

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PULSE PLAZMA TEKNOLOJİSİ İLE MODİFİYE
EDİLMİŞ AISI 1090 ÇELİKLERİNİN YÜZEY
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Metalurji ve Malzeme Müh. Aysun AYDAY

**Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME MÜH.
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mehmet DURMAN**

Eylül 2006

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PULSE PLAZMA TEKNOLOJİSİ İLE MODİFİYE
EDİLMİŞ AISI 1090 ÇELİKLERİNİN YÜZEY
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Metalurji ve Malzeme Müh. Aysun AYDAY

Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME MÜH.

Bu tez 07 / 09 / 2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

**Prof. Dr. Mehmet DURMAN
Jüri Başkanı**

**Doç. Dr. S. Can KURNAZ
Jüri Üyesi**

**Yrd. Doç.Dr. Yavuz SOYDAN
Jüri Üyesi**

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin hazırlanmasında, değerli bilgileri ve fikirleri ile büyük katkı sağlayan, çalışmalarında desteklerini esirgemeyen, her türlü yardımı gösteren çok saygıdeğer hocam Prof.Dr. Mehmet DURMAN' a teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca desteğini esirgemeyen, çalışmalarında daima yardımcı olan, çok değerli hocam Doç.Dr. S.Can KURNAZ'a çok teşekkür ederim. Tez çalışmalarım süresince desteklerini ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen, çalışmalarında daima yardımcı olan değerli hocam Yard.Doç.Dr. Ahmet ÖZEL'e ve Araş.Gör. Yıldız Yaralı Özbek'e, Teknisyen Ebubekir Cebeci'ye sonsuz teşekkürler. Bu çalışma süresince laboratuvar imkanlarından yararlandığım Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümüne ve Bölüm başkanımız Prof.Dr. Cuma BİNDAL'a ve ayrıca tüm hocalarıma, her zaman yardımları ile bana destek olan Dr. A. Şükran Demirkıran, Araş.Gör. Nuray Karakuş, Yard.Doç.Dr. Uğur Öz Saraç, Araş.Gör. Güven Yarkadaş, Araş.Gör. Hüseyin Şevik, bölüm teknisyeni Ersan Demir'e ve ayrıca adını yazamadığım emeği geçen herkese teşekkürlerimi arz ederim.

Son olarak bana her zaman destek olan, her an benim yanımda olan, beni her zaman cesaretlendiren çok sevdiğim anneme ve babama, çok sevgili aileme sonsuz teşekkürler.

AYSUN AYDAY

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ÖZET.....	xiii
SUMMARY.....	xiv

BÖLÜM 1.

GİRİŞ.....	1
------------	---

BÖLÜM 2.

YÜZEY İŞLEMLERİ

2.1. Yüzey işlem Prosesleri.....	3
2.2. Yüzey İşlem Seçimini Etkileyen Faktörler.....	4

BÖLÜM 3.

PLAZMA NEDİR	5
--------------------	---

3.1. Plazma Tanımı ve Oluşumu.....	5
3.2. Plazma Gazları.....	10
3.3. Farklı Plazma Türleri.....	11
3.4. Termal Plazmanın Ortaya Çıkışı.....	12
3.4.1. Yüksek yoğunluklu arklar.....	12
3.4.2. Serbest-fırın arkları.....	14
3.4.3. Duvar stabilize arklar.....	15
3.4.4. Konveksiyon stabilize arklar.....	16
3.4.5. Magnetik stabilize arklar.....	17

3.4.6. Kendinden Stabilize Arklar.....	17
3.5. Plazma Depozisyonu.....	17
3.5.1. Plazma sprej.....	17
3.5.2. Termal plazma kimyasal buhar depozisyonu.....	19
3.5.3. Termal plazma fiziksel buhar depozisyonu.....	20
3.5.4. Termal plazma lazer CVD tekniği.....	21

BÖLÜM 4.

PULSE PLAZMA TEKNOLOJİSİ.....	22
4.1. Giriş.....	22
4.2. Pulse Plazma.....	22
4.3. Pulse Plazma Teknolojisi Çalışmanın Prensipleri.....	25
4.3.1. İş parçası yüzey ile plazma etkileşiminin sonuçları.....	28
4.4. Pulse Plazma Teknolojisinin Avantajları.....	31
4.5. Pulse Plazma Teknolojisinin Uygulama Alanları.....	32
4.6. Pulse Plazma Teknolojisini Endüstriyel, Ekonomik ve Sosyal Yönleri.....	32
4.7. Yüksek Yoğunluklu Pulse Plazma	36
4.8. Hibrid Pulse Plazma Yöntemi.....	37

BÖLÜM 5.

PULSE PLAZMA UYGULAMALARI.....	39
5.1. Giriş.....	39
5.2. Sertleştirme Alanında Uygulamalar	39

BÖLÜM 6.

YÜZEY SERTLEŞTİRME İŞLEMLERİ.....	42
6.1. Giriş.....	42
6.2. Karbürizasyon.....	42
6.3. Nitrürlenme.....	43
6.4. Karbonitrürlenme.....	44
6.5. Ferritik Nitrokarbürleme.....	45
6.6. Çeliklerde Yüzey Sertleştirme.....	46

6.6.1. Oksiasetilen alevi ile sertleştirme.....	46
6.6.2. Yüksek frekans indüksiyon sertleştirilmesi.....	47
6.6.3. Elektriksel temas direnç ısıtması ile sertleştirme.....	48
6.6.4. Elektrolitik ısıtma ile sertleştirme.....	48
BÖLÜM 7.	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	49
7.1. Giriş.....	49
7.2. Pulse Plazma İşlemi Uygulamaları.....	49
7.3. Metalografik Çalışmalar.....	52
7.4. X-Işınları Analizleri.....	52
7.5. Mikrosertlik Ölçümleri.....	52
7.6. Tarayıcı Elektron Mikroskobu (SEM) Ve EDS Analizleri.....	52
BÖLÜM 8.	
DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELEME.....	53
8.1. Mikroyapı Sonuçları.....	53
8.2. Mikro Sertlik Sonuçları.....	68
8.3. SEM ve EDS Analiz Sonuçları.....	80
8.4. X-Işınları Difraksiyon Analizleri.....	104
BÖLÜM 9.	
SONUÇLAR.....	114
9.1. Sonuçlar.....	114
9.2. Öneriler.....	115
BÖLÜM 10.	
TARTIŞMA VE ÖNERİLER.....	116
KAYNAKLAR.....	118
ÖZGEÇMİŞ.....	122

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

n_e	: Elektronların konsantrasyonu
n_i	: İyonların konsantrasyonu
k	: Boltzman sabiti
T	: Mutlak sıcaklık
T_e	: Elektron sıcaklığı
IPD	: İyon implantasyonu
PVD	: Fiziksel buhar depozisyonu
TPCVD	: Termal plazma kimyasal buhar depozisyonu
TPPVD	: Termal plazma fiziksel buhar depozisyonu
C	: Pil kapasitesi
n	: Uygulanan pulse sayısı
H	: Nozul ile numune arasındaki mesafe
h	: Elektrot nozul arası mesafe

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1. Nötr bir atomun şematik gösteri.....	5
Şekil 3.2. Değişik partiküllerin şematik gösterimi.....	6
Şekil 3.3. Azot moleküllerinin ayrışması	7
Şekil 3.4. İyonlaşma ve plazma gazının oluşumu.....	7
Şekil 3.5. Plazma ışınındaki sıcaklık dağılımı.....	9
a)Laminer akış b)Türbilanslı akış	
Şekil 3.6. a)Argon b) Azot plazmasındaki sıcaklık dağılımı.....	10
Şekil 3.7. Plazmanın sınıflandırılması.....	12
Şekil 3.8. Ark Boyunca Tipik Potansiyel Dağılımı.....	13
Şekil 3.9. Ark etkili pump hareketinin şematik görünümü.....	13
Şekil 3.10. Ark sıcaklığı ve elektron yoğunluğu incelemesi.....	14
Şekil 3.11. Tipik duvar stabilize ark görüntüsü.....	15
Şekil 3.12. Gaz-vorteks stabilize ark sistematik görünümü.....	16
Şekil 3.13. Atmosferik- basınçta plazma sprey düzeneği.....	19
Şekil 3.14. RF düzeneği şematik görünümü.....	20
Şekil 3.15. Lazer PVD cihazının şematik gösterimi.....	20
Şekil 4.1. Pulse-Plazma Cihazı Şematik Görünümü.....	23
Şekil 4.2. Pulse-Plazma Ekipman Düzeneği.....	24
Şekil 4.3. a) İşlem Esnasında Plazmatron Görüntüsü	24
Şekil 4.3. b) Plazmatron Görüntüsü.....	24
Şekil 4.4. Farklı Yöntemlerin Kıyaslama Diyagramı.....	25
Şekil 4.5. a) Pulse Plazma İle Modifikasyon Oluşum Mekanizması	27
Şekil 4.5. b) Pulse Plazma İle Modifikasyon Oluşum Mekanizması.....	28
Şekil 4.6. Plazma Detonasyon Ekipman Düzeneği.....	28
Şekil 4.7. a) 1 Pulse Uygulanmış Yüzey Tabakası Görünümü.....	29
Şekil 4.7. b) 5 Pulse Uygulanmış Yüzey Tabakası Görünümü.....	29
Şekil 5.1. Çeşitli alanlarda kullanılan iş parçalarında pulse plazma	37

Şekil 5.2.	İş parçasına pulse plazma tekniği uygulanması.....	39
Şekil 8.1.	2F numuneye ait optik mikroyapısı.....	53
Şekil 8.2.	7F numuneye ait optik mikroyapısı.....	54
Şekil 8.3.	6F numuneye ait optik mikroyapısı.....	54
Şekil 8.4.	9F numuneye ait optik mikroyapısı.....	55
Şekil 8.5.	10F numuneye ait optik mikroyapısı.....	55
Şekil 8.6.	11F numuneye ait optik mikroyapısı.....	56
Şekil 8.7.	15F numuneye ait optik mikroyapısı.....	56
Şekil 8.8.	a) 12F numuneye ait optik mikroyapısı (20x).....	57
Şekil 8.8.	b).12F numuneye ait optik mikroyapısı (50X).....	57
Şekil 8.9.	a) 13F numuneye ait optik mikroyapısı (20X).....	58
Şekil 8.9.	b)13F numuneye ait optik mikroyapısı (50X).....	58
Şekil 8.10.	a) 14F numuneye ait optik mikroyapısı (20X).....	59
Şekil 8.10.	b).14F numuneye ait optik mikroyapısı (50X).....	59
Şekil 8.11.	17F numuneye ait optik mikroyapısı.....	60
Şekil 8.12.	19F numuneye ait optik mikroyapısı.....	60
Şekil 8.13.	20F numuneye ait optik mikroyapısı.....	61
Şekil 8.14.	5F numuneye ait optik mikroyapısı.....	62
Şekil 8.15.	a) 1G numuneye ait optik mikroyapısı (x20)	63
Şekil 8.15.	b) 1G numuneye ait optik mikroyapısı (x100)	63
Şekil 8.16.	1G numuneye ait optik mikroyapısı.....	64
Şekil 8.17.	3G numuneye ait optik mikroyapısı.....	64
Şekil 8.18.	6G numuneye ait optik mikroyapısı.....	65
Şekil 8.19.	7G numuneye ait optik mikroyapısı.....	65
Şekil 8.20.	11G numuneye ait optik mikroyapısı.....	66
Şekil 8.21.	15G numuneye ait optik mikroyapısı.....	66
Şekil 8.22.	16G numuneye ait optik mikroyapısı.....	67
Şekil 8.23.	17G numuneye ait optik mikroyapısı	67
Şekil 8.24.	18G numuneye ait optik mikroyapısı.....	68
Şekil 8.25.	Sıra sertlik profili alınmış bir numunenin mikroyapısı.....	69
Şekil8.26.	1F, 2F, 3F, 4F, 5F numunelerinin yüzeyden içeri doğru sertlik profilleri.....	

Şekil8.27.	6F, 7F, 8F, 9F, 10F numunelerinin yüzeyden içeri doğru sertlik profilleri.....	71
Şekil8.28.	11F, 12F, 13F, 14F, 15F numunelerinin yüzeyden içeri doğru sertlik profilleri.....	72
Şekil8.29.	16F, 17F, 18F, 19F, 20F numunelerinin yüzeyden içeri doğru sertlik profilleri.....	72
Şekil8.30.	1G, 2G, 3G, 4G, 5G numunelerinin yüzeyden içeri doğru sertlik profilleri.....	73
Şekil8.31.	6G, 7G, 8G, 9G, 10G numunelerinin yüzeyden içeri doğru sertlik profilleri.....	74
Şekil8.32.	11G, 12G, 13G, 14G, 15G numunelerinin yüzeyden içeri doğru sertlik profilleri.....	75
Şekil8.33.	16G, 17G, 18G numunelerinin yüzeyden içeri doğru sertlik profilleri.....	76
Şekil8.34.	F grubu numunelerin uygulanan pulse sayısına bağlı mikrosertlik verileri.....	77
Şekil8.35.	G grubu numunelerin uygulanan pulse sayısına bağlı mikrosertlik veriler.....	78
Şekil 8.36.	F grubu nozul-numune arası mesafe ve mikrosertlik verileri	79
Şekil 8.37.	G grubu nozul-numune arası mesafe ve mikrosertlik verileri.....	80
Şekil 8.38.	F6 numune yüzeyinin SEM görüntüleri (x1000).....	81
Şekil 8.39.	a) F6 numunesine ait 1 nolu bölgeden EDS analizi.....	82
Şekil 8.39.	b) F6 numunesine ait 2 nolu bölgeden EDS analizi.....	82
Şekil 8.40.	8F numune yüzeyinin SEM görüntüleri (x1000).....	83
Şekil 8.41.	a) F8 numunesine ait 1 nolu bölgeden EDS analizi.....	84
Şekil 8.41.	b) F8 numunesine ait 2 nolu bölgeden EDS analizi.....	84
Şekil 8.41.	c) F8 numunesine ait 3 nolu bölgeden EDS analizi.....	85
Şekil 8.42.	F9 numune yüzeyinin SEM görüntüleri (x1000).....	86
Şekil 8.43.	F17 numune yüzeyinin SEM görüntüsü (x1000).....	87
Şekil 8.44.	a) F17 numnesine ait EDS analizi.....	87
Şekil 8.44.	b) F17 numunesine ait Mo için çizgi EDS analiz.....	88
Şekil 8.45.	F18 numune yüzeyinin SEM görüntüleri (x2000).....	88
Şekil 8.46.	F18 numunesine ait Mo ve Fe için çizgi EDS analizi.....	88

Şekil 8.47.	F20 numune yüzeyinin SEM görüntüsü (x2000).....	89
Şekil 8.48.	F20 numunesine ait Mo için çizgi EDS analizi.....	89
Şekil 8.49.	G2 numune yüzeyinin SEM görüntüsü (x1000).....	90
Şekil 8.50.	a) G2 numunesine ait 1 nolu bölgeden EDS analizi.....	91
Şekil 8.50.	b) G2 numunesine ait 2 nolu bölgeden EDS analizi.....	91
Şekil 8.50.	c) G2 numunesine ait 3 nolu bölgeden EDS analizi.....	92
Şekil 8.50.	d) G2 numunesine ait 4 nolu bölgeden EDS analizi.....	92
Şekil 8.51.	G6 numune yüzeyi SEM görüntüsü (x1000).....	93
Şekil 8.52.	a) G6 numunesine ait 1 nolu bölgeden EDS analizi.....	94
Şekil 8.52.	b) G6 numunesine ait 2 nolu bölgeden EDS analizi.....	94
Şekil 8.52.	c) G6 numunesine ait 3 nolu bölgeden EDS analizi.....	95
Şekil 8.53.	G7 numune yüzey SEM görüntüsü (x1000).....	96
Şekil 8.54.	a) G7 numunesine ait 1 nolu bölgeden EDS analizi.....	96
Şekil 8.54.	b) G7 numunesine ait 2 nolu bölgeden EDS analizi.....	97
Şekil 8.55.	G8 numune yüzey SEM görüntüsü (x1000).....	98
Şekil 8.56.	a) G8 numunesine ait 1 nolu bölgeden EDS analizi.....	98
Şekil 8.56.	b) G8 numunesine ait 2 nolu bölgeden EDS analizi.....	99
Şekil 8.56.	c) G8 numunesine ait 3 nolu bölgeden EDS analizi.....	100
Şekil 8.57.	G17 numune yüzey SEM görüntüsü (x1000).....	100
Şekil 8.58.	a) G17 numunesine ait 1 nolu bölgeden EDS analizi.....	101
Şekil 8.58.	b) G17 numunesine ait 2 nolu bölgeden EDS analizi.....	101
Şekil 8.58.	c) G17 numunesine ait 3 nolu bölgeden EDS analizi.....	102
Şekil 8.59.	G18 numune yüzey SEM görüntüsü (x1000).....	102
Şekil 8.60.	a) G18 numunesine ait 1 nolu bölgeden EDS analizi.....	103
Şekil 8.60.	b) G18 numunesine ait 2 nolu bölgeden EDS analizi.....	103
Şekil 8.61.	F4 numunesinin x ışını difraksiyon paterni.....	105
Şekil 8.62.	F9 numunesinin x ışını difraksiyon paterni.....	105
Şekil 8.63.	F14 numunesinin x ışını difraksiyon paterni.....	106
Şekil 8.64.	F17 numunesinin x ışını difraksiyon paterni.....	106
Şekil 8.65.	F18 numunesinin x ışını difraksiyon paterni.....	107
Şekil 8.66.	F20 numunesinin x ışını difraksiyon paterni.....	107
Şekil 8.67.	G1 numunesinin x ışını difraksiyonu.....	108
Şekil 8.68.	G2 numunesinin x ışını difraksiyonu.....	109

Şekil 8.69.	G3 numunesinin x ışını difraksiyon.....	110
Şekil 8.70.	G12 numunesinin x ışını difraksiyonu	111
Şekil 8.71.	G13 numunesinin x ışını difraksiyonu.....	111
Şekil 8.72.	G15 numunesinin x ışını difraksiyonu	112

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Plazma gazlarının temel fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	11
Tablo 4.1. Farklı teknolojilerin karşılaştırılması.....	35
Tablo 7.1 Pulse plazma uygulama şartları.....	50
Tablo 7.2 Pulse plazma uygulama şartları.....	51

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Pulse Plazma, AISI 1090 çeliği, yüzey modifikasyonu

Bu çalışmada; pulse plazma teknolojisi ile AISI 1090 çeliklerinin yüzeyleri modifiye edilerek malzemelerin yüzey özellikleri geliştirilmiştir. Çelikler modifiye edildikten sonra sertlik değerlerindeki değişim, SEM, EDS ve XRD analizleri yapılmış yüzey özellikleri incelenmiştir.

Bu çalışmada; AISI 1090 çeliklerinin metalografik çalışmaları yapıldıktan sonra, numunelerin yüzeyleri farklı parametreler altında (nozül-numune mesafesi, kapasite, pulse miktarı) pulse plazma teknolojisi ile modifiye edilmiştir. Daha sonra bu malzemelerin her birinin kesitinden optik görüntüleri ve SEM görüntüleri alınmış ve yüzeyden iç kısma doğru alınan mikrosertlik ölçümleri ile sertlik profilleri çıkarılmıştır. Her bir numune için EDS ve XRD analizleri yapılmıştır. AISI 1090 çeliklerinin modifikasyon işleminden önce ve modifikasyon işleminden sonra yüzey özellikleri ve uygulanan farklı parametrelerin pulse plazma işlemi sonrasında modifiye edilen çelik yüzeyindeki etkileri incelenmiştir.

SURFACE MODIFICATION OF AISI 1090 STEELS BY PULSE PLASMA TECHNIQUE

SUMMARY

Keywords: Pulse Plasma, AISI 1090 Steel, Surface Modification

In this study, the surfaces of AISI 1090 steels were modified by pulse plasma technology. Having modified the steels, changes in their hardness and surface properties were investigated and also SEM, EDS and XRD analyses were performed.

In present work, specimens' metallographic studies were done and then their surfaces were modified under different parameters such as nozzle-specimen distance, capacity and amount of pulse by pulse plasma technique. After that, optical and SEM micrographs were taken from cross-sections of specimens, by measuring micro-hardness values in this direction, their hardness profiles were drawn. EDS and XRD analyses were repeated for each specimen. After and before the modification treatment of AISI 1090 steel surface properties and the effects of parameters on modified steel surface were investigated.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Malzemelerin yüzey özelliklerinin iyileştirilmesi veya çevresel etkilere karşı korumak amacıyla gerçekleştirilen işlemlere yüzey işlemleri denilmektedir. Yüzey işlem tekniklerinde amaç, korozyon direncini, yüksek sıcaklık, oksidasyon, yorulma, aşınma dayanımını arttırmaktır. Yüzey işlemleri iş parçasında bir veya birkaçını gerçekleştirmek için uygulanabilir.

Metaller üzerine uygulanan kaplamalar iki temel prensibine göre yapılmaktadır. Birincisi her hangi bir difüzyon bağı olmaksızın metal ile kaplama arasındaki mekanik yapışmayla bağlanması, ikincisi kaplama ile metal arasında difüzyon bağı oluşturarak bağlanmasıdır. Difüzyonlu kaplamalarda, metal ile kaplama arasındaki bağı özellikleri, malzeme bileşimleri ile doğrudan ilişkilidir.

Pulse plazma işlemi bir yüzey modifikasyonu olup çelik malzemelerin yüzeyinde değişim meydana getirmektedir. Yüksek karbonlu çeliklerin serlik değerlerini daha da arttırıp yüzey özelliklerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Mekanik olarak meydana gelen aşınma ekonomik zararların oluşumuna sebep olmaktadır. Pahalı ve özel malzemelerin büyük miktarda kaybına yol açmaktadır. Bu sebeple ağır çalışma koşulları altında çalışan malzemelerin çalışma yüzeylerinin yüksek yüzey özelliklerine sahip olması gerekmektedir.

Pulse plazma prosesine etki eden çok sayıda parametre vardır. Bu parametreler kullanılan elektrotlar, nozul – numune mesafesi, uygulanan pulse sayısı, kapasite değişimine bağlı elde edilen modifikasyon tabasının özellikleri değişmektedir.

Bu çalışmada farklı parametreler de uygulanan pulse plazma teknolojisi ile AISI 1090 çeliklerinin yüzey özelliklerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Pulse plazma ile yüzeyi modifiye edilmiş bu çeliklerin optik mikroskopta kesit görüntüleri alınmış,

tüm numunelerin XRD analizleri yapılmış, mikrosertlik değerleri alınarak numunelerin sertlik profilleri çıkarılmıştır. SEM ve EDS analizleri alınarak uygulanan farklı parametrelerin etkileri incelenmiştir.

BÖLÜM 2. YÜZEY İŞLEMLERİ

Bir iş parçasında kitlesel halde olmayan bir veya birkaç özelliği o iş parçasının yüzeyinde oluşturmak için yapılan işlemlerin tümüdür[1].

2.1 Yüzey İşlem Prosesleri

- Mekanik İşlemler (kum püskürtme, bilya ile dövme)
- Yüzey Dönüşümü (indüksiyon ile sertleştirme, lazer ile sertleştirme)
- Yüzey bileşimi değişimi (termokimyasal işlemler)
 - a-Karbürleme, karbonitrürleme
 - b-Nitrürleme, nitrokarbürleme
 - c-Borlama
- Kimyasal işlemler(dönüşüm kaplamaları: oksitleme, fosfatlama, kromatlama)
- Kaplama (boyama, püskürtme, buhar biriktirme, elektrolitik kaplamalar)
- Yüzey aktivasyonu (dağlama) [1]

Malzemelerin çevre ile etkileşimi doğrudan malzemenin yüzeyi ile gerçekleştiği için malzemenin yüzey özellikleri üzerine çalışmalar yoğunlaşmıştır. Bu çalışmaların başında malzemelerin yüzeyinde oluşturulan kaplamalar gelmektedir. Yüzey işlemlerini kaplama ve yüzey dönüşüm işlemleri olmak üzere ikiye ayırmak mümkündür. Kaplama, metal yüzeyine bir element veya bileşimini biriktirerek bir tabaka oluşturulması işlemlerini kapsamaktadır. Yüzey dönüşüm işlemlerinde ise, yüzey iç yapısı ve/veya bileşiminin değişmesi söz konusudur[1].

Aşınmaya neden olan mekanik sürtünme, korozyon ve erozyon mekanizma elemanlarını kullanılamaz hale getirerek, pahalı ve özel malzemelerin büyük miktarda kaybına yol açmaktadır[1].

Mekanik olarak meydana gelen aşınma ve bununla beraber korozyon kayıpları hem endüstriyel hem de ekonomik zararların oluşumuna sebep olmaktadır. Bu sebeple ağır şartlar altında çalışan malzemelerin çalışma yüzeylerin bu ağır şartlara karşı gerekli yüksek yüzey özelliklerine sahip olması gerekmektedir[1].

2.2 Yüzey İşlem Seçimini Etkileyen Faktörler

Uygulanacak yüzeyişleminin türü çeşitli faktörlerin etkisi altındadır.

A. Performans faktörleri;

- Aşınma direnci
- Sertlik ve mukavemet
- Korozyon direnci
- Darbe direnci
- Gerekli kaplama kalınlığı

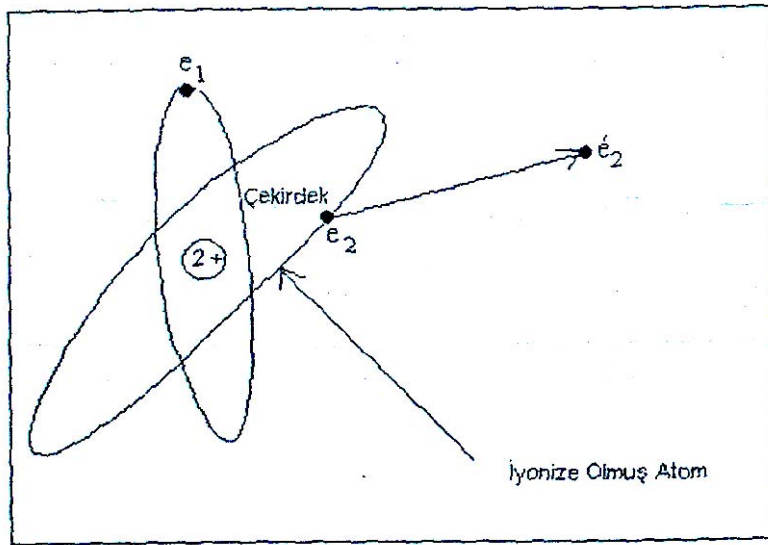
B. İşlem faktörleri;

- Malzeme cinsi
- Biriktirme hızı
- Altlık sıcaklığı
- Parça şekli ve boyutu
- Fiyatı
- Parçanın yorulma özelliği [1]

BÖLÜM 3. PLAZMA NEDİR

3.1 Plazma Tanımı Ve Oluşumu

Plazma, eşit sayıda serbest elektron ve pozitif iyon bulunduran, maddenin 4.hali olarak nitelendirilen yoğunlaştırılmış bir gazdır. Normal gazlar ayrı moleküllerden oluşurken plazma bu kanunların dışında bir davranış sergilemektedir. Yani plazma, içerisinde pozitif iyon, uyarılmış nötral atom, molekül, serbest elektron, foton bulunmaktadır. Plazma gaz durumundan daha yüksek enerji düzeyine yükseltilmiş malzemenin buharıdır [2,3] .



