 5 October 2006, Pages 1724-1730.
- 14-RIBALKO Alexander V., KORKMAZ Kemal, SAHIN Orhan, "Intensification of the anodic erosion in electrospark alloying by the employment of pulse group", Surface and Coatings Technology, Volume 202, Issue 15, 25 April 2008, Pages 3591-3599.

ÖZGEÇMİŞ

1971 yılında İstanbul Üsküdar’ da doğmuştur. Orta öğrenimini Üsküdar / Haydarpaşa Teknik Lisesi’nde tamamladıktan sonra 1990 yılında Edirne Trakya Üniversitesi Mühendislik / Mimarlık Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü’nde yüksek öğrenimine başladı. Lisans öğrenimini 1994 yılında Trakya Üniversite’sinde tamamlamasının ardından Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü’nde yüksek lisans programına kayıt oldu. Derslerini tamamlamasının ardından da İGDAŞ’ (İstanbul Gaz Dağıtım A.Ş.) ta Makine Mühendisi olarak göreve başladı ve halen İGDAŞ’ ta Üsküdar Şebeke Şefi olarak görevine devam etmektedir. Evli ve bir çocuk babasıdır.