Sekil 3.1 Nötr bir atomun şematik gösterimi [4]

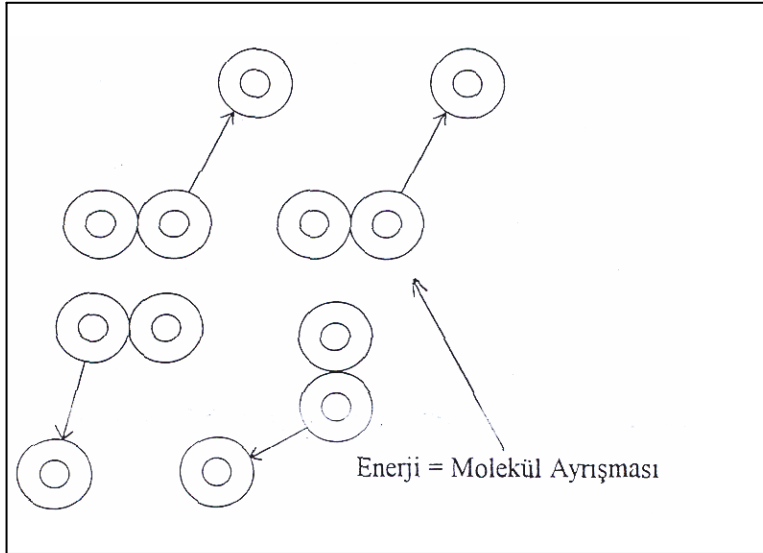
Plazma durumunu daha iyi kavramak için gazları meydana getiren atom ve moleküllerin durumu incelenmeli. Şekil 3.1' de nötr bir atomun şematik gösterimi verilmektedir. Şekilde bu atomda iki pozitif elektrik yüklü iki elektronla nötr (pozitif ve negatif elektrik yükleri eşit olduğundan) haldedir. Bu durumda ki atoma yeterli

miktarda enerji uygulandığında elektron yörüngesinin dışına atılır. Bu işlem için gerekli enerjiye de o atomun iyonizasyon enerjisi denilmektedir [5].

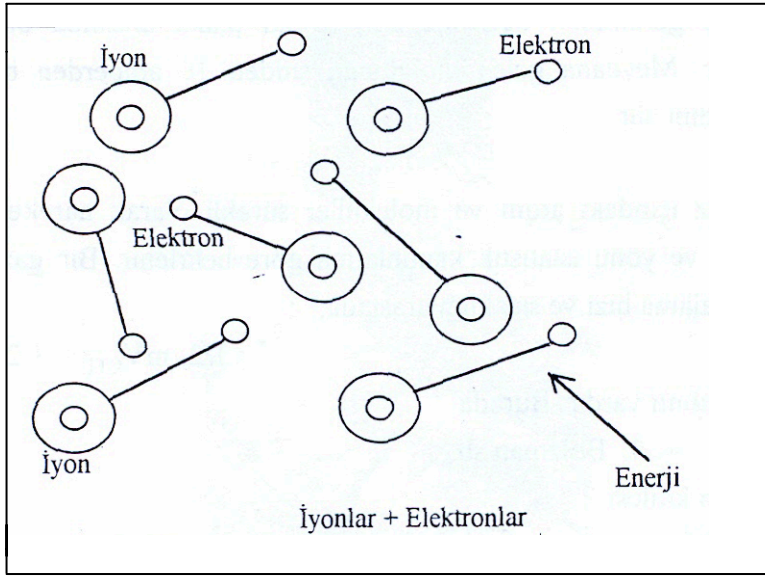


Şekil 3.2 Değişik partiküllerin şematik gösterimi [5]

İki veya daha fazla atomun birleşmesi molekül olarak adlandırılır, tek bir parça olarak kabul edilir. Şekil 3.2’de iki atomun bir araya gelerek molekül oluşumu gösterilmiştir. Bu durum diatomik olarak adlandırılan azot veya hidrojen gibi gazlardaki durumu ifade etmektedir. Şekil 3.3’de ise azot moleküllerinin ayrışması görülmektedir. Yeterli enerji uygulandığında molekül bağları parçalanır ve atomlar ayrılarak birbirinden uzaklaşırlar (Şekil 3.4) [5].



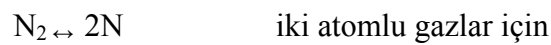
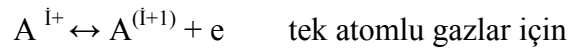
Şekil3.3.Azot moleküllerinin ayrışması [5]



Şekil3.4 İyonlaşma ve plazma gazının oluşumu [5]

Atomların iyonlaşmasının sonucu ortaya çıkan bu gaza plazma adı verilmektedir. İyonların (+) yüklü, elektronların ise (-) yüklü olduğu unutulmamalı. İyonlaşma sonucu elde edilen plazma gazı elektrik yüklü partikülleri içermektedir ve elektriksel olarak nötrdür. Çünkü plazma içindeki artı ve eksi yüklerin sayısı birbirine eşittir [5].

Bu denge eşitlik 3.1'de verilen denkleme uymaktadır. İstatiksel termodinamik ve reaksiyon eşitliği ifadelerinden hareketle iyonizasyon derecesini ifade eden denklem;



$$\frac{X}{1-X^2} P = 2,4 \cdot 10^{-4} \cdot a^2 T^{\frac{5}{2}} \cdot e^{-\frac{e\phi}{kT}} \quad (3.1)$$

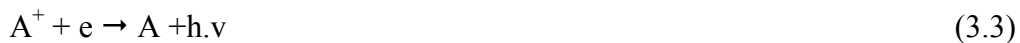
Şeklinde yazılabilir. Burada; X iyonizasyon derecesini, P kısmi gaz basıncını (Pa), T sıcaklığı (K), ϕ iyonizasyon potansiyeli (V), $e=2.71828$, $k=1.38054 \cdot 10^{-23}$ (J.K⁻¹), a^2 sabit olarak ifade edilmektedir. Bu denklemden plazmanın kompozisyonu ve

iyonizasyon derecesi sıcaklığın bir fonksiyonu olduğu görülmekte ve bu nedenle plazmanın yoğunluğu ve entalpisi hesaplanabilmektedir [4-6]

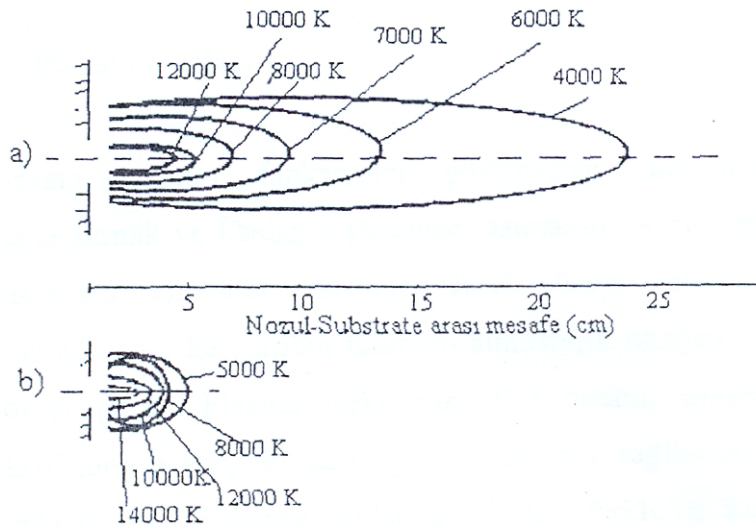
Plazma oluşumunda dissosasyon ve iyonizasyondan başka bir rekombinasyon yani yeniden birleşme prosesi mevcuttur. Normalde bir gaz iyonize olurken bir çok elektrik yüklü partikül ise nötrleşir. Bu durumda farklı elektrik yüklü iki partikül birleşerek yeni bir partikül oluşturur. Yoğun bir plazmada mevcut olan elektronların ve iyonların sayılarındaki azalmanın temel nedeni olan yeniden birleşme olayına pozitif veya negatif iyonlar veya pozitif iyonlar ile elektronlar arasındaki çarpışmaların neden olduğu belirtilmektedir. Yeniden birleşmenin hızı elektronlar ve iyonlar arasındaki etkileşimin miktarı ile orantılıdır. Etkileşimin miktarı elektronların konsantrasyonu n_e ve iyonların konsantrasyonu n_i ile orantılıdır. dt zamanında yeniden birleşme nedeniyle yüklü partiküllerin kaybı denklem 3.2’de verilmektedir [23].

$$dn = -n_e n_i dt \quad (3.2)$$

yeniden birleşme katsayısı, yüklü partiküllerin yeniden birleşme prosesini karakterize eden parametredir. Bu değerler partiküllerin sıcaklığına bağlıdır. Bir iyon elektrona yaklaştığında radyasyon emisyonu ile yeniden birleşme meydana gelir. Böylece nötr atom meydana gelerek, enerji açığa çıkar.



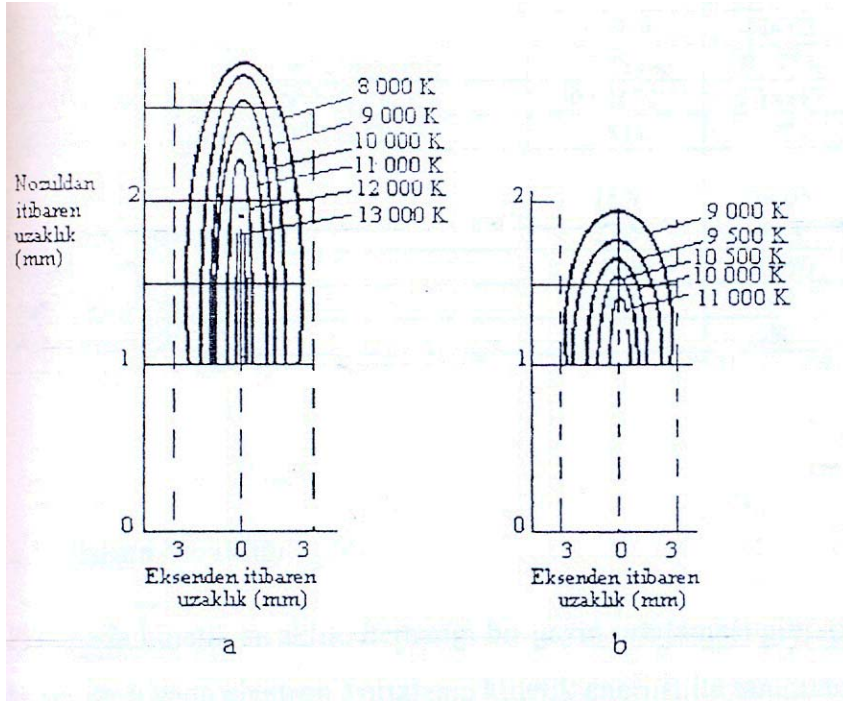
Plazma ışını sıcaklığa, plazma torkunun çalışma parametrelerine ve plazma gazının incisiyle etkilenebilen iyonizasyon derecesine bağlı olmaktadır. Plazma ışınındaki tipik sıcaklık dağılımı Şekil 3.6’ da gösterilmektedir. Şekil 3.5 ve Şekil 3.6’ya göre sıcaklık dağılımı 10000 °C’nin üzerindeki plazma sıcaklıkları sadece nozul merkezinde ve nozulun önünde 20mm uzaklığa kadar çıkmaktadır[23].



Şekil 3.5 Plazma ışınındaki sıcaklık dağılımı

a)Laminer akış b)Türbilanslı akış [2]

Plazma ışını hızı direk olarak gaz akış hızı ve indirek olarak da nozul çapının karesi ile orantılıdır. Plazma ışını hızı, taşıyıcı gazın akış hızının artmasıyla önemli derecede etkilenir ve böylece plazma sıcaklığı ve hızı azalır. Modern plazma torkunun daha yüksek hızlara çıkartılması amaçlanmaktadır. Plazma ışının yüksek sıcaklıklarla birlikte oldukça yüksek hızla beslenen tozları eritmek ve püskürtmek için uygulanmaktadır. Sonuçta ergimiş partiküller altlığa çarptırılarak kaplama oluşturulmaktadır [1].



Şekil 3.6 a) Argon b) Azot plazmasındaki sıcaklık dağılımı [2]

3.2 Plazma Gazları

Plazma gazının fonksiyonu püskürtülen malzemeyi ısıtmak, parçacıkları hızlandırmak ve kaplama yüzeyine taşımaktır. Ayrıca parçacıkların etrafını sararak atmosferin kimyasal etkisinden sıcak yüzeyi koruma görevi de vardır. % 5- 25 oranında azot karıştırılan hidrojen atmosferik oksijen ile yanarak iyi bir koruyucu görevi görür. Plazma torkundaki gaz ortamı; plazma oluşumunu, elektrotları oksitlenmeye karşı korumayı ve soğumasını sağlamaktadır. Plazma püskürtme ile kaplama teknolojisinde kullanılan gazlar, farklı ısı kapasiteleri, farklı iyonlaşma özelliği ve dissosiyon davranışı gösterdiklerinden dolayı önemlidir. Kullanılan gazlar azot, argon, hidrojen, helyum olup, plazma gazları tek tek kullanılabilirler gibi çoğunlukla belli oranlarda karışımlar halinde kullanılırlar. Burada amaç; plazma alevinin entapisini ve hızını arttırmaktır. Sıklıkla kullanılan gaz karışımları $Ar+H_2$ ve $Ar + N_2$ dir. Tablo 3.1' de plazma gazlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri verilmiştir[2].

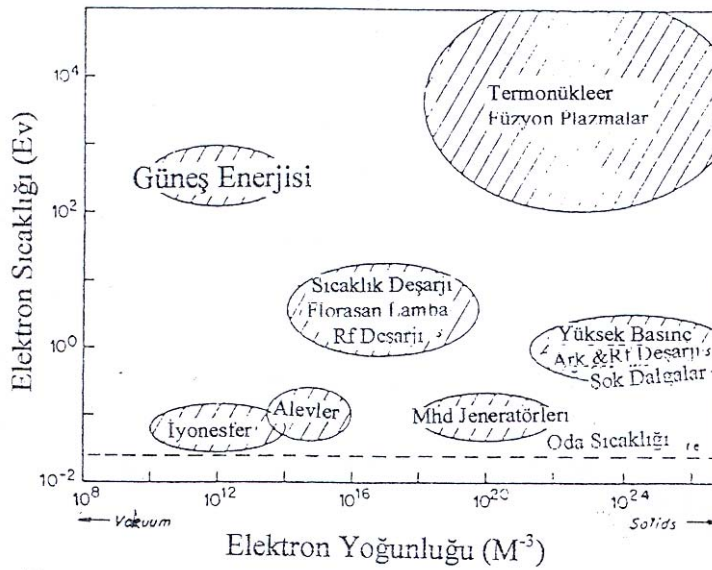
Tablo 3.1 Plazma gazlarının temel fiziksel ve kimyasal özellikleri [2]

Özellikler	Plazma Gazları			
	Argon	Helium	Azot	Hidrojen
Relatif Mol Ağırlığı	39.944	4.0002	28.016	2.0156
Spesifik Ağırlık, 0°C, 100 Pa (kg/cm ³)	1.783	0.1785	1.2505	0.0898
Isıl İletkenlik Katsayısı, 0°C (W/m.K)	0.01633	0.14363	0.0238	0.1754
Spesifik Isı Kapasitesi, 20°C (kJ/kg.K)	0.511	5.233	1.046	14.268
İyonizasyon Potansiyeli (V)				
İlk Kademe	15.7	24.05	14.5	13.5
Son Kademe	27.5	54.1	29.4	-
Sıcaklık (°K)	14000	20000	7300	5100
Ark Voltajı (V)	40	47	60	62
Ark Girişi (kW)	-	50	65	120

3.3 Farklı Plazma Türleri

Bazen plazma doğal ve insan yapımı olmak üzere sınıflandırılmaktadır. Doğal plazma bugün evrende bilinenlerinin %99'dan çok daha fazlasından oluşmaktadır. İlk bilinenlerden ikisi ışık plazma ve aurora borealis'dir. Bu iki plazma sırasıyla oldukça yüksek ve son derece düşük basınçta meydana gelir ve görüntülerinde önemli farklılıklara yol açar[23].

Şekil 3.7'de doğal ve insan yapımı plazmalar için sınıflandırmalar gösterilmektedir. İyonosferde benzer yoğunluktaki plazmanın sıcaklığı 10^3 K yada düşük iken son derece zayıf plazmada sıcaklık 10^6 K' ni aşar[23].



Şekil 3.7 Plazmanın sınıflandırılması[7]

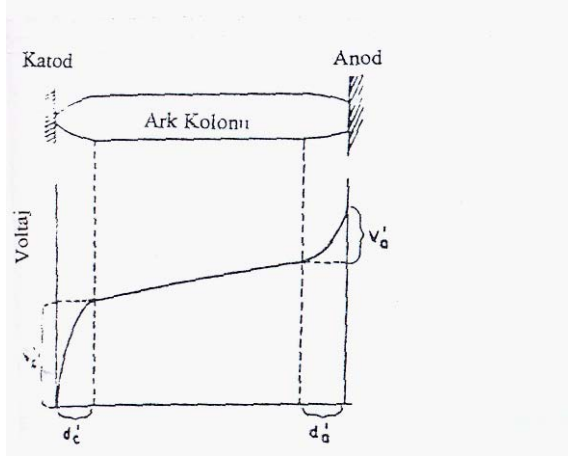
3.4 Termal Plazmanın Ortaya Çıkışı

Plazma gaz boyunca geçen elektrik akımı ile meydana gelir. Çünkü oda sıcaklığındaki gazlar mükemmel yalıtıcıdır, yeterli sarj taşınması gaz elektrik iletimi esnasında meydana gelir. Bu proses elektrik arızası olarak bilinir, bu arızayı çözmek için pek çok yol vardır. İletken olmayan gazların arızası her iki elektrot arasında iletim kurtar. İyonize gazlar boyunca elektrik akımının geçişi gazların deşarjı olarak bilinen olayın düzenlenmesine yol açar. Çeşitli gazların deşarjı en yaygındır, fakat plazma üretmek için tek yol değildir. Çeşitli plazma uygulamaları RF deşarjı, mikrodalga, şok dalga, lazer veya yüksek enerjili ışık taneleriyle üretilmektedir. Son olarak plazma ayrıca yüksek sıcaklık sınırından dolayı bu metot düşük iyonizasyon potansiyeli ile metal buharları için sınırlandırılmıştır[23].

Bazı plazma türleri ise şöyle sıralanır;

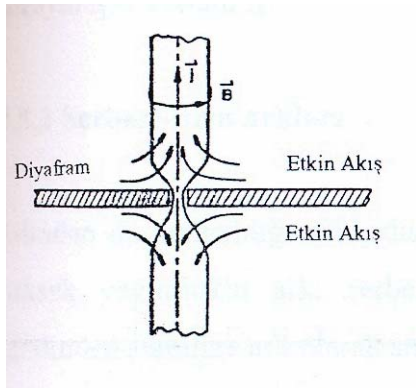
3.4.1 Yüksek Yoğunluklu Arklar

Düşük yoğunluklu arklar kadar yüksek potansiyel dağılımı olağan dışı davranış gösterir. Şekil 3.8' da gösterildiği gibi, aşırı potansiyel elektrotlara düşer ve ark kolonunda arkı üç parçaya böler; katot bölge, anot bölge, ark kolonu.

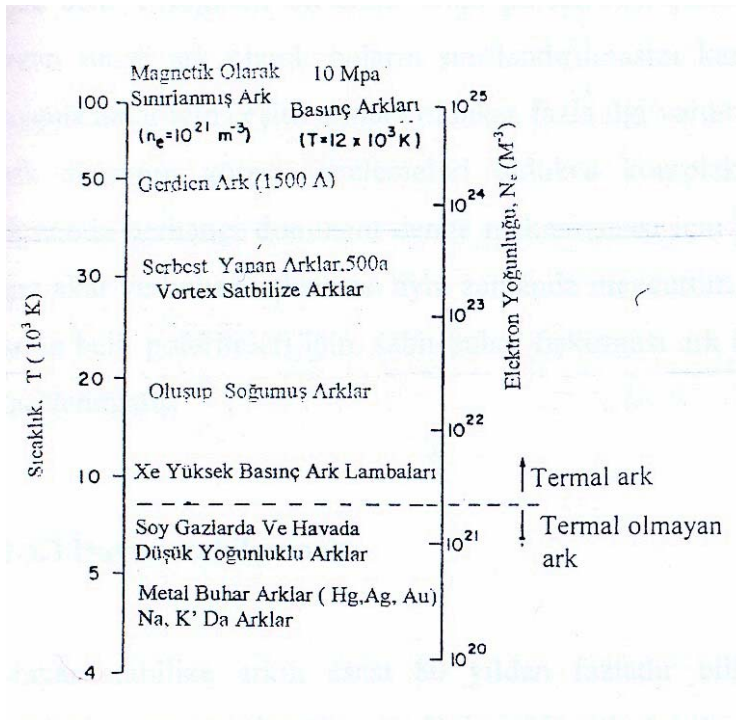


Şekil 3.8 Ark Boyunca Tipik Potansiyel Dağılımı[7]

Yüksek yoğunluklu ark, akım seviyesi $I > 50A$ ve basınç $P > 10kPa$ ' da ortaya çıkan deşarj olarak tanımlanmaktadır. Düşük yoğunluklu arklar, yüksek yoğunluklu arkların tam tersine, arkın kendisinin etkilediği güçlü makroskobik akışlar ile karakterize edilebilir. Arkın kesiti boyunca taşınan akımın değişimi, akımın etkileşimi Şekil 3.9' de gösterilmektedir. Yeterince yüksek akım ve axial akım yoğunluğu değişimleri, 100 m/s düzeninde hız akışını üretir[23].



Şekil 3.9 Ark etkili pump hareketinin şematik görünümü[7]



Şekil 3.10 Ark sıcaklığı ve elektron yoğunluğu incelemesi[7]

Sıcaklık ve şarj olmuş partikül yoğunluğu ark plazmanın en önemli özelliğidir, geniş ölçüde değişebilir. Bu özellikler ark geometrisi, ark parametresi ile belirlenir. Şekil 3.10 farklı tipteki arkların elektron yoğunluğu ve sıcaklığı gösterilmektedir.

Ark uygulamaları için, denge metotları ile ark sütununu sınıflandırmak yararlıdır. Ark sütunlarının denge metodu arasında direk bağlantı vardır ve ark cihazlarının dizaynı için kullanılır[23].

3.4.2 Serbest –Fırın Arkları

Adından da anlaşılacağı gibi, dış dengesiz mekanizma arka yüklenir. Buna rağmen yüksek yoğunluklu ark, serbest fırın ark türünde çalışabilir. Onlar genellikle kendinden stabilize ark olarak sınıflandırılmaktadır.

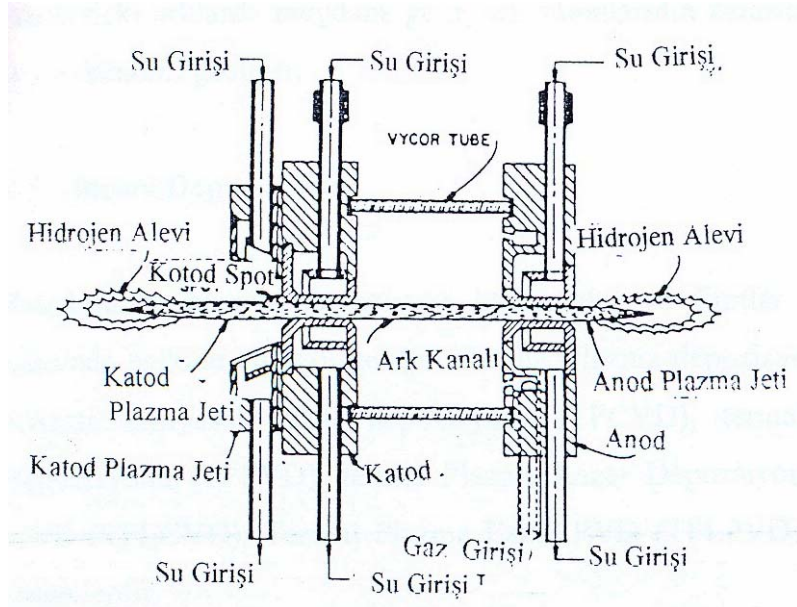
Son derece yüksek akımlarda çalışan arklar ultra yüksek akım olarak bilinir ve pek çok deneye rağmen bu akım oranı pulsed-deşarjında kullanılır. Deşarjın oldukça uzun süresi ark olarak onların sınıflandırılmasını kanıtlar. Pek çok alanda çeşitli uygulamalar için çeşitli arklara oldukça fazla ilgi vardır. Ark fırınlarında ultra yüksek

3.4.4 Konveksiyon–Stabilize Ark

Konveksiyonel akışın eklenmesi ile stabilize arkın çeşitli mümkün yolları arasında, vorteks stabilizasyon bilhassa önemli rol oynar.

Vorteks stabilize ark prensipleri geçen yüzyılın başlarında rapor edilmiştir. Vorteks durumunda, ark gaz yada sıvının yoğun vorteksin korunduğu tüpün merkezinde hapsedilmiştir. Ark odasının duvarına doğru soğuk sıvıyı ilerleten santrüfüjal güçler böylece termal olarak iyi korunacaktır. Vorteks akıntısının bileşenlerine ilaveten, sürekli soğuk akış gereçleri axial parçalara ayrıca ilaveler vardır.

Çeşitli gazlar ve gaz karışımları vorteks stabilize arkların gerçek uygulamalarında çalışma sıvısı olarak kullanılmaktadır. Şekil 3.12 tamamen iyonize olmuş atmosferik basınç hidrojen plazmanın ortaya çıkması için gaz vorteks-stabilize ark düzeni gelişmiş olduğunu göstermektedir. Bu düzendeki her iki elektrot su ile soğutulur. Vorteks ark odasının merkezindeki arkı hapsedmiş bu yolda ortaya çıkar, ark yarıçapı yaklaşık olarak 2-3 mm azalır. Ark etrafında, arktan soğuk gaz örtüye konveksiyon ısı transferi "duvar stabilize ark" ta olduğu gibi iletmesi esas olarak aynı rol oynar [23].



Şekil 3.12 gaz-vorteks stabilize ark sistematik görünümü[7]

3.4.5 Magnetik Stabilize Ark

Ark elektrik iletken ortam olduğu için, magnetik alanın yalnızca kendisi ile birbirini etkilemeyecektir ayrıca, dışarıdan uygulanmış magnetik alanı da etkilemeyecektir. Bu birbirini etkileme birçok ark uygulaması için potansiyelinden dolayı geçmiş 20 yıldan daha fazla oranda ilgi çekmektedir. Stabilize arklar yada magnetik etkili arklar ark fırınlarda, malzeme prosesleri için ark gaz ısıtıcılarının geliştirilmesinde yoğun şekilde kullanılmaktadır. Daha önce yapılan çalışmalar neticesinde elde edilen verilere göre, magnetik alanla arkların etkileşimi aşağıdaki kategorilere ayrılabilir;

- Arkların magnetik stabilizasyonu karşılıklı akışta
- Magnetik sapmış arklar
- Magnetik ilerleyen arklar

3.4.6 Kendinden Stabilize Arklar

Düşük yoğunluktan yüksek yoğunluklu arka geçiş atmosferik basınçta 50A üzerindeki arklarda meydana gelir, ark sütunlarının kararlılığında ki hızlı değişimde kendi kendini gösterir.

3.5 Plazma Depozisyonu

Günümüzde plazma depozisyon kaplamalar ve filmler termal plazma teknolojisi alanında beklide en hızlı gelişen alandır. Plazma depozisyonu; plazma sprey, termal plazma kimyasal buhar depozisyonu (TPCVD), termal plazma fiziksel buhar depozisyonu (TPPVD), termal plazma lazer depozisyonu, termal plazma lazer CVD (TPLCVD), termal plazma lazer PVD (TPLPVD) bu konuda verilebilecek örneklerdir.

3.5.1 Plazma Sprey

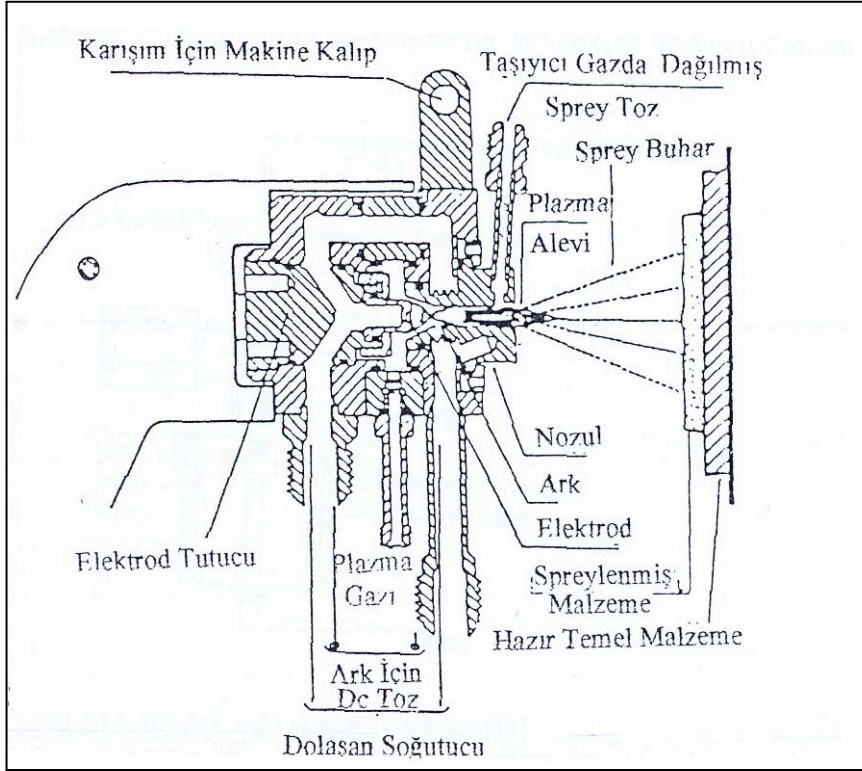
Şekil 3.13'de DC plazma torkunda kullanılan atmosferik basınç plazma sprey düzeneği sistematik olarak gösterilmektedir. Yüksek yoğunluklu ark sopa şeklindeki

katot ve su soğutmalı anot şeklindeki nozul arasında oluşmaktadır. Katot boyunca ortaya çıkan plazma gazı plazma sıcaklığı arkı ile ısıtılır ve anot nozul plazma jet veya plazma ateşi olarak ayrılır. Taşıyıcı gazda asılan ince tozlar toz tanelerin hızlandırıldığı ve ısıtıldığı plazma jete doğru enjekte edilir. Ergimiş toz parçaları altlıkta yüksek hızla etkili olur, daha fazla veya daha az yoğun kaplamaları oluştururlar.

DC torqları ile birlikte RF plazma torqları bu sprej prosesler için ayrıca kullanılabilir. İlaveten azalmış basınçta plazma sprej 10 yıldan daha fazla süredir özellikle uçak motorlarının parçalarını kaplanmasında gözle görülür oranda dikkat çekmektedir.

Günümüzde, plazma uygulamaları korozyon, sıcaklık, aşınma- dayanımlı kaplamalar ve monoklinik üretim ve yakın net Şekiller ayrıca hızlı katılaşma proseslerinin avantajlarını almayı içerir. Camsı metallerin tozları amorf karakterlerini değiştirmeksizin plazma sprejlenir. Son zamanlarda, yüksek sıcaklıklı süper iletken malzemeler plazma sprej prosesler ile depoze edilmektedir.

Plazma sprej; korozyon (porpazite yok ise), sıcaklık, aşınmaya dayanıklı kaplamalar üretmek için kullanılmaktadır. Çok ince tane boyutunda, camsı metal tozları, amorf karakter değiştirilmeden çeşitli alanlarda uygulanabilmektedir. Yüksek sıcaklık süperiletken malzemeleri de bu teknik ile üretilebilmektedir.

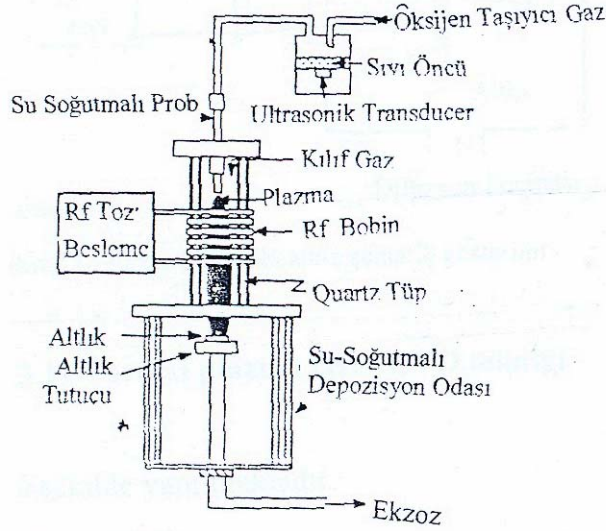


Şekil 3.13 Atmosferik- basınçta plazma sprej düzeneği[7]

3.5.2 Termal Plazma Kimyasal Buhar Depozisyonu (TPCVD)

TPCVD proseslerinde termal plazmanın yüksek enerji yoğunluğu ince filmlerin depozisyonu için yüksek yoğunluklu buhar fazını oluşturmak için kullanılır. Soğuk altlık plazma ile özel bağlantı gösterir. Bu yöntemle, farklı tanelerdeki kristal oryantasyonda yüksek uniforma sahip ve yüksek yoğunluklu, yüksek kaliteli filmler elde edilebilir. Geleneksel CVD yada plazma ile arttırılmış CVD depozisyon teknikleri ile karşılaştırıldığında, önemli derecede yüksek depozisyon hızına sahip yüksek yoğunluklu TPCVD önerilmektedir. İlaveten, TPCVD karbon veya karbür gibi sıvı faz olmaksızın malzemelerin depozisyonuna imkan tanır ve kimyasal bileşimin depozisyonunda film stokiometresinde ayarlanır. Prensipite, normal plazma sprej ekipmanları TPCVD için kullanılabilir, tepkimeye girenlerin sıvı yada buhar fazın enjeksiyonu katı partiküllere tercih edilir. Partiküllerin enjeksiyonu için partikülün tamamen buharlaşmasına imkan tanıyan sıcak plazma bölgesinde yeterince uzun ön durma süresi gerekir.

Şekil 3.14 RF plazma üretiminde kullanılan süperiletken filmlerin TPCVD için sistematik düzeneği göstermektedir. Bu sistem üç kısımdan oluşmaktadır.



Şekil 3.14 RF düzeneği şematik görünümü[7]

Sistem temel olarak üç kısımdan meydana gelir,

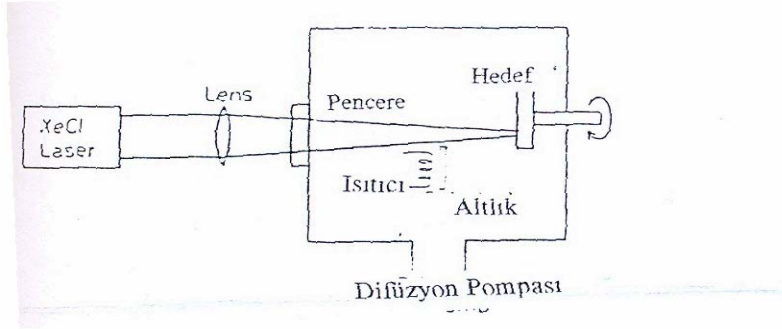
- _ Bir termal RF plazma reaktörü
- _ Su soğutmalı paslanmaz çelik besleme ünitesi ve ultrasonik ayrıştırıcı içeren sıvı reaktif atomize ve besleme sistemi
- _ Depozisyon odasında helyum soğutmalı paslanmaz çelik numune tutucu

TPCVD yöntemi ile karbürler, nitrürler, boridler ve elmas kaplamalar yapılabilmektedir.

3.5.3 Termal Plazma Fiziksel Buhar Depozisyonu

Bu tür plazma prosesinde, ısı kaynağı buharlaşan malzemeleri soğuk altlıkta depoze eder. Taşıyıcı gazlar ve uygulanan yüksek ark ile kaplanacak malzeme buharlaştırılır. Plazma aynı zamanda kaplanacak malzemelerin buharlaşmasındaki ısı kaynağıdır. Metalik buhar elektrotlar arasındaki ark dolayısıyla oluşur. Ark elektrotlar arasında akarak metal buharları altlık yüzeyinde yoğunlaştırılır.

Taşıyıcı gaz olarak Ar, He, N₂ gibi gazlar kullanılır. Taşıyıcı gaz aynı zamanda reaktifte olabilir.



Şekil 3.15 Lazer PVD cihazının şematik gösterimi

3.5.4 Termal Plazma Lazer CVD Tekniği

İki Şekilde yapılmaktadır.

A. Lazer piroliz; arlık lazerle ısıtılır. Oluşan sıcak yüzeyde kimyasal reaktifler ayrışır ve kaplama olur.

B. Lazer fotoliz; fotonlar kimyasal reaktiflerin ayrışmasını sağlar, ayrışan arlığın hemen üzerinde meydana gelir. Fotolizde yüzeyin biraz daha üzerinde yapılır kaplama ve sonra arlığın üzerine oturtulur.

Lazer CVD prosesinin avantajları;

1. Temiz enerjiden dolayı temiz (saf) kaplama
2. 0.25 µm kalınlıktaki kaplamalarda bile homojen depozisyon
3. Yüksek depozisyon hızı
4. Düşük arlık sıcaklığı
5. Seçilmiş alanlara depozisyon
6. Daha düzgün kaplamalar
7. İnce mikroyapı
8. Farklı reaktif (başlangıç) maddeler kullanılabilir
9. Arlığa daha düşük hasar

Yalnız bu yöntemle ilk yatırım malzemeleri diğer plazma metoduna göre çok daha yüksektir.

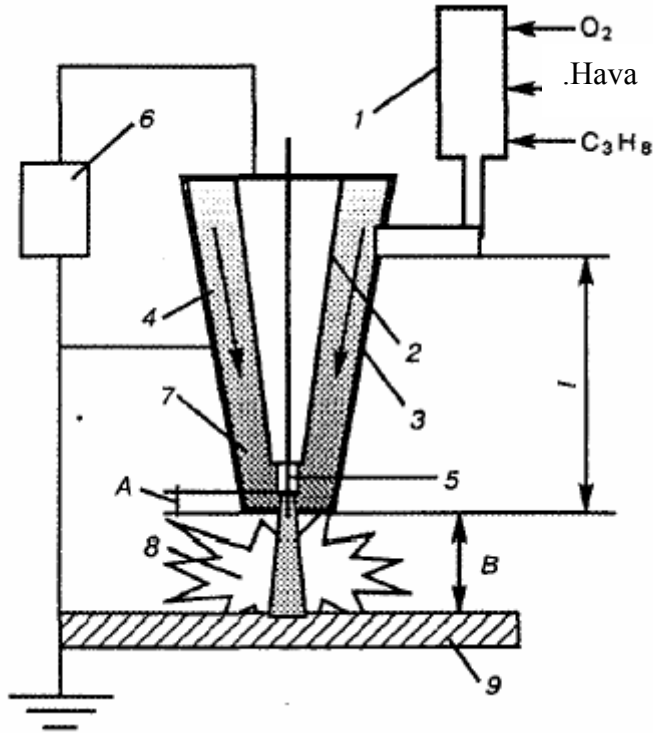
BÖLÜM 4. PULSE PLAZMA TEKNOLOJİSİ

4.1. Giriş

Tribolojik uygulamalarda yüzey mühendislik uygulamaları çok önemlidir. Bunun en önemli sebebi; aşınma direncini arttırmak ve yüzey özelliklerini geliştirmektir. Lazer, elektron, plazma gibi enerji kaynakları parçaların sertleşmesinde geniş miktarda kullanılmaktadır. Bu sertleştirme işlemleri yüksek sertlik, aşınma dayanımı, yorulma dayanımı, korozyon dayanımı gibi eşsiz mekaniksel ve fiziksel özellikleri sağlar [9].

4.2 Pulse Plazma

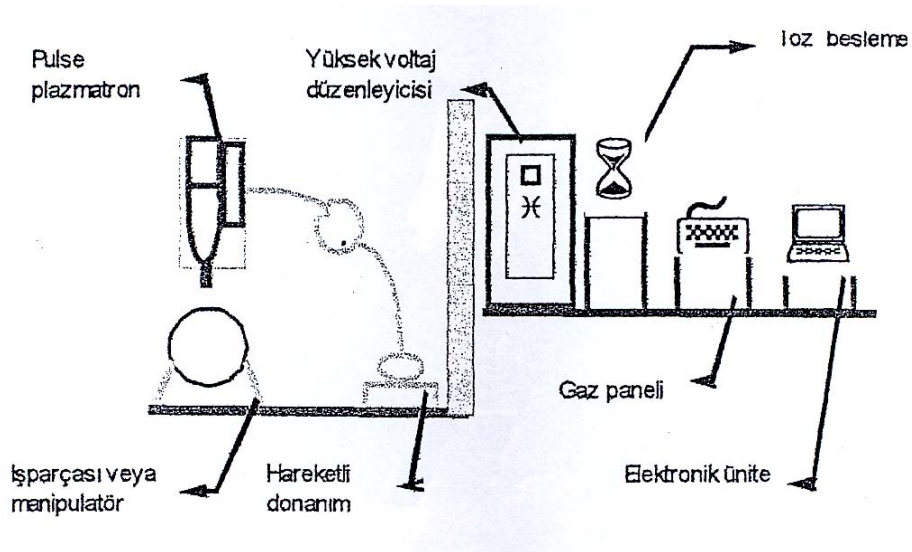
Bu teknoloji ve ekipmanları parçaların yüzey modifikasyonu için geliştirilmiştir. Esas olarak yoğun enerji pulse kullanımı malzemenin işlem yüzeyinde morfolojinin değişimine yol açarak modifikasyona sebep olmaktadır [10]. Bu teknoloji ve ekipmanları makine, metalurji ve üretim endüstrisindeki testlerden başarıyla geçmiştir. Şekil 4.1 Pulse-plazma cihazı şematik olarak gösterilmektedir [11].



Şekil 4.1 PulsePlazma cihazının Şematik Görünüm

1-Gaz girişi 2-Merkez electrod (anod) 3-Yan Konik Elektrotlar (Katot) 4-Anot-katot arası boşluk 5-Anot ucu (Harcanma burada gerçekleşiyor) 6-Güç ünitesi 7-Elektrotlar arası boşluk 8-Plazma alevi 9-Hareketli altlık

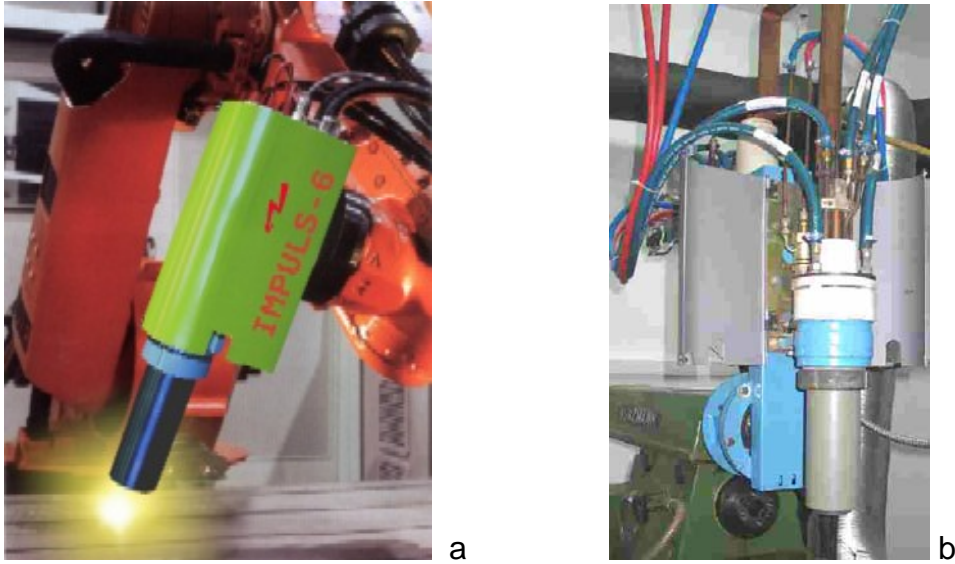
Pulse-plazma sisteminin düzenek görüntüsünün açık şekli Şekil 4.2.'de verilmektedir.



Şekil 4.2. Pulse-Plazma Ekipman Düzenegi

Pulse-plazma teknolojisinin temelini yüksek hızlı plazma jetleri ile çok hızlı bir biçimde yoğun toz malzeme besleme teşkil eder. Standart manipulatör kullanımı vardır. Ayrıca toz besleme, soğutma ünitesi, elektrik akım konvertörü, proses kontrol panelleri, gaz kontrol panelleri, otomasyon araçları bu prosesin makine ekipmanlarını oluşturmaktadır.

Pulse plazma sisteminde kullanılan plazmatron görüntüsü Şekil 4.3 a ve b'de verilmektedir.



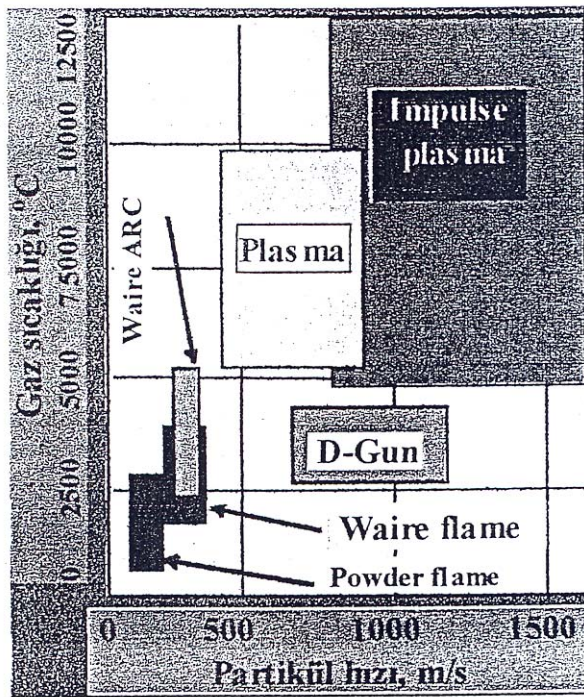
Şekil 4.3. a) İşlem Esnasında Plazmatron Görüntüsü[12]

b) Plazmatron Görüntüsü

Pulse-plazma teknolojisi ve ekipmanları tarafından meydana getirilen sert alaşım ve metal oksitlerden üretilmiş kaplamalar, en önemli uygulama örnekleridir. Pulse plazma teknolojisi ile oksit ve karbürlerin yapılan yüksek performanslı kaplamaların deposizyonu araç ve makine parçalarının yüzeylerinin sertleşmesine imkan tanır[10]. Özellikle bu kaplamalar çeliklerin korozyon dayanımları son derece iyi bir biçimde geliştirmektedir. Korozyon dayanımlarını geliştiren pulse-plazma birçok araştırmacı tarafından endüstriyel problemlerin çözümünde kullanılmıştır [13]. Bu gelişmeler, metalurjideki endüstriyel açıdan bir çok sorun teşkil eden problem için umut verici olmuştur. Bu teknoloji bilinen diğer teknolojilerle karşılaştırıldığında, makine ve parçalarının yüzeylerinin hazırlanmasına gerek olmaması, yüksek verimlilik

sağlaması, randımanlı proses evresi ile büyük avantaj sağlamaktadır. Ayrıca uygulanma koşulları kıyaslandığında pulse plazma şartlarının üstünlüğü dikkat çekicidir[11].

Pulse plazma teknolojisi verimli fiyat politikasına sahip ayrıca geniş skalalı malzemelerin yüzey modifikasyonunda kullanılmaktadır. Bu teknoloji yüzeyde üniform bir tabaka oluşumuna sebep olmaktadır [14].



Şekil 4.4 Farklı Yöntemlerin Kıyaslama Diyagramı

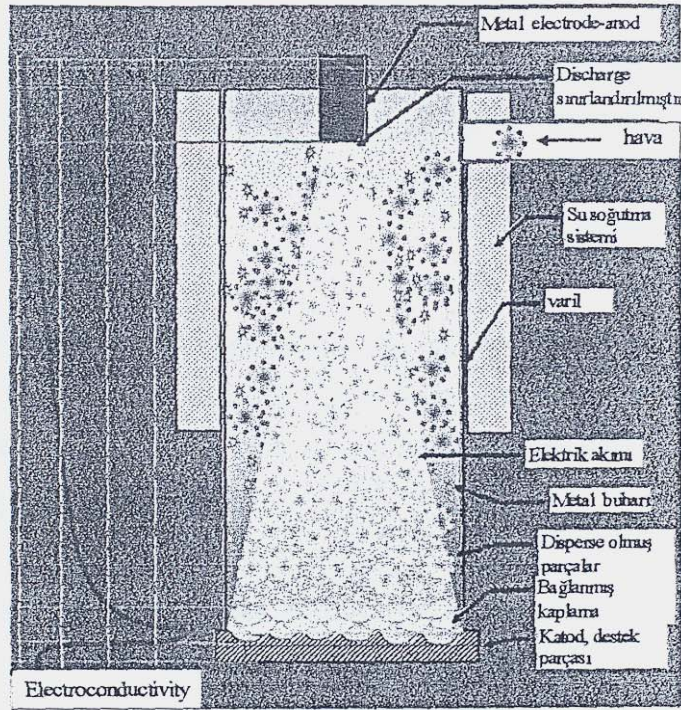
4.3 Pulse-Plazma Teknolojisi Çalışmanın Prensipleri

Lazer, elektron demeti, plazma gibi yüzey işlemleri, sıklıkla araç gereçlerin sertleştirilmesi için inşa edilmiş makinelerde kullanılmaktadır. Bu, parçaların yüzeylerinin aynı mekanik ve fiziksel özellikler kazanmasına neden olmaktadır (yüksek sertlik, aşınma dayanımı, yorulma dayanımı, korozyon direnci v.s. gibi).

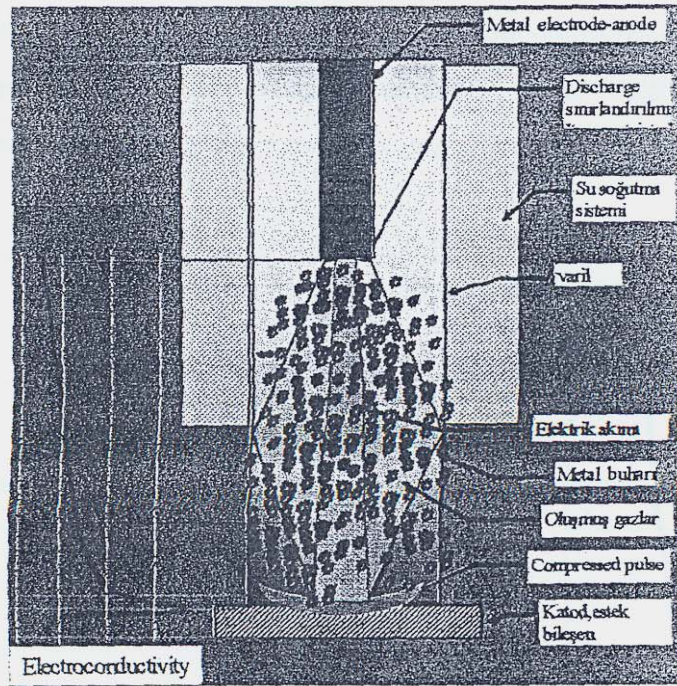
Bu tür yüzey işlemleri metalin yüzey tabakasının hızlı ısıtılmasına (ısıtma süresi $1 \times 10^{-3} - 1 \times 10^{-6}$ s), peşinden de ısının hem yapıda hem de çevreden atılması için

yoğun soğutulmasını gerektirir. Bu yüksek oranlardaki ısıtma ve soğutmalar metalin yüzey katmanlarında çözünmüş bir kristal yapıya, yüksek dislokasyon yoğunluğuna, karbon ve azot içeriklerinde dalgalanmalara sebebiyet vermektedir [10,25].

Bu yüzey modifikasyonun da uygulanan termal etki alaşımlama prosesleriyle birleştirilir. Parçaların yüzeyleri, önceden ısıtılan kaplamaların ergimesiyle alaşımlandırılır veya çalışan ortama (plazma içine) gaz halindeki azot, hidrokarbon gazları, siyanidler gibi alaşım elementleri katılarak alaşımlandırılır. Araştırmalarında gösterdiği gibi iş parçasının yüzeyine pulse hareketi uygulamak çok verimli olmaktadır. Bu arttırılan ısıtma ve soğutma hızlarıyla, yüzeylerin deformasyonu ile dislokasyon yoğunluğu arttırılarak, yüzeyde kimyasal kompozisyon değişimi sağlanır ve bundan dolayı difüzyon mekanizmaları işin içine girer [25]. Pulse plazma sisteminin de kaplama oluşum mekanizması Şekil 4.5. a ve b’de gösterilmektedir.



a)



b)

Şekil 4.5

a) Pulse Plazma İle Modifikasyon Oluşum Mekanizması (1)

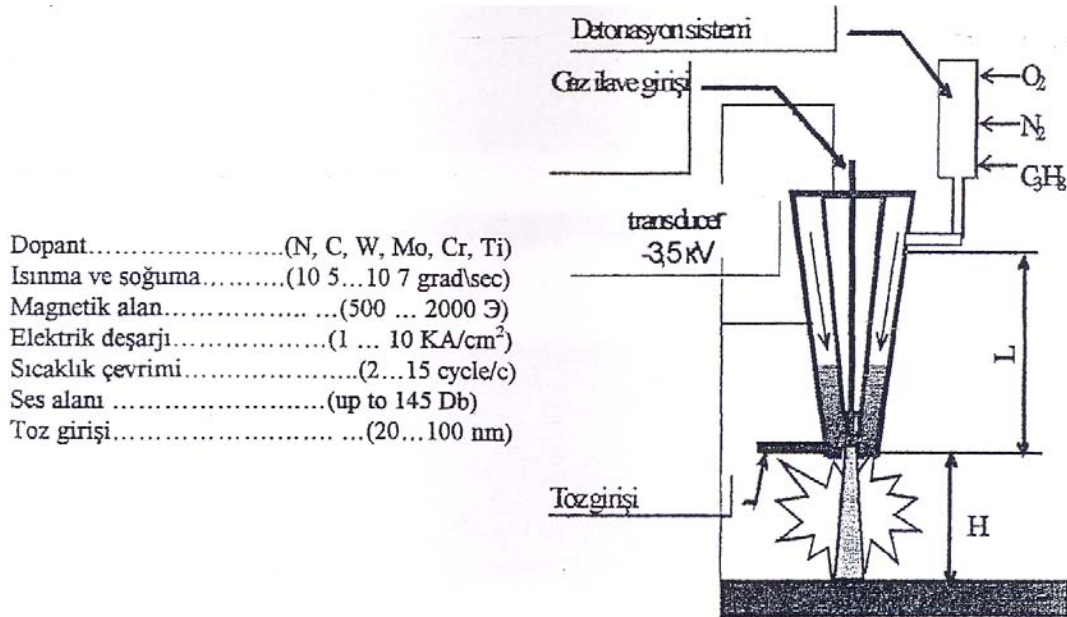
b) Pulse Plazma İle Modifikasyon Oluşum Mekanizması (2)

Araştırma sonuçları göstermiştir ki; yüksek hızda ki bir plastik deformasyonda, atomların hareketi, yer değiştirmesi; elementlerin difüzyon yoluyla sıvı metale doğru hareketinden daha hızlıdır. Deformasyon süresi $\tau=4 \times 10^{-3}$ s, def.derecesi %10 ve temas bölgesinin sıcaklığı 800°C , difüzyon sabiti $D=8.3 \times 10^{-3}$ cm^2/s olup sıcak metalinkinden 10^2 kat daha hızlıdır. Pulse magnetik alandaki hızlı bir deformasyon, kütle transferini artırır[14].

Pulse işlemleri ile kütle transfer katsayısı artar ve tane boyutuyla direkt alakalıdır. Pulse sayısı arttıkça tane boyutu düşer. En ilginç bulgu ise; farklı Pulse işlemleri metodlarının yüzey üzerinde benzer etkiyi yapması ve sinerjik bir özellik olan kütle transferinde önemli bir artışa yol açmasıdır [9].

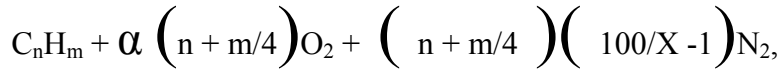
4.3.1 İş Parçası Yüzey İle Plazma Etkileşiminin Sonuçları

Yapılan araştırmalar sonucunda; alaşım elementlerinin de içinde olduğu pulse-plazma tarafından iş parçası yüzey işlemleri, termal, elektro manyetik ve deformasyon olgularını içine alan kompleks bir işlemler bütünüdür. Bu durum, iş parçası yüzeyinin plazma bileşenleri ile alaşımlandırılmasını ve bu yüzeyin sertleştirilmesini mümkün kılar. Alaşım elementleri metal elektrot (çubuk) erozyon ürünleri biçiminde ve ya propan, azot gibi gazlar biçiminde plazmaya katılır.

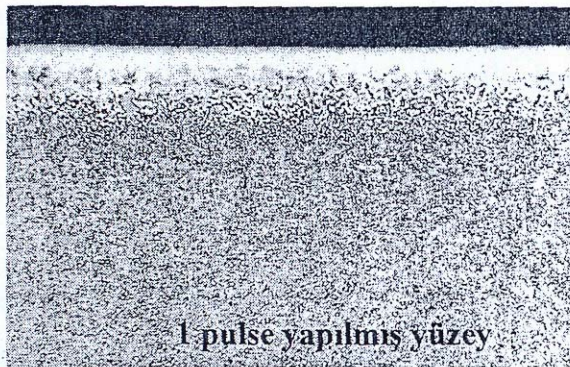


Şekil 4.6 Plazma Detonasyon Ekipman Düzenegi [12]

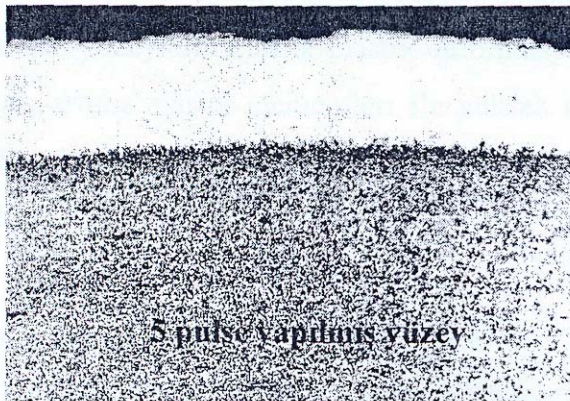
Demir esaslı alaşıma sahip bir iş parçasını pulse-plazma işleminde mikro-kristalli bir alaşım tabakası meydana gelir. Bu tabakanın yapısı plazma kompozisyonuna ve işleminde kullanılan pulse sayısına bağlıdır, Şekil 4.7 a ve b'de işlem sonrası pulse sayısına bağlı olarak değişen tabakalar görülmektedir. Plazmanın kompozisyonu oksitleyici/yakıt oranıyla belirlenir. hidro karbonların, C_nH_m azot-oksijen karışımları içinde yanması neticesinde denge reaksiyonunun sol tarafı genellikle;



Bu biçimindedir. Burada X, azot-oksijen karışımındaki oksijen içeriğidir. α , ise oksitleyici kat sayısıdır. Artan oksijen içeriklerinde ($\alpha > 1$) plazmayla işleme girdikten sonra oksit inklüzyonları bu tabaka içinde sabitlenir. Bu arada $\alpha < 8$ olduğu durumlarda ise hiç böyle inklüzyon tespit edilememiştir. İşlem tabakası çok sayıda pulse plazma işleminde sonra daha kalın ve daha üniform hale gelmiştir.



a)



b)

Şekil 4.7 a) 1 Pulse Uygulanmış Yüzey Tabakası Görünümü

b) 5 Pulse Uygulanmış Yüzey Tabakası Görünümü[12]

Pulse plazma işleminde tungsten ve molibden elektrot kullanımı en yüksek sertlik değerlerinin elde edilmesini sağlamıştır.

Bu teknolojinin temel parçaların çalışma yüzeyleri işleminde için yüzeye doğru alaşım elementlerinin yüksek enerji akışı ve aynı zamanda parçaya elektrik akımı akışının meydana geldiği bir teknolojidir. Parçaların yüzeyleri alaşım elementlerinin akımının birbirine tesirinin kısa süresi, elektrik akımının parçalara kütle transferini düzensizleştirilmesi ile alaşım prosesinin aktivasyonunu ve bütün parçaların ısınmasını engeller. Bu, alaşım hava ortamında gerçekleşmesini mümkün kılar. Akımın yüksek enerji yoğunluğu (10^7 W/cm²) mukavemet ile yüksek sertlik, ısı dayanımı ve aşınma dayanımı gibi özelliklere sahip olması gereken parçalar için önemlidir. Bu, yoğun aşınma şartları altındaki işler için demir-titanyum-alüminyum ve bakır esaslı alaşımlardan üretilmiş makine parçaları için önemlidir.

Metal parçalarının aşınma yüzeylerinde yüksek-alaşımli mikrokristal tabakalarının üretimi parçaların performanslarının (3-10 kat) önemli derecede artışına yol açar. Artan performansla, kullanılan malzemelerde, makine fiyatlarında ve ısıl işlemlerde fiyat indirimi sağlar.

Pulse-plazmada alaşım elementlerinin (N, C, W, Mo, Cr, Ti, V, Al, Cu, v.s.) yüksek hızda akışı mevcuttur. Araştırmalar göstermiştir ki; çalışma parçasının yüzeyinde pulse etki bilinen difüzyon mekanizmaların yüzeyde yoğunlaşması, yüksek ısıtma ve yüksek soğutma hızı yüzeylerin elastik-plastik deformasyonu ile birleştirilmiştir. Bu teknoloji, miktarı artmış alaşım elementleri ile yüksek dislokasyon yoğunluğu, mikrokristalin yapıyı yüzey tabakasının formasyonunu sağlayan fiziksel-mekaniksel etkilerin birleşimidir[12].

Kuvvetli enerji kaynakları yoğun soğumanın tabii kinde ortam ve metal yapısı içerisinde ısının bir uçtan diğerine taşınımı ile metallerin yüzey tabakalarının hızlı ısınmasına sebep olur. Metallerin yüzey tabakalarının ısınması ve soğumasındaki yüksek hız (1×10^4 - 1×10^8 K/s) karbon ve nitrojen konsantrasyonundaki değişim ve yüksek dislokasyon yoğunluğuna, dağınık kristalin yapının oluşumuna yol açar. Bu hızlı soğuma nano kristalin yapının oluşumuna da katkıda bulunmaktadır [9].

Pulse-plazma modifikasyon teknolojisinin verimliliği 0.2 – 0.4 mm kaplama kalınlıkta $3\text{m}^2/\text{h}$ 'ye ulaşır. Elastik ve plastik deformasyonundaki yüksek hız, difüzyon kat sayılarındaki artış,

$$\mathcal{E} = \Delta h \geq 20 \text{ s}^{-1} \tau$$

Denklemden fazla olan boşlukların ortalama konsantrasyonunun artmasına sebep olur.

Pulse-plazma cihazı güvenlik ve sağlıklı bir çalışma ortamı yaratılması bakımından, gazlardan arındırılmış-basınçlı odalı ses yalıtımına sahip bir odada kurulmalıdır [12]. Endüstriyel alanlarda, kesici, delici ve Şekil verici olarak kullanılan metal çalışma parçalarının (öğütücü parçalar, matkaplar, kalıpla, pres, haddeler v.s.) çalışma yüzeyleri ile, daha pek çok makine parçasının yüksek ısı dayanımına ve sertliğe sahip olması gerekmektedir. Bu gereksinimler mikrokristalin haldeki yüksek alaşımlarla yerine getirilmektedir. Kural olarak, bütün parçaların yapısında bu hali başarmak pahalı ve karışık bir problemdir. İlâveten, bu yapıdaki malzeme parçaları yüksek çarpma dayanımına ve yüksek termal difüzyona sahip olması gerekmektedir. Genelde, bu parçalar yüzeylerinde mikrokristalin tabakaları oluşturan alaşımlarla dop edilmiş sert çeliklerden yapılmaktadır. Yalnızca pahalılık, yetersiz sonuçlar ve yüksek üretim maliyetleri değil ayrıca, enerji, malzeme, üretim kapasitesi diğer sorun teşkil eden konulardır. Pulseplazma teknolojisi ile bahsi geçen dezavantajlar ortadan kaldırılarak malzeme üretimi mümkündür [15].

Bu teknoloji ile çeşitli iş parçalarının çalışma yüzeylerinde uygulamalar yapılmaktadır; metal çalışma parçaları: soğuk ve sıcak pres parçalar, kesici ve Şekil verici cihazlarında, kalıplarda, zımba ve delik açma cihazlarında, testerelerde, bıçaklarda, ahşap çalışma parçalarında, öğütücülerde, tarım aletlerinde; şeker kamışı kesme parçalarında, tüm tarım sanayinde kullanılan makinelerde, yoğum dağıtıcı disklerde, titanyum, alüminyum, bakır ve demir esaslı alaşımlardan yapılmış maline ve makine parçaları şeklindedir.

4.4 Pulse-Plazma Teknolojisinin Avantajları

- Makine parçalarına ön ısıtma uygulanması.

- Yalnız kesici uçlar sertleştirilir.
- Makinenin elektrik gücü 10-30 kW;
- Gaz-yakıt karışımı akış hızı 1.5m³/h;
- Sertleştirme verimliliği 300mm²/sec;
- Bu teknoloji atmosferde uygulanmaktadır.
- Makinenin konfigürasyonunda ve boyutlarında sınırlamalar yoktur.
- Sertleştirme için (makine) parçalarının yüzeylerinin hazırlanmasına ve temizlenmesine ihtiyaç yoktur.

4.5 Pulse-Plazma Teknolojisinin Uygulama Alanları

Bu teknoloji aletlerin çalışma yüzeylerinin sertleştirilmesinde etkilidir. Sertleştirilmeden sonra parçaların kararlılığı 3-6 kat artar [16]. Uygulama örnekleri ise şöyledir;

- Bıçaklarda, metal, odun, kauçuk v.s. malzemeleri kesici testerelede,
- Sıcak ve soğuk preslerde, boş kalıplarda;
- Çekiçlerde, delici aletlerde, matkap ve matkap uçlarında, öğütücü kesici takımlarında,
- Tungsten-kobalt sert alaşımlardan yapılan parçalarda;
- Kalıplarda, merdane ve hadde rulolarında

Ayrıca pulse-plazma teknolojisi, nano kristalin demir tabakaların üretiminde de kullanılmaktadır [17].

4.6 Pulse-Plazma Teknolojisini Endüstriyel, Ekonomik Ve Sosyal Yönleri

Pulse-plazma konusunda yapılmış çalışmalar göstermiştir ki, bu teknoloji günümüzün yüzey modifikasyon alanında büyük gelişmeler sağlayacaktır. Yapılan araştırmalar, özellikle uygulanma maliyetinin düşük olması açısından günümüz endüstrisinde mevcut yüzey modifikasyon problemlerinin çözümü açısından son derece yararlı olacağı düşünülmektedir [16].

Pulse-plazma modifikasyon teknolojisinin endüstriyel ve ekonomik yararları;

- a.) Metal parçaların servis ömrünü arttırır
- b.) Yüzey sertlik verimliliğini arttırır
- c.) Metal parçaların fiyatlarını azaltır.
- d.) Yüksek alaşım kullanımını azaltır
- e.) Sertleşme prosesinin verimliliğini arttırır
- f.) Enerji tüketim seviyesini azaltır

Pulse-plazma modifikasyon teknolojisinin sosyal yararları;

- a.) Karmaşık parça üretimini ve kullanımında güvenliği arttırır.
- b.) Birleşik endüstrilerde ve parça üretiminde işçi kullanımını arttırır.
- c.) Bütün dünyada parçaların güvenilirliğini ve kullanımını arttırır.
- d.) Doğaya zararı azaltır.

Pulse-plazma teknolojisi ile diğer modifikasyon yöntemlerinin çeşitli açılardan kıyaslaması tablo 4.1.'de verilmektedir.

Modifikasyondan sonra, yüzeylerin sürtünme kat sayısı 3–5 kat azalır, aşındırıcı şartlar altında aşınma dayanımı 2–5 kat artar ve ısı dayanımı 6 kat artar [15].

Tungsten, karbon ve nitrojen gibi elementleri içeren yüksek enerji akımlı çalışma parçaların işlemleri yüzey tabakasının mikro sertliğini 1900 HV'e kadar çıkar. Modifiye edilen tabakanın kalınlığı yaklaşık 20-80 mikrondur.

Titanyum esaslı alaşımların yüzey modifikasyonu 100 nanometre kalınlığa ve 1100 HV sertliğe sahip alaşımlı tabaka sağlar. Yüksek kuvvete sahip dökme demirlerin yüzeyinde oluşturulmuş modifiye tabak 1400HV sertliğe ve 120 nanometre kalınlığa sahiptir [16].

Yapılmış çalışmaların sonuçları göstermiştir ki; modifikasyon teknolojisi ile bıçak ve öğütücü millerin 3-4 kat, çelik testerelerin 5-6 kat, tungsten-kobalt sert alaşım testerelerin 2-3 kat, kalıp ve zımbalar 2-5 kat ve makine parçaların 3-5 kat tüketim miktarı azalmıştır. Pulse, plazma sadece düşük karbonlu çeliklere değil yüksek hız

eliklerine de uygulanarak özelliklerin geliştirilmesi üzerine birçok çalışmalar yapılmaktadır [18].

Tablo 4.1 Farklı Teknolojilerin Karşılaştırılması [9]

Tablo Difüzyon uygulamalarının tipik karakteristikleri

İşlem	Kaplama oluşumu	işlem sıcaklığı °C(F)	Tipik kaplama derinliği	Kaplam sertliği HRC	Tipik esas metaller	işlem karakteristikler
Semantasyon						
Koruyucu banyo	Yayılmış karbon	815-1090	125 nm - 1,5 mm	50-63	Düşük karbonlu çelikler, düşük karbonlu alaşım çelikleri	Düşük ekipman maliyeti, kaplama kontrol zorluğu
Gaz	Yayılmış karbon	815-980	75 μ m - 1,5 mm	50-63	Düşük karbonlu çelikler, düşük karbonlu alaşım çelikleri	Kaplama derinliğinin iyi kontrolü.
Sıvı	Yayılmış karbon ve mümkün olduğunca azot	815-980	50 μ m - 1,5 mm	50-65	Düşük karbonlu çelikler, düşük karbonlu alaşım çelikleri	Tuz banyolarındaki tuz dışı atımlarında daha hızlı sunuş
Vakum	Yayılmış karbon	815-980	75 μ m - 1,5 mm	50-63	Düşük karbonlu çelikler, düşük karbonlu alaşım çelikleri	Mükemmel proses kontrolü, gaz karbürlemeden daha yüksek maliyet, yüzey parlaklığı
Nitrüleme						
Gaz	Yayılmış a/Ot, azot bileşikler	480-590	125 μ m - 0,75 mm	50-70	Alaşımli çelikler, azotlu çelik, paslanmaz çelikler	Su verme ve tavlama istenmeyen azotlu çeliklerde fastlali sert kaplama elde etmede yavaşlık
Tuz	Yayılmış azot, azot bileşikler	510-565	2,5 μ m - 0,75 mm	50-70	Yüksek demir oranlı, dökme demirler	Genellikle 1 milden az beyaz kaplama yüzeyi istenen patentli çeliklerde
iyon	Yayılmış azot, azot bileşikler	340-565	75 μ m - 0,75 mm	50-70	Alaşımli çelikler, azotlu çelik, paslanmaz çelikler	Yüksek ekipman maliyeti gaz azotlamadan daha hızlı
Nitrokarbürleme						
Gaz	Yayılmış karbon ve azot	760-870	75 μ m - 0,75 mm	50-65	Düşük karbonlu çelikler, düşük karbonlu alaşım çelikleri, paslanmaz çelikler	Karbonlamadan daha az sert kaplama, daha düşük işlem sıcaklığı
Sıvı (siyanürleme)	Yayılmış karbon ve azot	760-870	2,5 μ m - 125 μ m	50-65	Düşük karbonlu çelikler	Tuz geri alam problemi, kritik olamayan parçalarda iyi ince yüzey
Feritik nitrokarbürleme	Yayılmış karbon ve azot	565-675	2,5 μ m - 25 μ m	40-60	Düşük karbonlu çelikler	Düşük karbonlu çeliklerde düşük çarpılmaları
diğerleri						
Koruyucu banyo	Yayılmış alüminyum	870-980	25 μ m mm	<20	Düşük karbonlu çelikler	Yüksek sıcaklıklarda oksidasyon direncini artırma

Kimyasal buhar çözültisi ile silikonlama	Yayılmış silikon	925-1040	25 μ m -1 mm	30-50	Düşük karbonlu çelikler	Atmosferde kritik aşınma direnç kontrolü
Kimyasal buhar çözültisi ile krom çaplama	Yayılmış krom	980-1090	25-50 μ m	Düşük karbonlu çelikler için <30; yüksek	Yüksek-düşük karbonlu çelikler	Çeliklerde düşük krom kaplama maliyeti
Titanyumkarbür	Yayılmış karbon ve titanyum Ti,C bileşikleri	900-1010	2,5 -12,5 μ m	>70	Alaşım çelikler-takım çelikler	Yüksek sıcaklıklarda çarpılmaya sebebiyet
Borlama	Yayılmış bor ve bor bileşikleri	400-1150	12,5-50 μ m	40-70	Alaşım çelikler, takım çelikler, kobalt ve nikel alaşımları	Aşırı sertleştirilmiş takım çeliklerinde yüksek sıcaklıklarda deformasyon

4.7 Yüksek Yoğunluklu Pulse-Plazma

Malzemelerin yüzey özelliklerinin modifikasyonuna bir yaklaşımda yüksek yoğunluklu pulse, iyon ya da plazma ışınlarının kullanımınıdır. Bu çeşitli ışınların uygulamalardaki ilk araştırmalar, Cornell Üniversitesi'nde ki grup tarafından yapılmıştır. Silikon levhaların implantasyonu tavlama bölgesi için 100 A cm⁻² eldesi amacıyla geçerli yoğunluk 280 keV proton ışınlarıyla başarılı şekilde kullanılmıştır. Bu proton ışınlar, magnetik şekilde yalıtılmış yüksek voltajlı diotlarda ortaya çıkarılmıştır. Bu tür jeneratörler Tomsk ve grubu, son zamanlarda Wurzburg ve grubu ile rapor edilmiş tecrübeler serisinde metalik malzemelerin modifikasyonu için kullanılmıştır. Elde edilmiş tecrübeler neticesinde modifikasyonlar başlıca termal etkilerle başarılmıştır [19].

Yüzey modifikasyonları için alternatif bir yaklaşım kütle deposyonu ile kombine olmuş termal etkilerin kullanımını yapmaktadır. Bu tür uygulamadaki ilk çalışmalar Swierk-Warsaw çalışma grubunun (IONOTRON) plazma enjektör çubuğu kullanımı ile başarılı şekilde ispatlanmıştır. Makinede ortaya çıkan yüksek yoğunluklu pulse plazma akımı özellikle çeşitli katıların yüzeye yakın kenarlarda ergitilebilir ve sonra, plazma ile gelen atomlar dop olur. Dop, ergimiş yüzeye yakın kenarlardaki bu atomların hızlı difüzyonu yoluyla meydana gelir. Çeşitli teknikler yarı iletkenin dopu, çeliklere nitrojenin yüksek dozda girişi için kullanılabilir. Bu güne kadar yapılan çalışmalarda IONOTRON jeneratör sayesinde bu tekniğin imkanlarını genişletilmesi amaçlanmıştır. Yüksek yoğunluklu puls plazma teknolojiyle Co, Ti

ve W tozları kullanılarak AISI 321 paslanmaz çelik yüzeyinde metalik kaplamaların oluşumu üzerine çalışmalar yapılmıştır [20].

4.8 Hibrid Pulse Plazma Yöntemi

Plazma esaslı iyon implantasyonu, makine parçaları, tribolojik parçalar, ağır şartlarda kullanılan kalıplar gibi karmaşık ve girintili yüzeylerde adhezif ve üniform kaplamalar oluşturabilmek için büyük umutlarla ortaya çıkarılan yeni bir prosestir. 1970'li yılların sonunda iyon implantasyon cihazların kullanımıyla malzemelerin iyon-ışın modifikasyon çalışmaları başlamıştır ve çalışmalar nükleer araştırmalar için orijinal olarak yapılmış izotop speratörlerin kullanımı ile yapılmıştır. Bu çalışmalar iyon implantasyonun malzemelerin aşınma, korozyon ve yorulma dayanımı ve sürtünme gibi özelliklerini geliştirdiğini ispatlamıştır. İyon implantasyonu zımbalar, delik açıcıları, kalıplar gibi kesme ve üretim parçalarının yaşam sürelerini artırılmasında kullanılır [21].

HPPC (Hibrid Pulse-plazma Kaplamalar) sistemi hakkında araştırma projeleri 1998 yılında başlamıştır, bu yöntem iyon karışım ve plazma-PVD kaplamaların birleşimi temeline dayanmaktadır. Elmas benzeri karbon film kaplamalar HPPC sistemi ile ince silisyum levhalarda, matkaplarda, kalıplarda hidrokarbon gazların kullanımı ile oluşturulmuştur.

Hibrid pulse plazma teknolojisi, plazma-kaynak iyonları ile 3 boyutlu iyon implantasyonu ile malzemelerin yüzey özelliklerini modifiyesi için etkili, teknik açıdan ileri ve ölçülü fiyat politikasına sahip bir tekniktir. Bu implante olmuş iş parçaları plazmaya daldırılır ve negatif yüksek voltaj pulseler seri olarak uygulanır. Plazma iyonları elektrik alan kılıf boyunca hızlandırılmıştır ve yüzeye doğru dikey olarak implante edilmişlerdir. Endüstriyel malzemelerde bu tekniğin pratik uygulaması için, 250 kW'ye kadar, ileri mühendislik uygulamalarında ise yüksek voltaja ihtiyaç duyulan belli derinlik modifiyesi için gereksinim vardır. Bununla beraber, yüksek voltajlı pulseler sık sık plazma ve iş parçaları arasında arka sebep olur [21].

Normal çalışma şartlarında yüzey modifikasyonu oldukça düşük voltajın kullanıldığı iyon karışımı ile gerçekleştirilecektir. Diğer bir araştırma ekibi olan, Brown ve arkadaşları atomik karışımla titanyum-yttrium çok tabakalı yapı metal-iyon implantasyonlu metal deposizyon kombinasyonu ile form edildiğini göstermişlerdir. Deneyler için metal buhar vakum ark kaynağı kullanmışlardır. Bu şartlarda, ayrıca iyonlar ve nötral metal atomları tek yönlüdür [22].

BÖLÜM 5. PULSE PLAZMA UYGULAMALARI

5.1 Giriş

Pulsed plazma teknolojisi malzeme yüzeyinde 20-100 µm luk modifikasyon tabakası meydana getirerek yüzey performansı artırılması hedeflenmiştir. Uygulama alanları ile ilgili farklı çalışmalar denenmektedir[23].

5.2 Sertleştirme Alanında Uygulamalar

İş parçalarında sadece istenen bölgede sertlik meydana getiriyor olması pulse plazma teknolojisini diğer yöntemlerden daha çekici kılmıştır [23]. Metal, ahşap, sentetik malzemeler ile bunların işlenmesini yapan ekipmanların, sıcak ve soğuk pres kalıplarının, makine parçalarının, motorların, kompresörlerin, hidrolik preslerin, hava taşıtları ve motorlu taşıtların çalışan yüzeylerinin sertlik değerlerini arttırmak için gerçekleştirilir [24,26].

% 0.5-1.6 C, titanyum, alüminyum, tungsten karbürlü alaşımlar, yüksek alaşımli çeliklerin sertleştirilmesinde kullanılır. Şekil 5.1'de pulse plazma uygulanmış iş parçalarına örnekler gösterilmektedir.



Şekil 5.1.a. Testere



Şekil 5.1. b. Matkap ucu



Şekil 5.1.c. Çelik maça



Şekil 5.1.d. İtici Makara



Şekil 5.1.e. Disk



Şekil 5.1.f Kesici Takımlar

Şekil 5.1 Çeşitli alanlarda kullanılan iş parçalarında pulse plazma uygulamaları [24]



Şekil 5.2 İş parçasına pulse plazma tekniği uygulanması [24]

Pulse plazma teknolojisi ile sadece performans artırma problemi çözülmüş olmaz, ayrıca üretim teknolojilerinin basitleştirilmesi de sağlanmıştır. İşlem sonrasında parçaların performansının 2 ila 3 kat daha arttığı yapılan endüstriyel testler sonrasında görülmüştür [23,24,26].

BÖLÜM 6. YÜZEY SERTLEŞTİRME İŞLEMLERİ

6.1 Giriş

Bazı uygulamalarda kullanılan çelik parçaların hem aşınma dirençlerinin, hem de darbe dayanımlarının yüksek olması istenir. Bunun için parçaların yüzeylerinin sert, iç yüzeyinin nispeten yumuşak olması gerekir. Bu durumu sağlamak için parçalara yüzey sertleştirme işlemi uygulanır. Çelik parçaların yüzeyleri sementasyon (karbürleme), nitrürasyon (nitrürleme), alevle ve endüksiyonla sertleştirme olmak üzere dört ana yöntemle sertleştirilir. En uygun yöntem, parçanın kimyasal bileşimine ve boyutlarına göre seçilir. Bu işlemler;

- Mekanik İşlemler (kum püskürtme, bilya ile dövme)
- Yüzey Dönüşümü (indüksiyon ile sertleştirme, lazer ile sertleştirme)
- Yüzey bileşimi değişimi (termokimyasal işlemler)
 - a-Karbürleme, karbonitrürleme
 - b-Nitrürleme, nitrokarbürleme
 - c-Borlama
- Kimyasal işlemler(dönüşüm kaplamaları: oksitleme, fosfatlama, kromatlama)
- Kaplamalar (boyama, püskürtme, buhar biriktirme, elektrolitik kaplamalar)
- Yüzey aktivasyonu (dağlama) [1]

6.2Karbürizasyon

Karbürleme, karbonca zenginleştirilmiş bir ortam yaratarak partikül yüzeylerine karbon atomları difüze edilerek yapılan bir işlemdir. Tabaka derinliği, üst sıcaklığa, zamana ve karbon potansiyeline bağlıdır. Karbürizasyon için çelik ostenitten meydana gelecek şekilde yüksek bir sıcaklığa yani A_{c3} sıcaklığının üstünde (yaklaşık olarak $900\text{ }^{\circ}\text{C}$) ısıtılmaktadır. Bu sıcaklıkta ostenit % 1 'den fazla karbon çözümlenebilir. Karbon miktarına bağlı olarak, karbon atomları yüzey yapısına ve daha içlere doğru girer. Sıcaklık ne kadar yükselirse bu difüzyon olayıda o kadar

çabuk vuku bulur. Karbonun yapıya nüfuz etme derinliğini tavlama süresi ve sıcaklık etkiler, yapıdaki karbon miktarını ise karbürleyici madde etkiler [27].

6.3 Nitrürleme

Nitrürleme, çeliğin yüzeyine ferritik durumda iken azot girmesini sağlayan bir yüzey sertleştirme işlemidir. Bundan dolayı, nitrürleme, yüzey bileşiminin değiştirilmesi yönünden karbürlemeye benzer, fakat azotun ostenit yerine ferrite ilave edilmesinden dolayı ondan farklıdır. Buradan anlaşılacağı gibi, nitrürlemede çeliğin ostenit faz alanına ısıtılması ve takiben martenzite dönüştürmek için su verilmesi işlemleri yoktur; yani, nitrürleme minimum distorsiyon ve mükemmel boyut kontrolü veren bir ısıl işlemdir[28].

Nitrürlenmiş çelikler, genellikle orta karbonlu çeliklerdir; bunlar krom, alüminyum, vanadyum ve molibden gibi kuvvetli nitrür yapıcı elementler içerirler. Ostenit tane boyutunu kontrol etmede etkili olan alüminyum, özellikle çok kuvvetli bir nitrür yapıcıdır ve nitrürleme çeliklerinde ağırlık %0,85-1,5 arasında kullanılmaktadır. Nitrürleme işlemi uygulanmadan önce, çelikler ostenitlenmekte, su verilmekte ve temperlenmektedir. Temperleme 540-750°C arasındaki sıcaklıklarda gerçekleştirilir; bu sıcaklık aralığı, nitrürlemenin yapıldığı sıcaklıkların üzerindedir ve bu sebeple, nitrürleme işleminin temperlenmiş yapıyı yumuşaklık konusu değildir. Nitrürleme sıcaklığı üzerindeki temperleme, nitrürleme sırasında kararlı kalacak bir çekirdek yapısı sağlar.

Gaz nitrürleme, $\text{NH}_3 \leftrightarrow \text{N} + 3\text{H}$ reaksiyonuna göre çelik yüzeyinde dissosiyeye olan amonyak gazı ile yapılır. Buradan ortaya çıkan atomik azot çelik yüzeyinde absorblanır.

Sıcaklığa ve demir veya sade karbonlu çeliklerin ferritine difüze olan azotun konsantrasyonuna bağlı olarak, nitrürleme işlemi sırasında bazı fazlar oluşabilir. Düşük azot konsantrasyonu, ferritten ince, koheran çökelti şeklinde α' (Fe_{16}N_2) çökmesine sebep olur. Daha yüksek azot konsantrasyonları, nitrürlenmiş çeliklerin gevrek beyaz tabakasını oluşturan γ' veya Fe_4N fazını meydana getirir. Daha yüksek

azot konsantrasyonlarında, azotun karbonla birleşmesi ile tribolojik olarak arzu edilen bir faz olan ϵ nitrür meydana gelir[27].

Nitrüleme tek adımlı veya iki adımlı prosesler şeklinde uygulanabilir. Tek adımlı proses %15-30 amonyak dissosiyasyonu ile (bu durum azot kaynağı olan NH_3 'ün %70-85'lik bir konsantrasyonunu ihtiva eden bir atmosfer demektir) 500-525°C'de gerçekleştirilir. Bu prosesde gevrek γ' demir nitrür fazı meydana gelir. Floe tarafından geliştirilmiş patentli bir proses beyaz tabaka kalınlığını minimize etmek için iki adımlı bir proses şeklinde uygulanır. İlk adım, yukarıda tanımlanan prosese benzer fakat ikinci adımda, amonyağın dissosiyasyonu % 65-85'e artırılır, bu şekilde $\text{NH}_3 \rightarrow \text{N} + 3\text{H}$ eşitliğine göre yüzeye azot sağlayan atmosferdeki NH_3 muhtevası azalır. Bir sonuç olarak, demir nitrür hızla büyüyemez ve çeliğin içerisine taşınan azot çözünür. Nitrüleme süreleri oldukça uzundur ve uygulamaya bağlı olarak 10 saatten 130 saate kadar olabilir ve tabaka kalınlığı nispeten düşüktür (çoğunlukla 0,5 mm'den daha az).Düşük sıcaklıklarda sadece demir nitrürler ve yüksek sıcaklıklarda alaşımı nitrürleri oluşur. Nitrürlenmiş tabakalar karbürleme ile elde edilen yüzeylerden daha serttir ve nitrüleme sıcaklığına kadar olan sıcaklıklarda oldukça karardır. Bu sebeple, nitrüleme, temas halinde hareketli parçalar arasındaki sürtünmeden ısının meydana geldiği şartlarda mükemmel aşınma, ısınma ve çizilme direnci kazandırır[27].

6.4 Karbonitrüleme

Karbonitrüleme, çeliğe ostenitik halde karbon ve azotun verildiği bir yüzey sertleştirme ısıl işlemidir. Bu işlem, ostenit bileşiminin değişmesi açısından karbürlemeye benzer ve yüksek yüzey sertliği su vermek sureti ile martenzitin teşekkülü ile elde edilir. Karbonitrüleme ile yüzeyin sertleştirilmesi martenzit teşekkülü kadar bir derece nitrür oluşumuna da bağlıdır[27].

Karbonitrüleme prosesinde, amonyak + karbonca zengin bir gaz veya karbürlemede bir tür karbon kaynağı olarak kullanılan buharlaştırılmış sıvı hidrokarbon ihtiva eden bir atmosfer kullanılır. Karbonitrülemede, çeşitli gaz değişimi ve gaz-metal reaksiyonları meydana gelir. Çelik yüzeyinde amonyak dissosiyasyonu olur ve atomik azot çeliğe girer. Azot karbonun difüzyonunu engeller ve bu etki ve buna ilave olarak

karbonitrürlemenin düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilmesi (705-900°C) ve karbürlemedekinden daha kısa süreler tabaka kalınlığının nispeten ince olmasına (0,075-0,75mm) sebep olur. Daha yüksek sıcaklıklarda, amonyağın termal dekompozisyonu çok hızlıdır ve azot tedarikini sınırlar. Düşük karbonitrürleme sıcaklıkları, düşük sıcaklıklarda gevrek yapılar oluştuğu için pek kullanılmaz. Mamafih, daha düşük sıcaklıklarda uygulanan bir karbonitrürleme türü (ostenitik nitrokarbürleme) geliştirilmektedir. Bu son proses, optimal olarak 675-775°C sıcaklık aralığında uygulanmaktadır ve epsilon karbonitrür bir yüzey bileşik tabakası meydana getirecek şekilde kontrol edilmelidir[27].

Karbonitrürlenmiş çeliklerdeki azot sertleşme kabiliyetini de artırır ve düşük sertleşme kabiliyetine sahip sade karbonlu ve az alaşımlı çeliklerde martenzit teşekkülünü mümkün hale getirir. Azot varlığı sebebiyle oluşan nitrürler de yüksek tabaka sertliğine yardımcı olur. Azot, karbona benzer şekilde, bir ostenit stabilizatörüdür. Bu bakımdan, karbonitrürlenmiş bir parçaya su vermeden sonra önemli bir miktar ostenit kalabilir. Eğer kalan ostenit miktarı sertliği ve aşınma direncini azaltacak kadar yüksekse, ostenit miktarı ya proses içerisinde veya prosesin son kısmı sırasında karbonitrürleme gazının amonyak miktarının azaltılması ile kontrol edilebilmektedir[27].

6.5 Ferritik Nitrokarbürleme

Çeliğe karbon ve azot verilmesini içeren bir diğer yüzey sertleştirme türü ferritik nitrokarbürlemedir. Karbonitrürlemeye ters, fakat nitrürleme prosesine benzer şekilde, karbon ve azot, ferrite A_{c1} sıcaklığının altında ilave edilmektedir. Ferritik nitrokarbürleme prosesi sıvı ve gaz olarak yapılmaktadır. Her iki prosesdeki ortak faydalı sonuç, 450 ve 590°C arasında oluşan çok ince bir tek fazlı epsilon karbonitrür tabakasıdır.

Epsilon karbonitrür bileşik tabakası mükemmel aşınma özelliklerine sahiptir ve minimum distorsiyonla üretilmektedir. Tabaka ferritik+perlitik mikro yapılı pahalı olmayan yumuşak çelikler üzerinde oluşabilmekte ve bundan dolayı, onların aşınma ve yorulma direncini önemli ölçüde iyileştirmektedir[27,29]. Difüzyon zonunda,

nitürlemenin bir sonucu olarak oluşana benzer nitürler veya çökelti zonları, azot bileşik tabakasından çeliğin içerisine difüze oldukça, gelişmektedir bir kural olarak, bileşik tabakası iyi tribolojik özellikler kazandırır fakat iyi yorulma direnci için önemli bir difüzyon zonu gereklidir[29].

6.6 Çeliklerde Yüzey Sertleştirme

Yüzey sertleştirme özel bir ısıl işlem olup, bir metalin göbek kısmının nispeten yumuşak kalmasına karşılık, yüzeyinin belirli bir kalınlıkta sertleştirilmesi işlemidir.

Yüzey sertleştirme işlemleri şu şekilde sıralanabilir:

1. Oksiasetlenen alevi ile sertleştirme,
2. Yüksek frekans indüksiyon ısıtması ile sertleştirme,
3. Elektriksel temas direnç ısıtması ile sertleştirme
4. Elektrolitik ısıtma ile sertleştirme

Yüzey sertleştirmenin ana amacı, metal parçaların yüzeylerinin sertliği ve aşınma direncini yükseltmek ve bununla birlikte parçanın yorulma ömrünü arttırmaktır[27].

6.6.1 Oksiasetlenen Alevi İle Sertleştirme

Bu yöntemde, iş parçasının yüzeyi 3000-3200°C'deki oksiasetlenen alevi ile ısıtılmaktadır. İş parçasının yüzeyine büyük bir ısı transferi vardır. Bu nedenle parçanın yüzeyi çabucak sertleştirme sıcaklığına ısınır, fakat göbek sıcaklığı oldukça düşüktür. Ardından, su suretiyle yüzey sertleştirilir.

Isıtma için adi kaynak torkları kullanılır. Isıtma süresi $7y^2$ saniyedir (burada y, sertleştirilmiş tabakanın mm olarak kalınlığıdır). Torkun iş parçası üzerindeki hareket hızı, $72/y$ mm/sn'dir. Bu yöntem büyük dökme dişlileri, şaftları, hadde merdanelerini sertleştirmek için kullanılmaktadır[27].

Bir alevle sertleştirme ünitesi asetilen tedarik kaynağı, oksijen cihazı, su verme cihazı sertleştirme kontrol masası, tork ve uçlarını içerir. Bu yöntemin avantajı basitliği; dezavantajı ise yüzeyin aşırı ısınma tehlikesidir[27].

6.6.2 Yüksek Frekans İndüksiyon Sertleştirilmesi

İndüksiyonla ısıtmanın avantajları şunlardır:

- Isıl işlem zamanı oldukça kısadır (verimlilik yüksek),
- Pratik olarak hiç bir tufallaşma oluşmadan ısıtma yapılabilir (talaş kaldırma işlemi azalır),
- Isıl işlem kaynaklanan deformasyon oldukça düşüktür,

İndüksiyon sertleştirme ısıl işlem projesinin otomasyonunu kolaylaştırır. Bu krank şaftları, dişli ve bir çok diğer otomobil ve traktör parçalarını sertleştirmek için kullanılmaktadır[27].

İş parçası bir indüksiyon bobinine (indüktör) yerleştirilir. Bobin, bir çok sarımlı bakır boru şeklindedir. İndüktörden alternatif akım geçirildiği zaman, bir manyetik alan doğar, bunun büyüklüğü ve yönü periyodik olarak değişir. Değişken manyetik çizgiler yüzeyi indükler. Akım iletkenin (parçanın) yüzeyinde etkilidir (kabuk etkisi).

Akımın nüfuziyet derinliği

$$y = 5000 \sqrt{\rho/\mu f}$$

eşitliği ile verilir. Burada y, akımın nüfuziyet derinliği (cm); ρ elektriksel özdirenç (mikroohm-cm), μ çeliğin manyetik geçirgenliği (gauss/oersted) ve f, akım frekansdır (devir/san.).

Akımın nüfuziyet derinliği y; sıcaklıkla artar. Bu artış Curie noktasının üzerinde oldukça şiddetlidir. Çünkü ferronmanyetikten paramanyetik duruma dönüş olur.

Isıtma takiben su verilmek suretiyle yüzey tabakası sertleştirilir. Frekans yükseldikçe etkili tabaka kalınlığı azalır (daha hızlı ısıtma sağlanır) Örneğin 250.000. devir/san.'lik bir frekansta 1 mm kalınlığında bir tabaka elde edilirken, frekans 60.000 olunca tabaka kalınlığı 2 mm olur[27].

6.6.3 Elektriksel Temas Direnç Isıtması İle Sertleştirme

Bu yöntem, çok nadir olarak kullanılmaktadır. Döner bir ısıtma elemanı parça üzerinde hareket etmektedir. Bu yöntemle kısmi ısıtma ve sertleştirme sağlanabilir[27].

6.6.4 Elektrolitik Isıtma İle Sertleştirme

Bu yöntemde iş parçası katod olarak davranır ve % 5-10 soda veya potas içeren bir elektrolite daldırılır. Banyo kabı anottur. Elektrolitten bir yüksek voltaj geçirildiği zaman katot çevresinde bir hidrojen örtüsü oluşur. Bu, çok kısa süreli bir olgudur.

Isıtma süresi 10-40 sn. ve akım yoğunluğu 3-6 A/cm²'dir. Bu ana dezavantajı çok ince bir sertleştirme tabakası gerektiğinde metal yüzeyinin aşırı ısıtılma tehlikesidir. Metot sınırlı bir kullanıma sahiptir[27].

BÖLÜM 7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

7.1 Giriş

Yüzey işlemleri, bir iş parçasında kitlesel olmayan bir ve ya birkaç özelliği o iş parçasının yüzeyinde oluşturmak için yapılan işlemlerin tümüdür. Geleneksel yüzey işlemlerinde ve de yeni yüzey işlemlerinde amaç aynıdır korozyon direncini, oksidasyon, yorulma ve aşınma dayanımını arttırmaktır.

Düşük maliyetli, bulunması kolay olan çeliklerin yüzeyleri pulse plazma teknolojisi ile modifiye edilerek yüksek maliyetli bulunması zor olan, yüzey özellikleri iyi olan çeliklerin yerine kullanılması amaçlanmıştır.

Bu çalışmada AISI 1090 çelikleri kullanılmıştır. Modifikasyon işlemi öncesi ve sonrasındaki benzerlik ve farklılıklar incelenmeye çalışılmıştır. AISI 1090 çeliklerinin yüzey özelliklerinin geliştirilmesi ile yüksek aşınma dayanımı ve sertliği sağlanması ile ekonomik kazançlarda sağlanacaktır.

7.2 Pulse Plazma İşlemi Uygulamaları

AISI 1090 çelikleri $1 \times 1 \text{ cm}^2$ boyutlarında sulu kesim ortamında kesilerek hazırlanmıştır. Kesilen numuneler ön metalografik hazırlama işlemlerinden geçirilmiştir. Pulse plazma yöntemi ile çeliklerin yüzeyleri modifiye edilmiştir. Pulse plazma uygulanmış numunelerin uygulama şartları tablo 7.1 ve 7.2 'de verilmiştir.

Tablo 7.1 Pulse Plazma Uygulama Şartları

NUMUNELER C=% 0,9	H (mm)	h (mm)	ELEKTROT	C (µF)	℞
1F	60	10	Mo	500	10
2F	60	10	Mo	500	20
3F	60	10	Mo	500	30
4F	60	10	Mo	500	40
5F	60	10	Mo	500	50
6F	40	10	Mo	500	10
7F	40	10	Mo	500	20
8F	40	10	Mo	500	30
9F	40	10	Mo	500	40
10F	40	10	Mo	500	50
11F	30	10	Mo	500	10
12F	30	10	Mo	500	20
13F	30	10	Mo	500	30
14F	30	10	Mo	500	40
15F	30	10	Mo	500	50
16F	50	10	Mo	500	10
17F	50	10	Mo	500	20
18F	50	10	Mo	500	30
19F	50	10	Mo	500	40
20F	50	10	Mo	500	50

7.2 Pulse Plazma Uygulama Şartları

NUMUNELER C=%0.9	H (mm)	h (mm)	ELEKTROT	C (µF)	n
1G	60	10	Mo	600	10
2G	60	10	Mo	600	20
3G	60	10	Mo	600	30
4G	60	10	Mo	600	40
5G	60	10	Mo	600	50
6G	50	10	Mo	600	10
7G	50	10	Mo	600	20
8G	50	10	Mo	600	30
9G	50	10	Mo	600	40
10G	50	10	Mo	600	50
11G	40	10	Mo	600	10
12G	40	10	Mo	600	20
13G	40	10	Mo	600	30
14G	40	10	Mo	600	40
15G	40	10	Mo	600	50
16G	30	10	Mo	600	10
17G	30	10	Mo	600	20
18G	30	10	Mo	600	30
19G	30	10	Mo	600	40
20G	30	10	Mo	600	50

Çalışmalarda plazma gazı olarak O₂, C₃H₈, hava, elektrot olarak Mo kullanılarak malzeme yüzeyleri modifiye edilmiştir. Nozul-numune arasındaki mesafe (H), uygulanan pulse sayısı (n), pil kapasitesi (C) değişken parametreler olarak belirlenmiştir.

7.3 Metalografik Çalışmalar

Modifiye edilmiş AISI 1090 çeliklerinin yüzeylerinden kesit alınarak yapıdaki farklılıkların araştırılması hedeflenmiştir. Numuneler su soğutmalı ortamda kesilerek bakalite alınarak kalıplanmıştır. 120, 180, 240, 320, 400, 600, 800, 1000, 1200 meshlik SiC zımparalar kullanılarak zımparalanmış ardından da 3 µm ve 1µm lik elmas pastalar kullanılarak parlatma işlemleri uygulanmıştır. Parlatılmış numuneler nital kullanılarak dağlanmıştır. Hazırlanan numuneler Nikon marka Eclipse L150 optik mikroskopla numunelerin kesit görüntülerinden farklı büyütmelerde fotoğrafları çekilmiştir.

7.4 X-Işınları Analizleri

Analizler Rigaku X-Ray Diffraction D/MAX/2200 marka X-ışınları difraktometresi kullanılarak yapılmıştır.

7.5 Mikrosertlik Ölçümleri

Modifikasyon tabakasının yüzey sertliği Leican mikro-sertlik cihazı kullanılarak alınmıştır. Yüzey sertlikleri 50 gr yük 10 saniye uygulanarak, hem yüzey sertlikleri hemde sıra sertlikleri alınmış ve sertlik profilleri çıkarılmıştır.

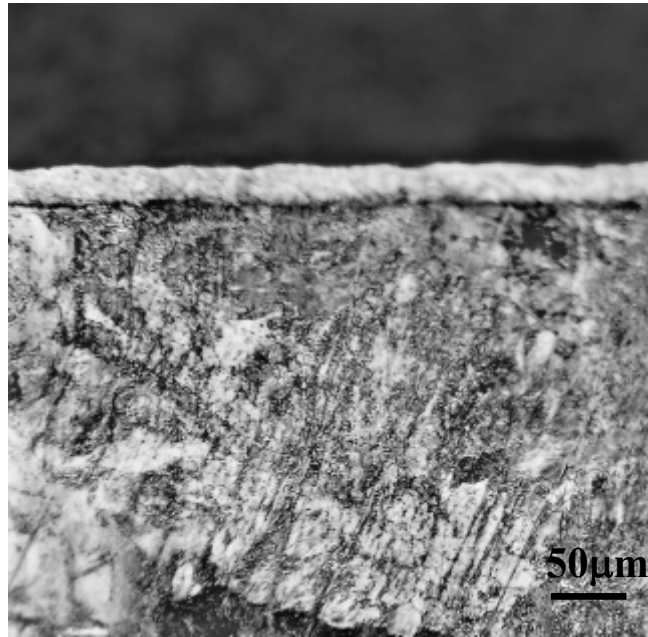
7.6 Tarayıcı Elektron Mikroskobu (SEM) Ve EDS Analizleri

AISI 1090 çeliğinin ve farklı parametrelerde modifiye edilmiş AISI 1090 çeliklerinde meydana gelen yüzeysel değişimler Joel marka JSM 6060-LU model elektron mikroskobu ile analizleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca numune yüzeylerinden Joel marka JSM 6060-LU cihazı ile EDS analizlerdi yapılmıştır.

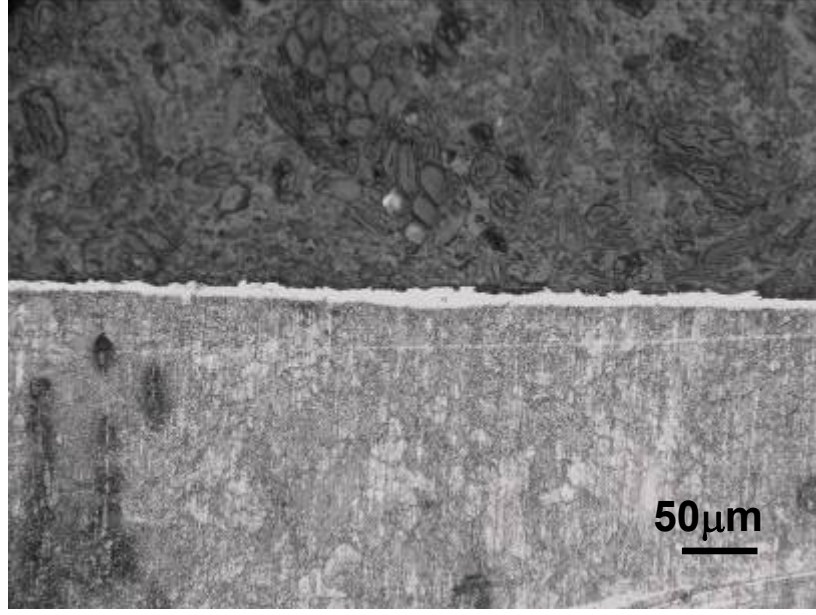
BÖLÜM 8. DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELEME

8.1 Mikroyapı Sonuçları

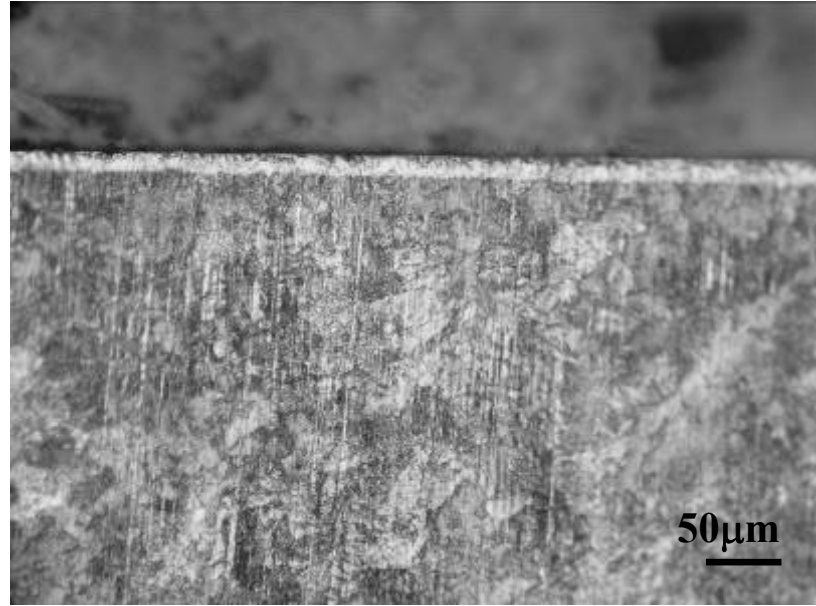
AISI 1090 çeliklerine uygulanan deneysel çalışmalar tablo 7.1 ve tablo 7.2 'de verilmektedir. Modifiye edilmiş olan bu çelikler optik mikroskopta incelenmiştir. Şekillerde farklı büyütme oranlarında optik mikroyapıları görülmektedir. Şekil 8.1 ve 8.2 'de pil kapasitesi aynı ($500\mu\text{F}$), aynı sayıda pulse uygulanmış ($n=20$) fakat nozul numune arası mesafesi ($H=60\text{mm}$, $H=40\text{mm}$) farklı numunelere ait mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Değişen nozul numune arası mesafe oranına bağlı olarak mikrosertlik değerlerinin değiştiği, yine aynı şekilde elde edilen analiz sonuçlarında farklılıklar gözlemlenmiştir. Şekil 8.2, 8.3, 8.4 ve 8.5 'de nozul numune arası mesafesi aynı ($H=40\text{mm}$), pil kapasitesi aynı ($C=500\mu\text{F}$), farklı sayıda pulse uygulanmış (şekil sırasına göre $n=20$, $n=10$, $n=40$, $n=50$) numunelere ait mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Pulse sayısı arttıkça işlem süresi de arttığı için modifikasyon tabakasının kalınlığı artmaktadır.



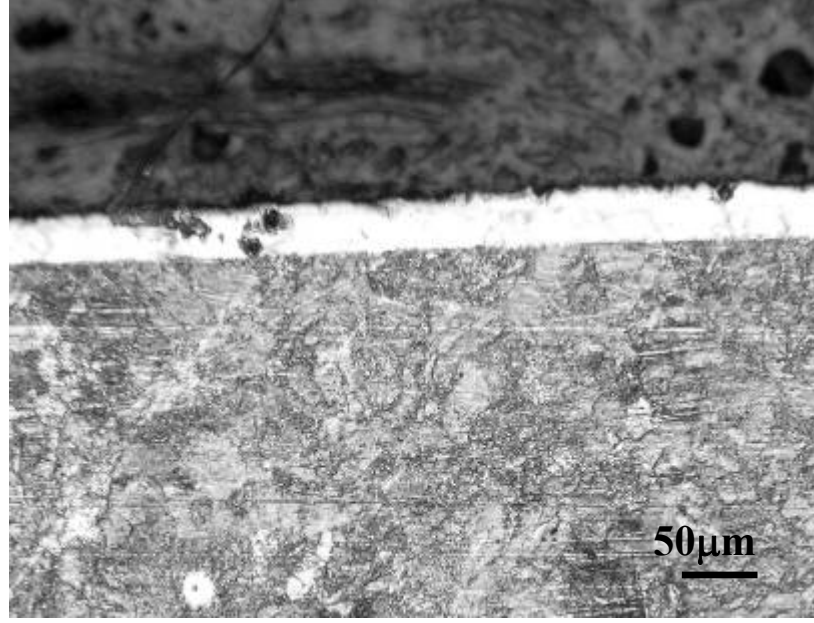
Şekil 8.1 2F numuneye ait optik mikroyapısı



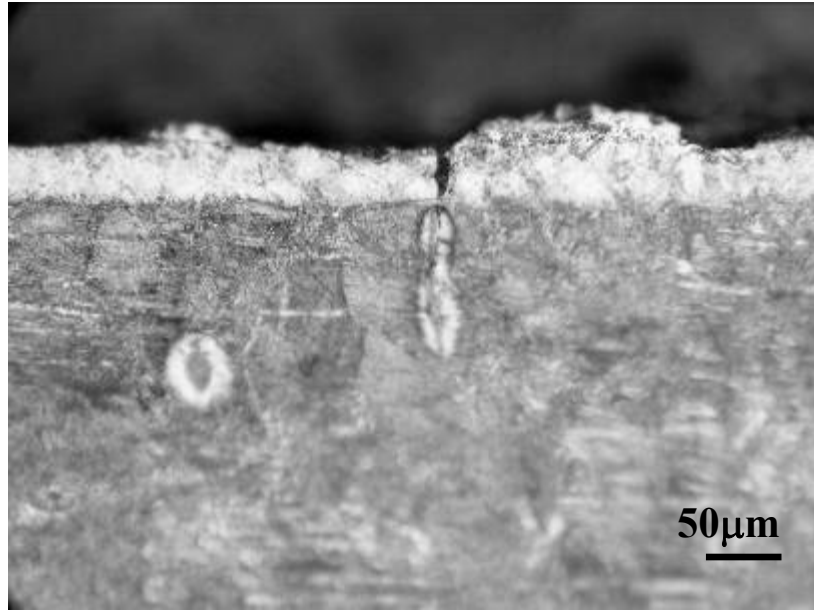
Şekil 8.2 7F numuneye ait optik mikroyapısı



Şekil 8.3 6F numuneye ait optik mikroyapısı

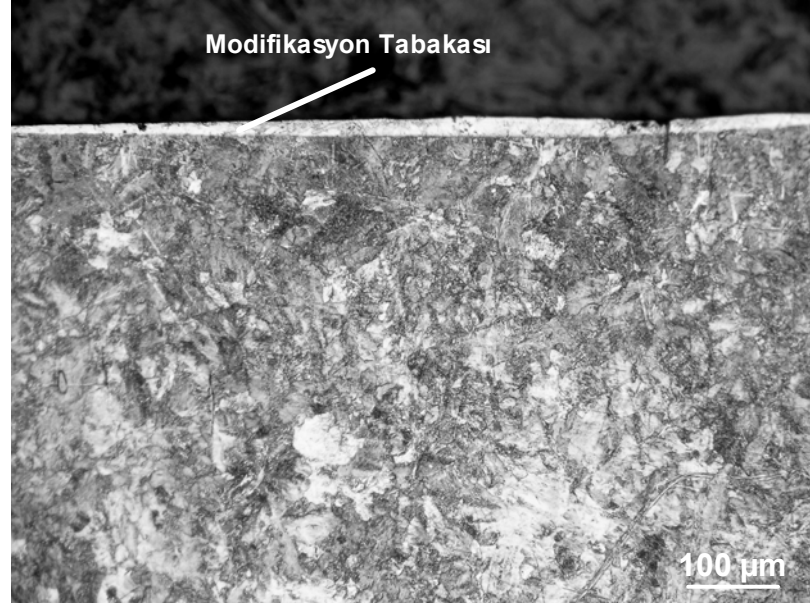


Şekil 8.4 9F numuneye ait optik mikroyapısı

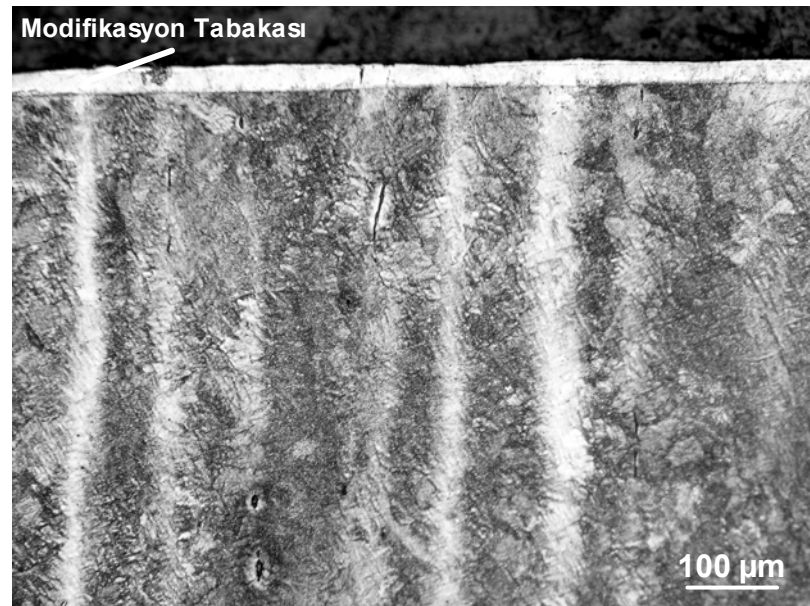


Şekil 8.5 10F numuneye ait optik mikroyapısı

Şekil 8.6 ve 8.7 'de nozul ile numune arası mesafe aynı olan 10 ve 50 olmak üzere farklı sayıda pulse uygulanmış numunelere ait optik mikroyapıları verilmiştir. Şekil 8.7'de modifikasyon tabakasının daha kalın olduğu açık bir şekilde görülmektedir. Pulse sayısı artınca Mo konsantrasyonu da arttığı için tabaka kalınlığı daha kalın olmaktadır.

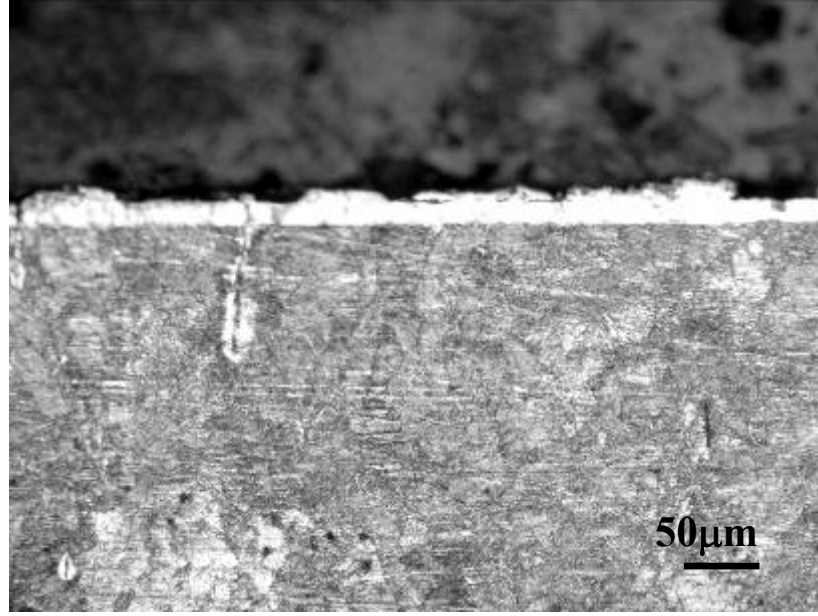


Şekil 8.6 11F numuneye ait optik mikroyapısı



Şekil 8.7 15F numuneye ait optik mikroyapısı

Şekil 8.8.a ve 8.8.b ‘ de aynı numuneye ait farklı büyütmelerde ki optik mikroyapı fotoğrafları verilmiştir. Nozul numune mesafesi 30 mm, pil kapasitesi 500 μ F ve uygulanan pulse 20 olan 12F numunesinin homojen bir modifikasyon yüzeyi oluşturduğu görülmektedir.

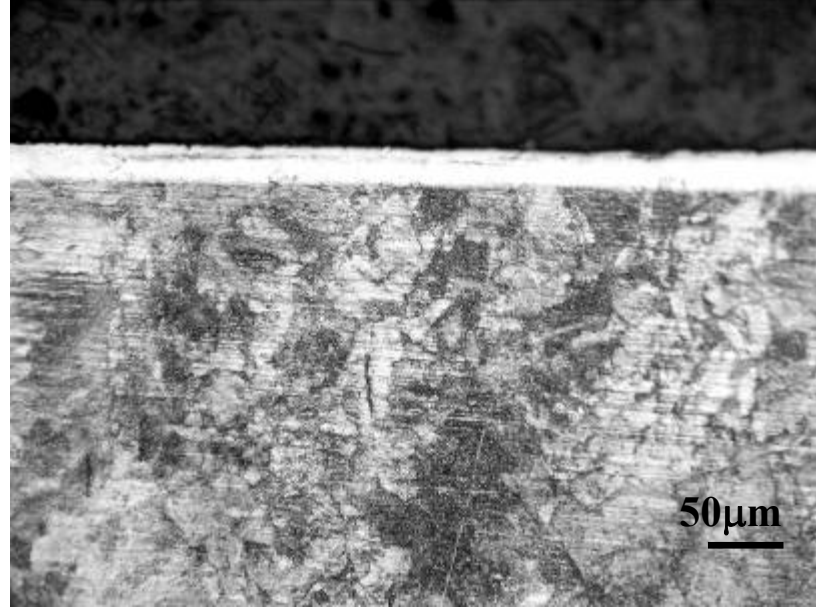


Şekil 8.8.a 12F numuneye ait optik mikroyapısı (20x)

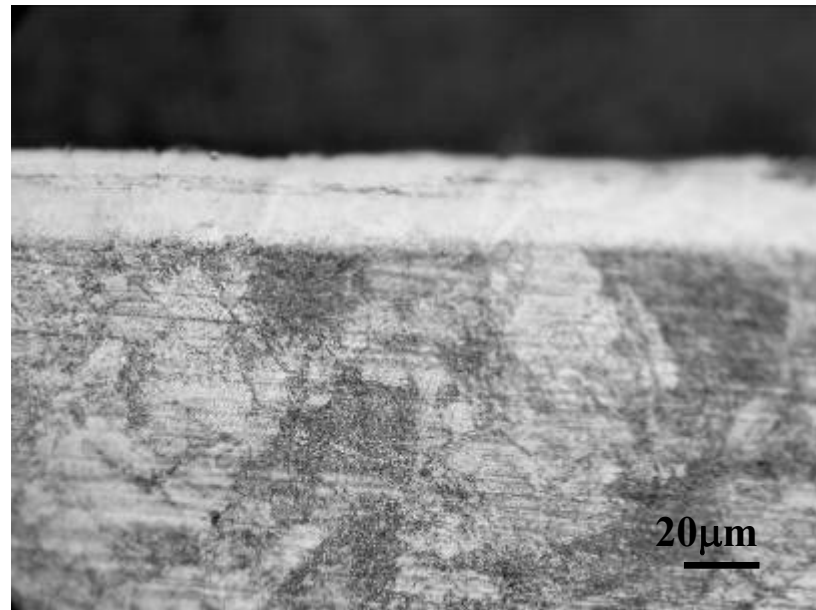


Şekil 8.8.b. 12F numuneye ait optik mikroyapısı (50X)

Şekil 8.9.a ve 8.9.b ‘ de aynı numuneye ait farklı büyütmelerde ki optik mikroyapı fotoğrafları verilmiştir. Nozul numune mesafesi 30 mm, pil kapasitesi 500 μ F ve 30 pulse uygulanmış olan 13F numunesini şekil8.8’deki 12F numunesi ile karşılaştırsak; artan pulse sayısı tabaka kalınlığında artışa neden olmuştur homojen bir modifikasyon yüzeyi oluşturduğu görülmektedir.

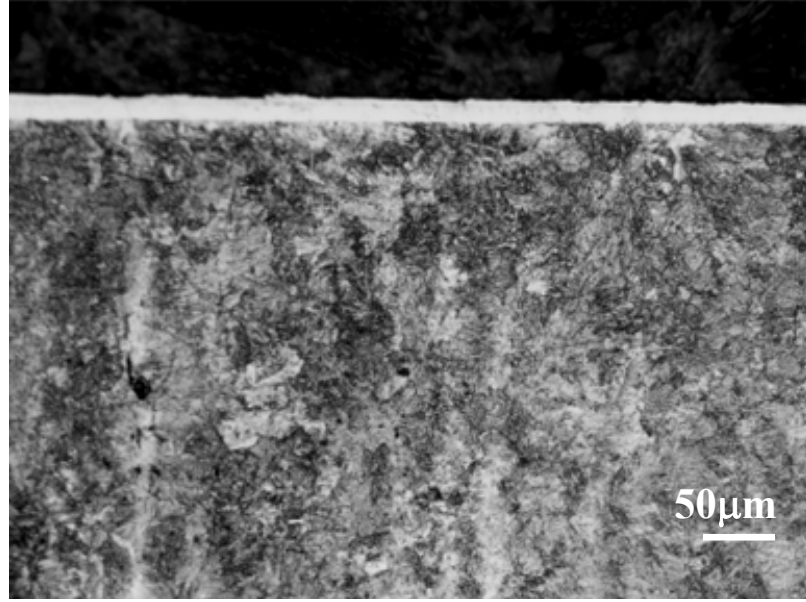


Şekil 8.9.a 13F numuneye ait optik mikroyapısı (20X)

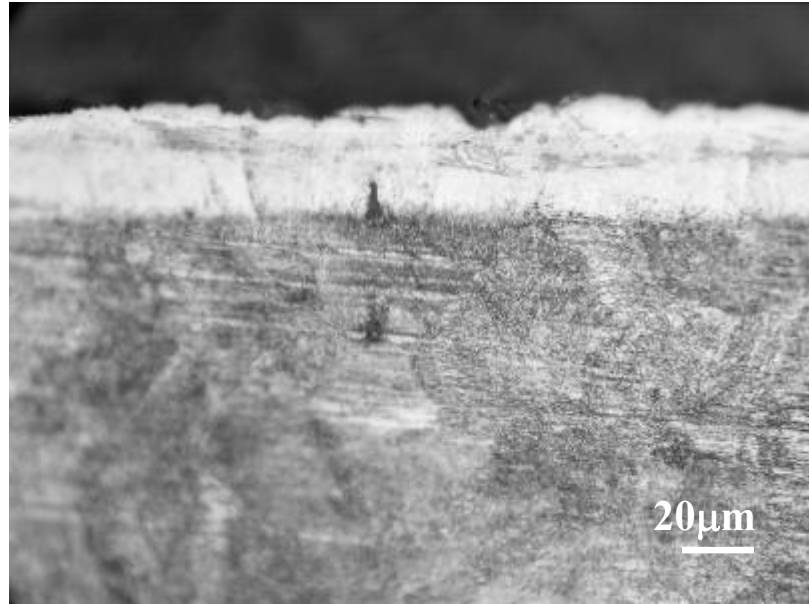


Şekil 8.9. b. 13F numuneye ait optik mikroyapısı (50X)

Şekil 8.10.a ve 8.10.b 'de de aynı numuneye ait farklı büyütmelerde ki optik mikroyapı fotoğrafları verilmiştir. Modifiye edilen yüzey, yüksek büyütmelelerde alınmış optik mikroyapı fotoğraflarında homojen bir yüzey oluşturduğu görülmektedir.



Şekil 8.10.a 14F numuneye ait optik mikroyapısı (20X)

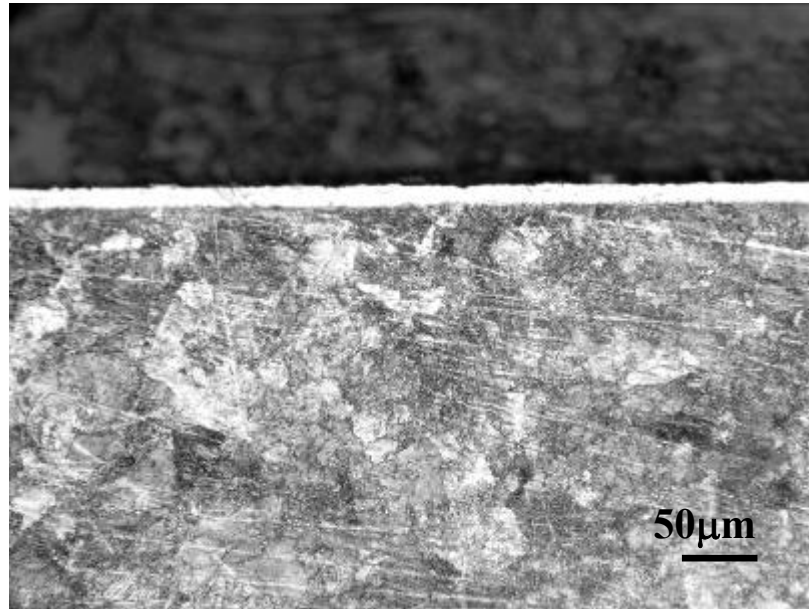


Şekil 8.10.b. 14F numuneye ait optik mikroyapısı (50X)

Şekil 8.11 ve 8.12’de nozul numune arası mesafesi 50 mm, pil kapasitesi 500 μ F olan fakat pulse sayıları birbirinden farklı (n=20, n=40)olan iki numunelere ait mikroyapı fotoğrafları verilmiştir.

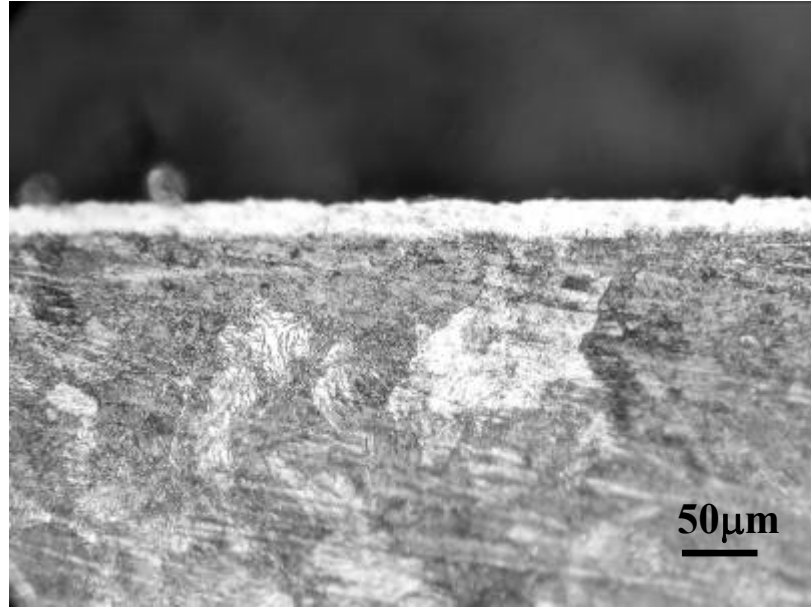


Şekil 8.11 17F numuneye ait optik mikroyapısı

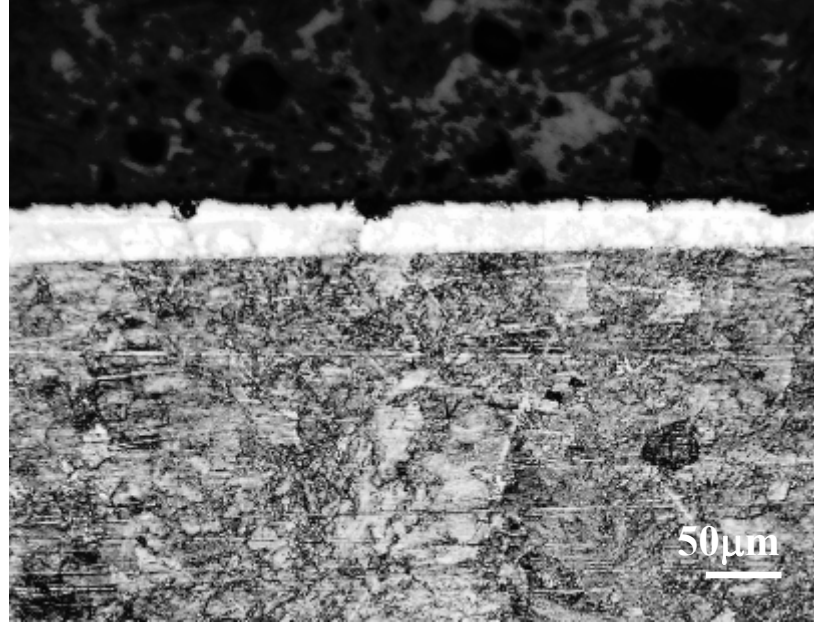


Şekil 8.12 19F numuneye ait optik mikroyapısı

Şekil 8.13 ve 8.14 ' de eşit sayıda pulse (n=50) uygulanmış, nozul ile numune arası mesafeleri farklı (şekil sırasına göre H=50mm, H=60mm) olan numunelere ait optik mikroyapı fotoğrafları verilmiştir. Nozul ile numune arasındaki mesafe artınca elde edilen modifikasyon tabakasının daha kalın olduğu görülmüştür. 20F numunesinin modifikasyon kalınlığı $25\mu\text{m}$ ve 5F numunesinin modifikasyon tabakası $35\mu\text{m}$ ölçülmüştür.

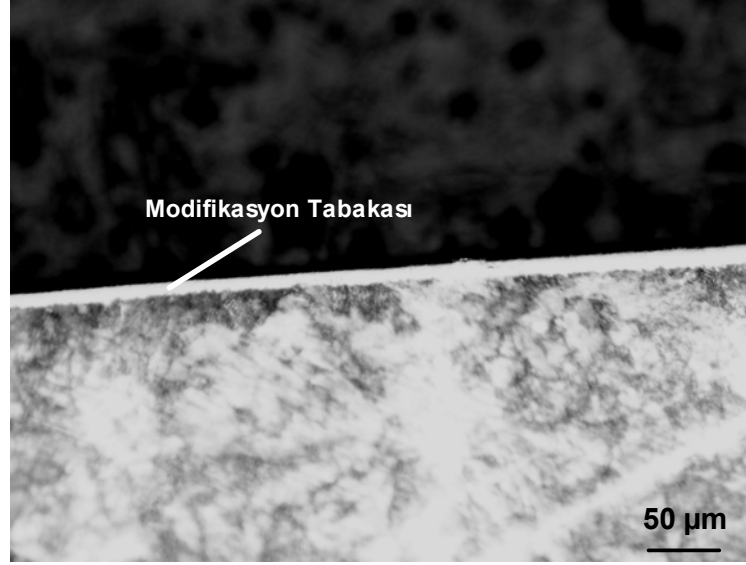


Şekil 8.13 20F numuneye ait optik mikroyapısı



Şekil 8.14 5F numuneye ait optik mikroyapısı

Bir diğ er deney grubu olan, pil kapasitesi farklı ($600\mu\text{F}$) G serisi numunelerden alınan optik mikroyapıları aşağıda verilmiştir. Yapılan analizler sonrasında F serisi numunelerinden farklı mikrosertlik değerleri ve XRD, EDS analizlerinde de değişiklikler gözlemlenmiştir. Artan pil kapasitesi yüzeyde daha çok ısınmaya neden olarak yüzeyde yeniden kristalleşme tavlamaşı meydana getirmiş olabilir. Bu nedenle modifiye edilmiş alanda tane boyutu biraz daha artmış olacağından sertlik değerinde dūřuř gözlemlenmiş olabilir. Bu farklar ilerleyen bōlūmlerde detaylı olarak açıklanacaktır Şekil 8.15 ‘de 1G numunesine ait farklı bōyūtmelerdeki mikroyapı fotoğrafları verilmiştir. 10 pulse uygulanmış bu numunede çok ince bir modifikasyon tabakası gōrūlmektedir.

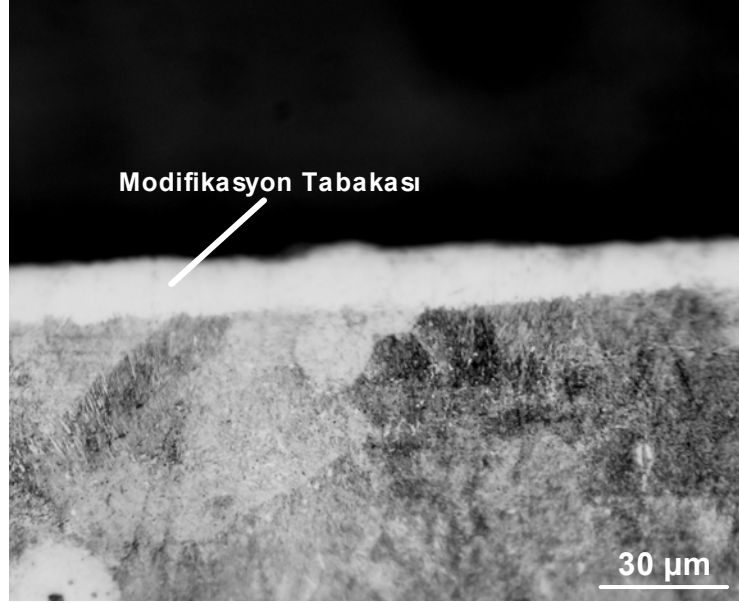


Şekil 8.15.a 1G numuneye ait optik mikroyapısı (x20)

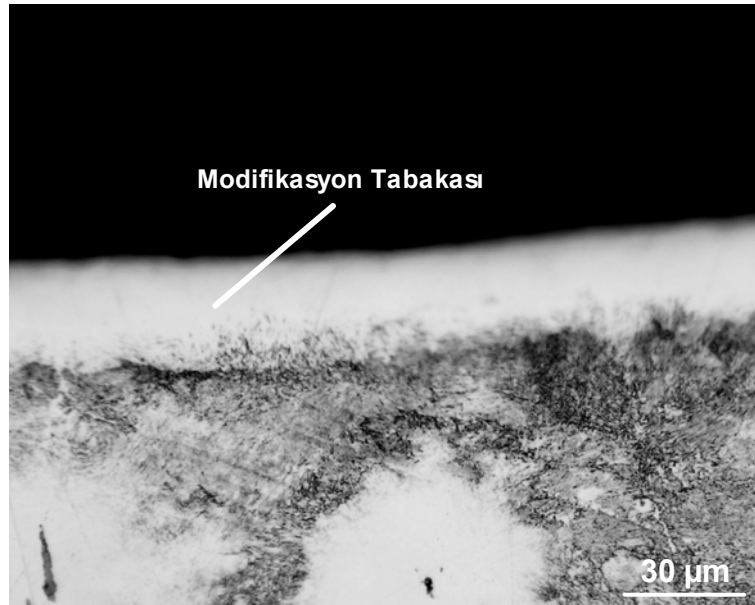


Şekil 8.15 b 1G numuneye ait optik mikroyapısı (x100)

Şekil 8.16 ve 8.17 'de farklı parametrelerde modifiye edilmiş numunelerden çekilmiş optik mikroyapı fotoğrafları verilmiştir. Nozul ile numune arası mesafeleri 60mm, pil kapasitesi 600 μ F olan 10pulse ve 30 pulse uygulanmış numunelerden, 30 pulse uygulanmış olan numunenin modifikasyon tabakasının daha yüksek olduğu görülmüştür.

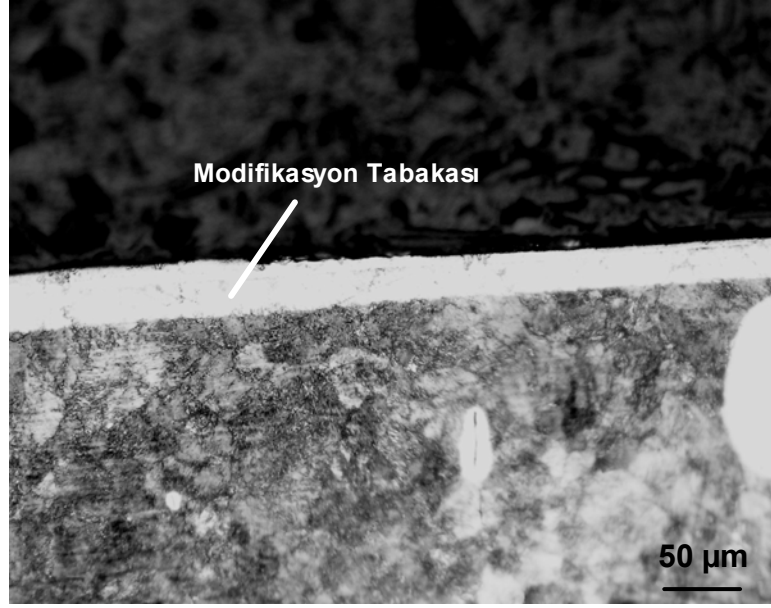


Şekil 8.16 1G numuneye ait optik mikroyapısı

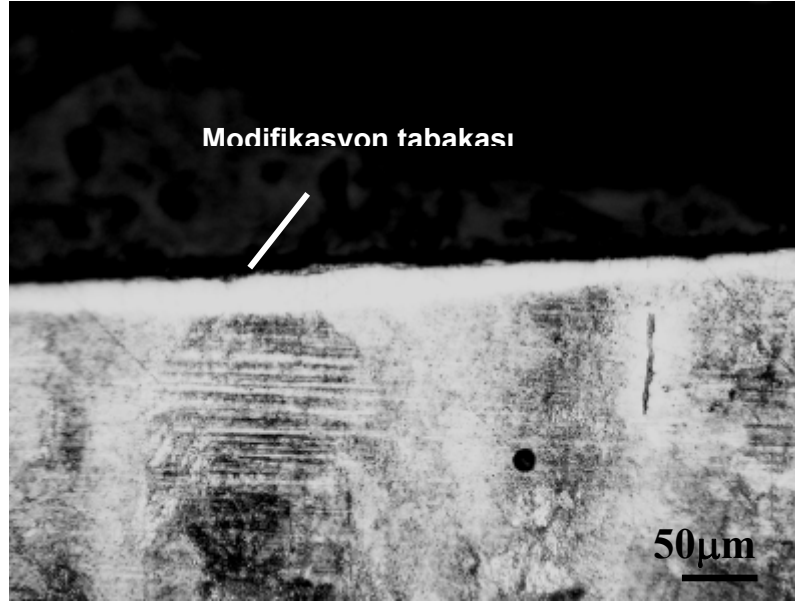


Şekil 8.17 3G numuneye ait optik mikroyapısı

Şekil 8.18 ve 8.19’da farklı parametrelerde modifiye edilmiş 6G ve 7G numunelerinin çekilmiş optik mikroyapı fotoğrafları verilmiştir. Nozul ile numune arası mesafeleri 50mm, pil kapasitesi 600 μF olan 10pulse ve 20pulse uygulanmıştır.

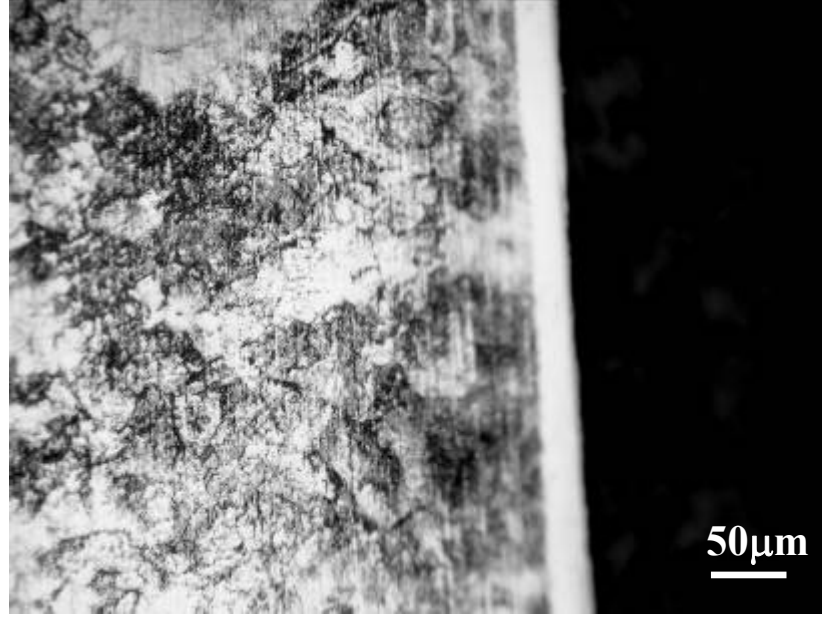


Şekil 8.18 6G numuneye ait optik mikroyapısı

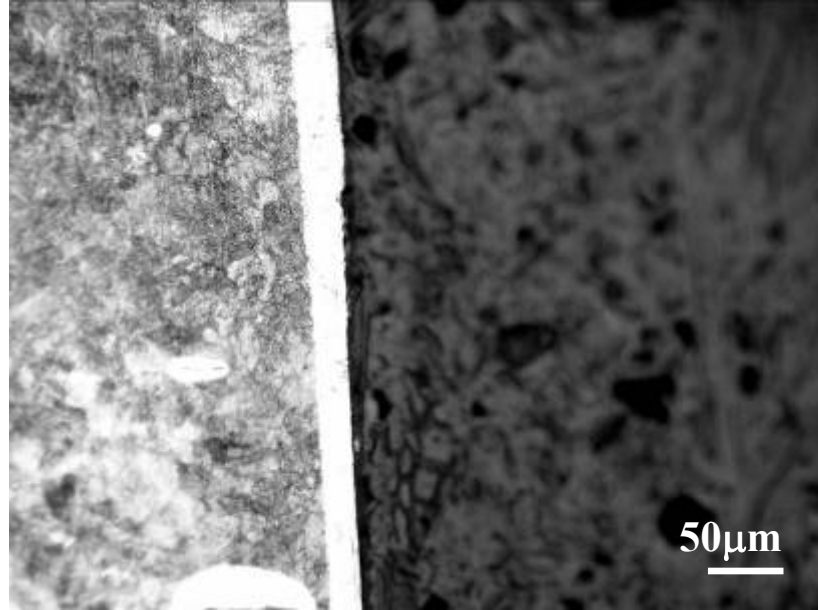


Şekil 8.19 7G numuneye ait optik mikroyapısı

Şekil 8.20 ve 8.21 'de farklı parametrelerde modifiye edilmiş numunelerden çekilmiş optik mikroyapı fotoğrafları verilmiştir. Nozul ile numune arası mesafeleri 40mm, pil kapasitesi 600 μ F olan 10pulse ve 50 pulse uygulanmıştır.

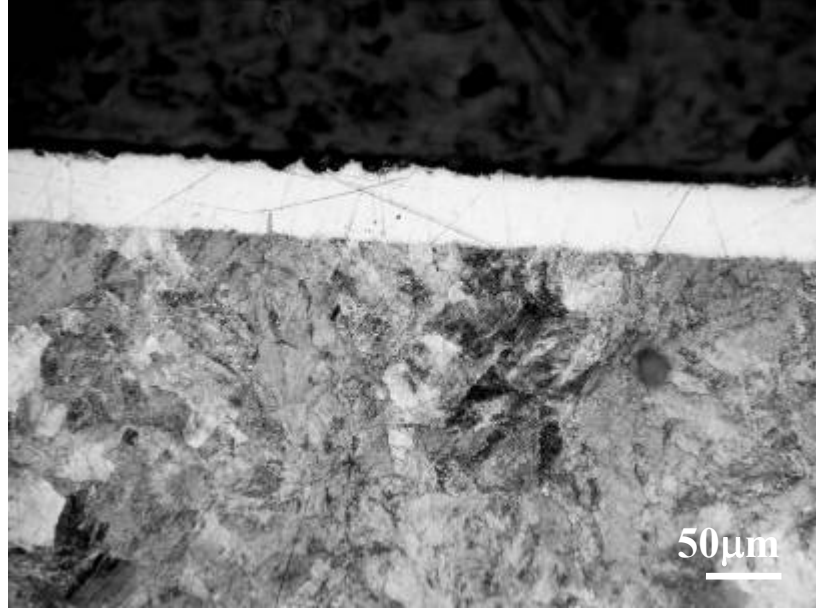


Şekil 8.20 11G numuneye ait optik mikroyapısı



Şekil 8.21 15G numuneye ait optik mikroyapısı

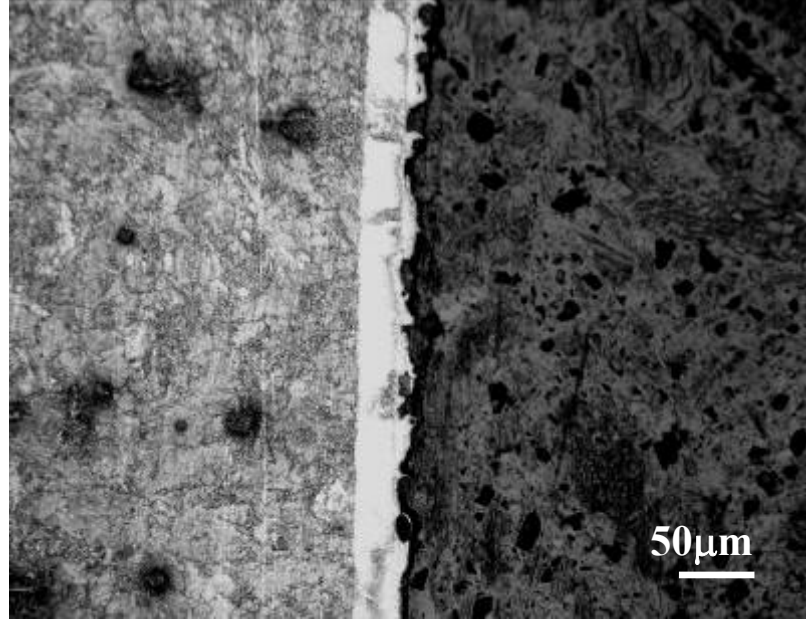
Şekil 8.22-8.24 'de farklı parametrelerde modifiye edilmiş numunelerden çekilmiş optik mikroyapı fotoğrafları verilmiştir. Nozul ile numune arası mesafeleri 30mm, pil kapasitesi 600µF olan 10pulse, 20 pulse, 30pulse uygulanmıştır.



Şekil 8.22 16G numuneye ait optik mikroyapısı



Şekil 8.23 17G numuneye ait optik mikroyapısı



Şekil 8.24 18G numuneye ait optik mikroyapısı

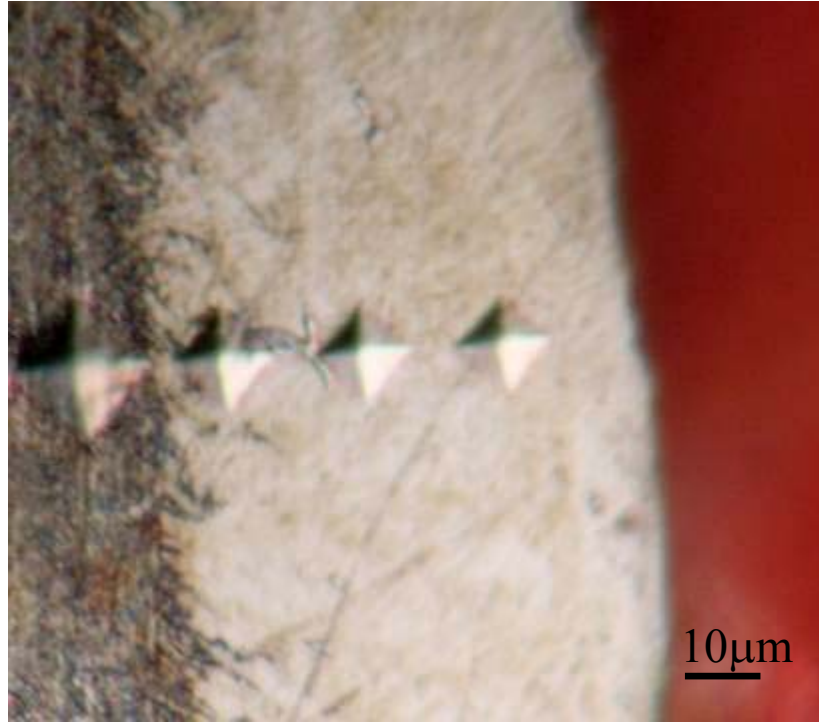
Numuneler pil kapasitesine göre incelendiğinde, modifikasyon tabakasının kalınlığında bir değişim gözlemlenmemiştir. Pil kapasitesi arttıkça yüzeyde daha fazla ısınmaya sebep olduğundan meydana gelen yeniden kristalleşme tavlama tanelerin irileşmesine neden olmuştur. Modifikasyon tabakasındaki tane büyümesi sertlik de düşüşe yol açmıştır.

Nozul-numune arasındaki değişime göre numuneler incelendiğinde, nozul-numune arası mesafe azaldığında numune yüzeyinde aşırı ısınma meydana geldiği için tanelerin irileşmesi gözlemlenmiş olabilir. Bu ısınma yüzeyde tavlama neden olmuş olabilir.

8.2 Mikro Sertlik Sonuçları

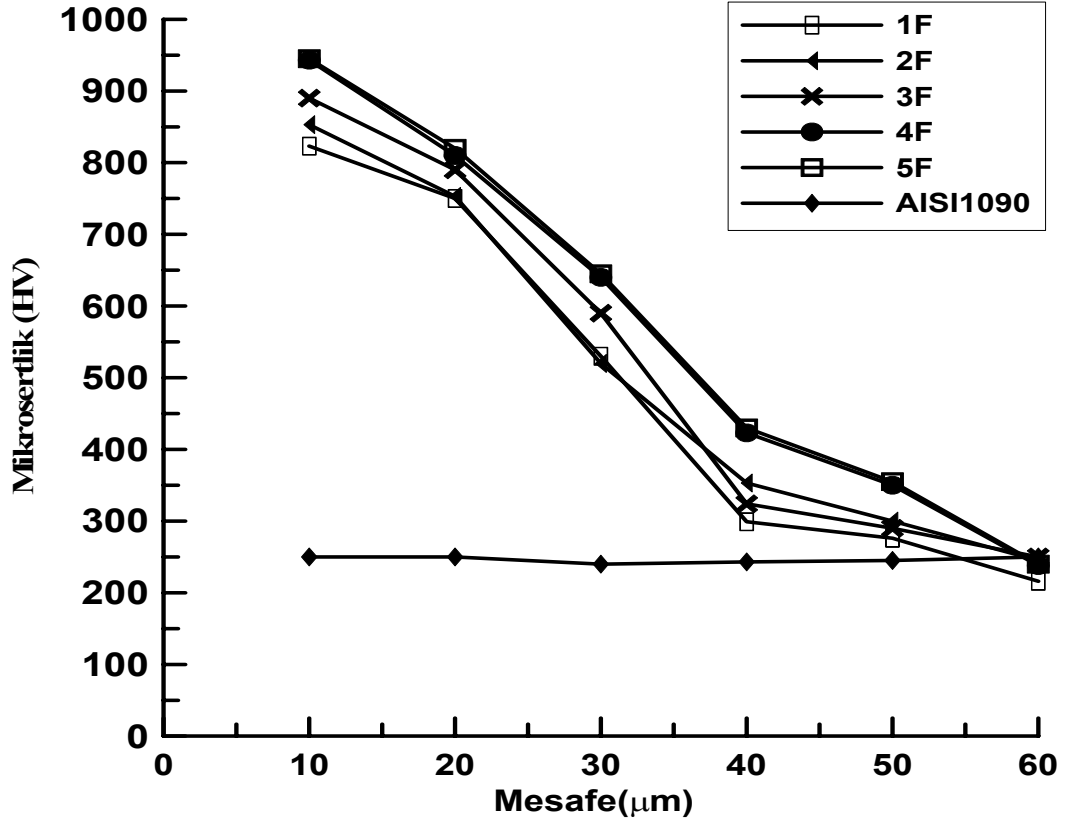
Tablo 7.1 ve 7.2 'de verilmekte olan numunelerden artan pulse sayısına bağlı olarak mikrosertlik verileri alınmış ve meydana gelen değişim gözlemlenmiştir. Aynı şekilde 10μm aralıklarla alınmış mikrosertlik verileri sonrasında sıra sertlik profilleri çıkarılmıştır. 10μm'den 60μm'ye kadar sertlik verileri alınmıştır. Şekil 8.25'de sıra sertlik profilli alınmış bir numuneye ait optik mikroyapı fotoğrafları görülmektedir. İzlerin modifikasyon alanında daha küçük olduğu dolayısıyla sertlik değerlerinin

daha yüksek olduğu, modifikasyon tabakasından çelik içerisine doğru ilerledikçe iz çapının büyüdüğü görülmektedir. Pulse plazma işlemi uygulanmamış AISI1090 çeliklerinin mikrosertlik değerinin 240HV olduğu söylenebilir. Alınan sıra sertliklerde 50 μ m ve 60 μ m den sonra pulse plazma işleminden etkilenmemiş alana girilmektedir. Çünkü uygulanan işlem sonrasında çelik de maksimum 40 μ mluk modifiye tabakası elde edilmiştir.

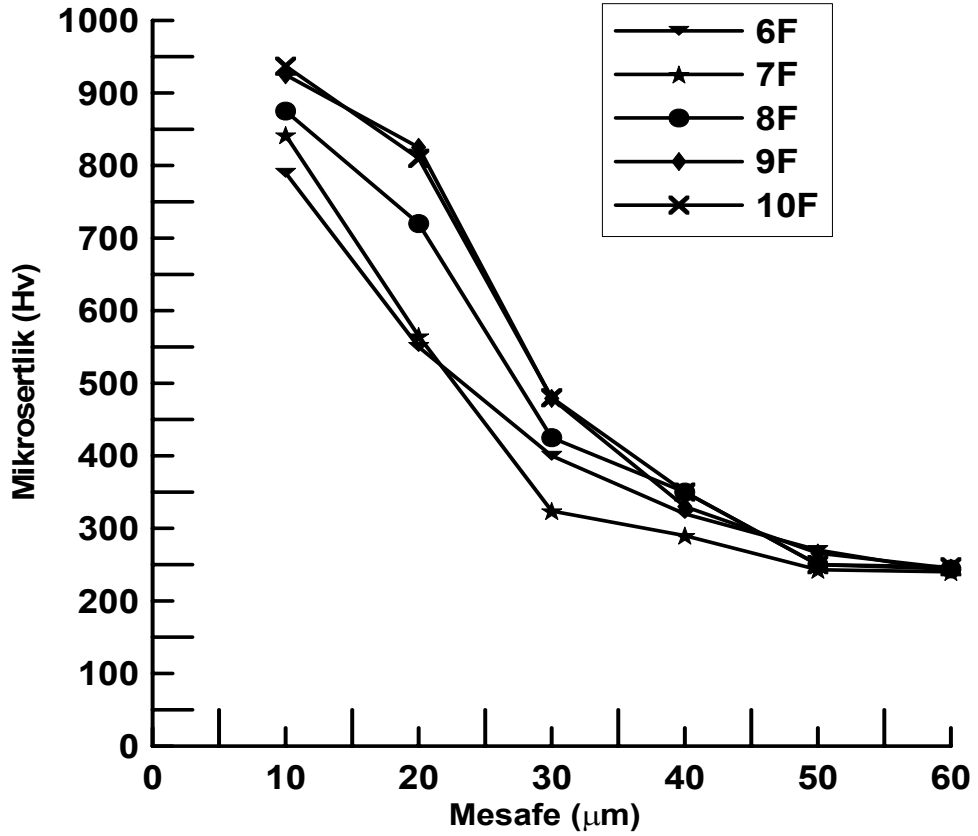


Şekil 8.25 Sıra sertlik profili alınmış bir numunenin mikroyapısı

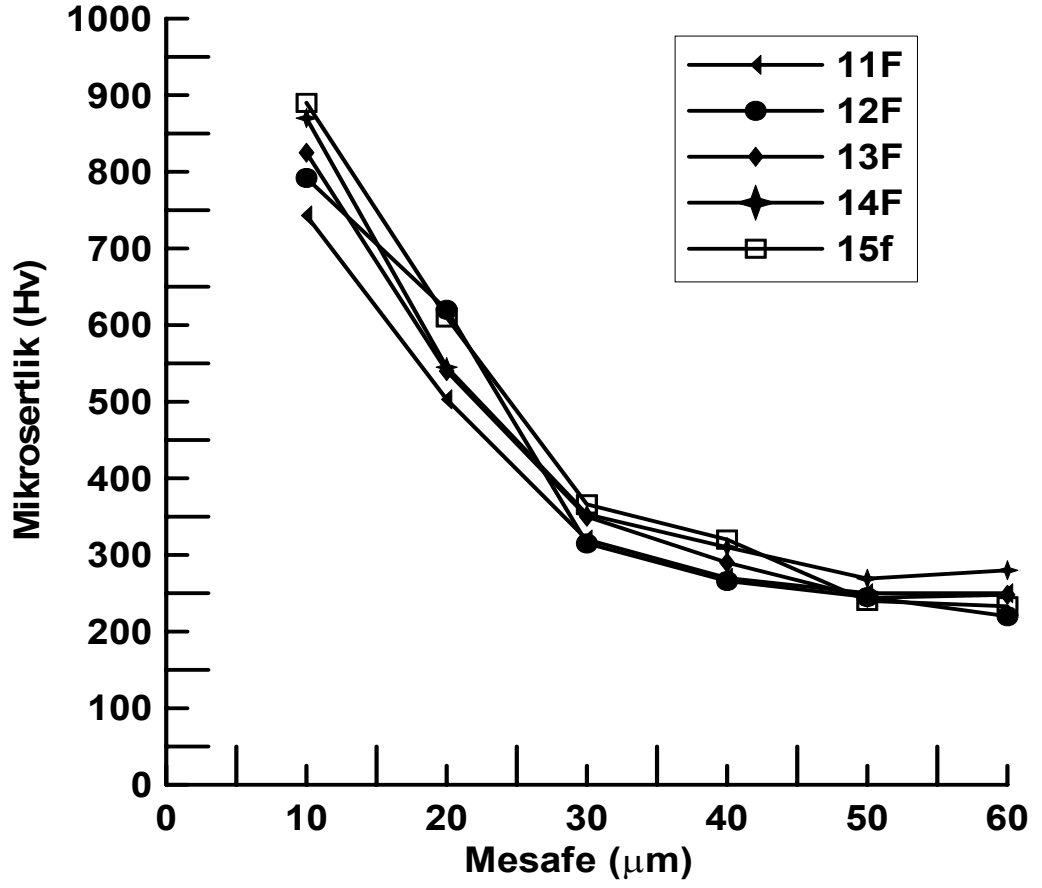
Şekil 8.26' da görülmekte olan F grubuna ait numunelerden nozul numune mesafesi aynı (H=60mm) olan, aynı pil kapasitesinde (C=500 μ F) fakat farklı pulseler da (n=10-20-30-40-50) modifiye edilmiş numuneler ait sertlik profilleri çıkarılmıştır. Maksimum sertliğe 5F (H=60mm, C=500 μ F, n=50) numunesinde ulaşılmıştır. 5F numunesinin sertlik değerinde %280'lik bir artış görülmüştür. Pulse sayısı azaldıkça elde edilen sertlik verilerinde azalma olduğu görülmüştür. 5 tip numune için elde edilen modifikasyon tabakası ortalama 30 μ m civarındadır. Grafikten de görüleceği gibi 40 μ m den sonra altlığa geçildiği içim sertlik değerleri hızla düşmüştür. AISI 1090 hiç işlem görmemiş çeliklere ait sıra sertlik profilini vermektedir.



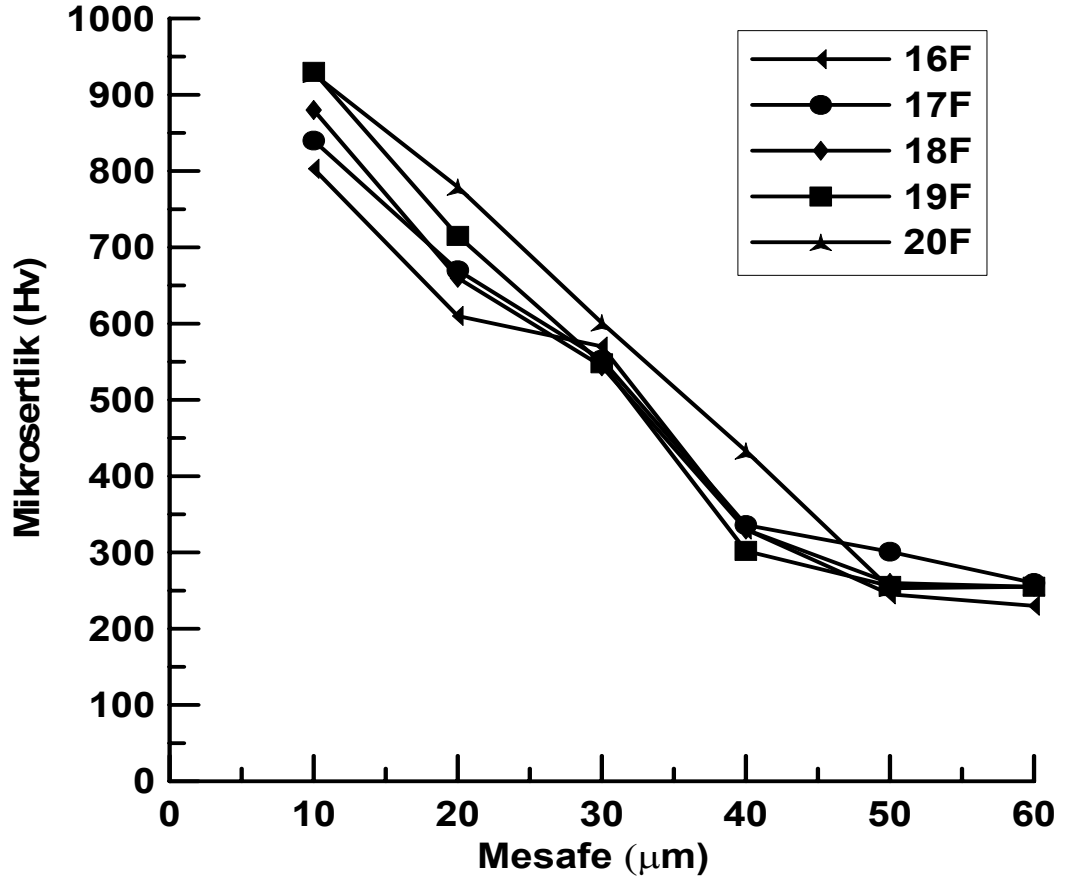
Şekil 8.26 1F, 2F, 3F, 4F, 5F numunelerinin yüzeyden içeri doğru sertlik profilleri



Şekil 8.27 6F, 7F, 8F, 9F, 10F numunelerinin yüzeyden içeri doğru sertlik profilleri



Şekil 8.28 11F, 12F, 13F, 14F, 15F numunelerinin yüzeyden içeri doğru sıra sertlik profilleri

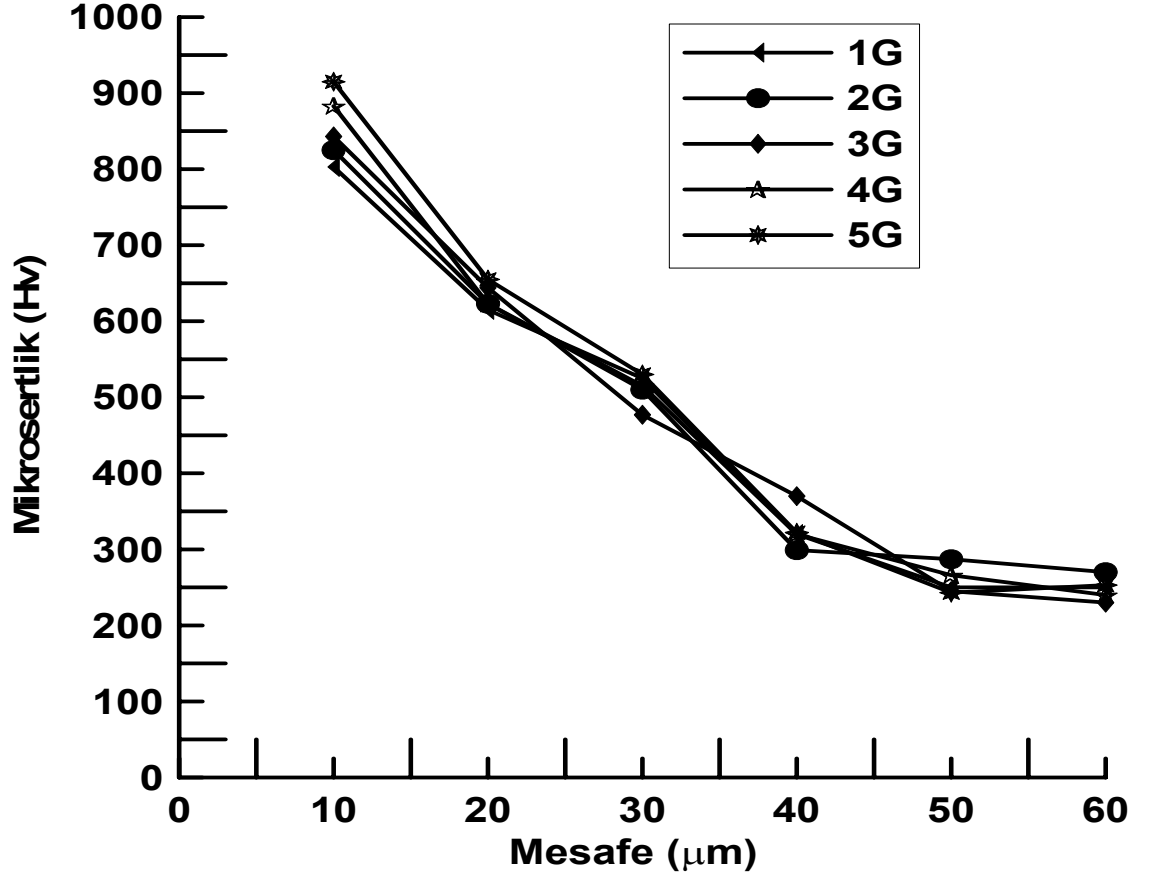


Şekil 8.29 16F, 17F, 18F, 19F, 20F numunelerinin yüzeyden içeri doğru sertlik profilleri

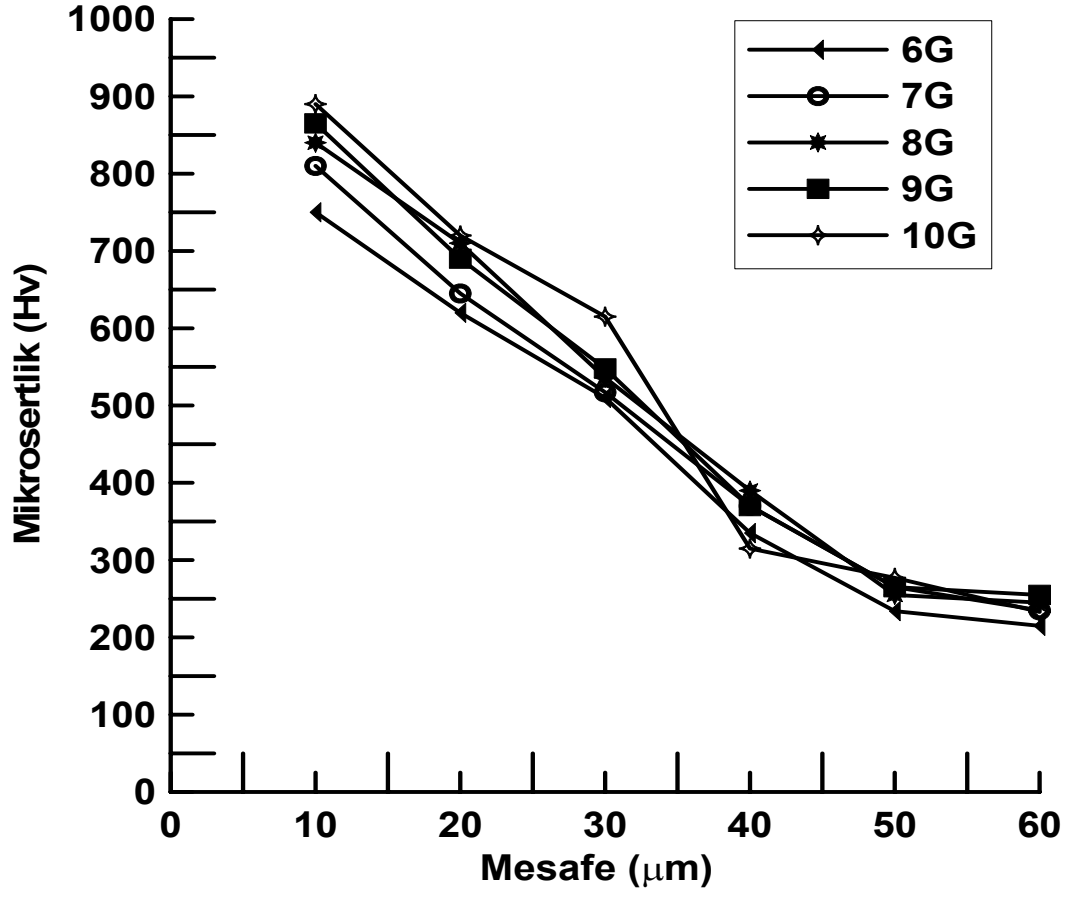
Şekil 8.27-8.29 'da da F grubuna ait, artan pulse sayısına göre modifiye edilmiş çeliklerden alınan sıra sertlik profilleri çıkarılmıştır. 10μm aralıklar ile yüzeyden çelik içine doğru 60μm olana kadar 6 noktadan sıra sertlik profilleri çıkarılmıştır. 50 pulse (10F, 15F, 20F) uygulanmış çeliklerden elde edilen mikrosertlik değerlerinin maksimum olduğu, 10 pulse (6F, 11F, 16F) uygulanmış çeliklerden elde edilen mikrosertlik değerlerinin ise minimum olduğu görülmektedir. Modifiye edilen tabakadan (ortalama 30μm) alınmış sertlik değerleri çelik iç yüzeyinden elde edilmiş sertlik değerlerine göre minimum 3 kat artmış olduğu görülmektedir.

G grubuna ait (C=600 μF) numunelerden alınan sıra sertlik profilleri şekil 8.30-8.33'de verilmiştir. G grubu numunelerin pil kapasitesi 600μF olup farklı nozul numune arası mesafede farklı sayıda pulse uygulanmıştır. Ölçülen sertlik değerleri göstermiştir ki; F grubu numunelerle karşılaştırıldığında, biraz daha düşük sertlik değerleri vermiştir. Bunun sebebi atan pil kapasitesi olabilir. Artan pil kapasitesiyle yüzeyde tavlama oluşumuna ve yeniden kristalleşmeye neden olarak tanelerin biraz

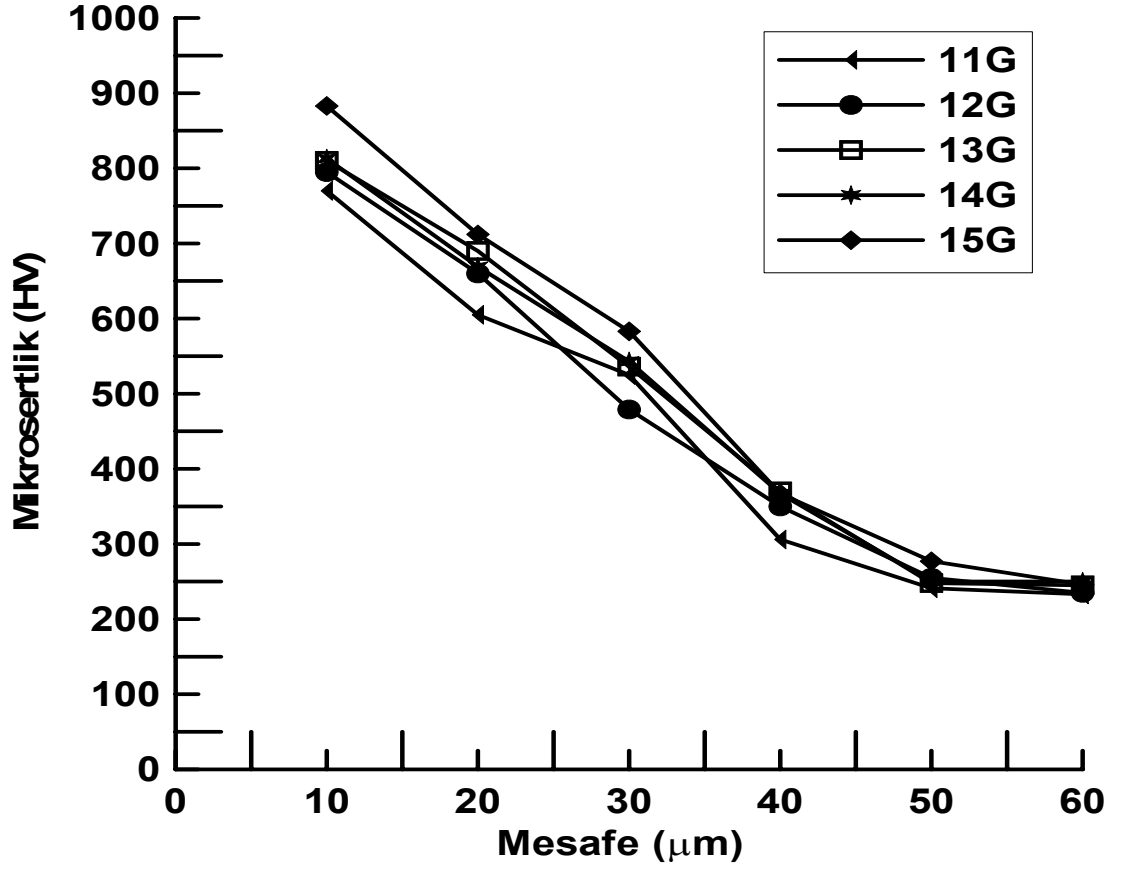
daha büyümesine dolayısıyla tane sınır alanının azalmasıyla sertliğin düşüşüne sebep olmuş olabilir.



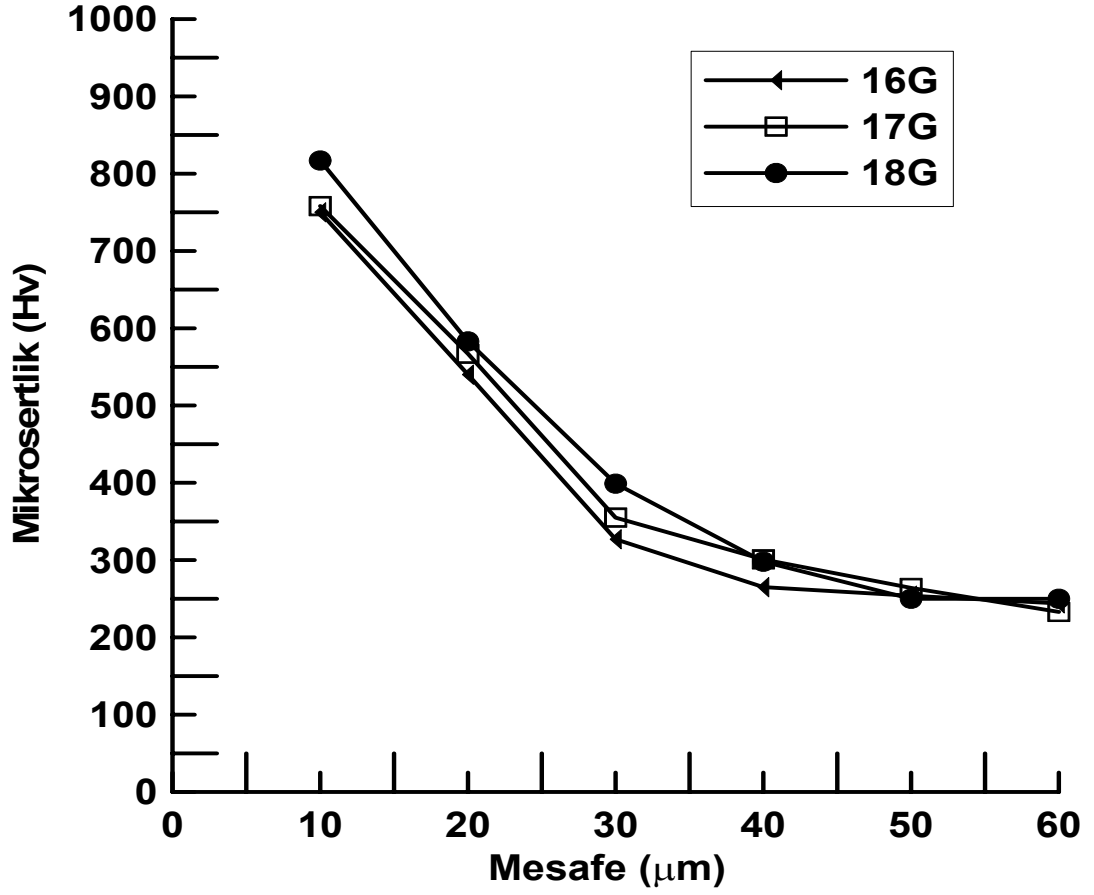
Şekil 8.30 1G, 2G, 3G, 4G, 5G numunelerinin yüzeyden içeri doğru sertlik profilleri



Şekil 8.31 6G, 7G, 8G, 9G, 10G numunelerinin yüzeyden içeri doğru sertlik profilleri

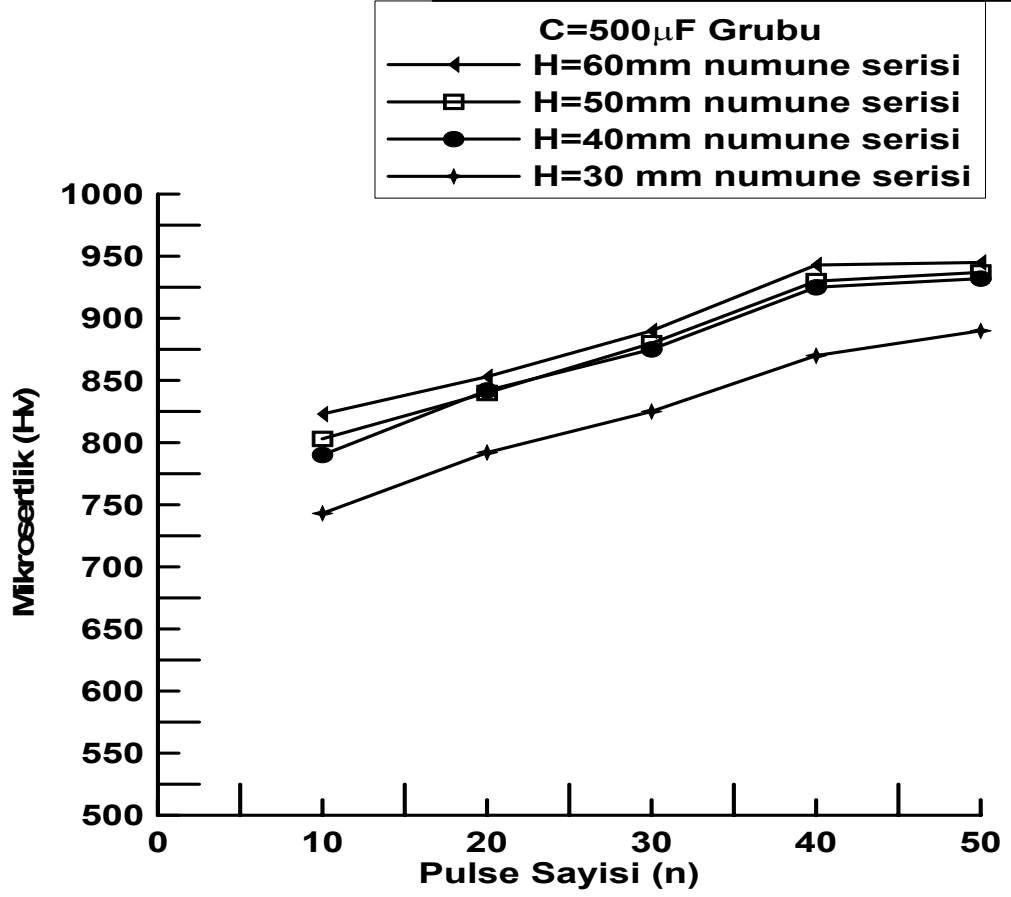


Şekil 8.32 11G, 12G, 13G, 14G, 15G numunelerinin yüzeyden içeri doğru sertlik profilleri

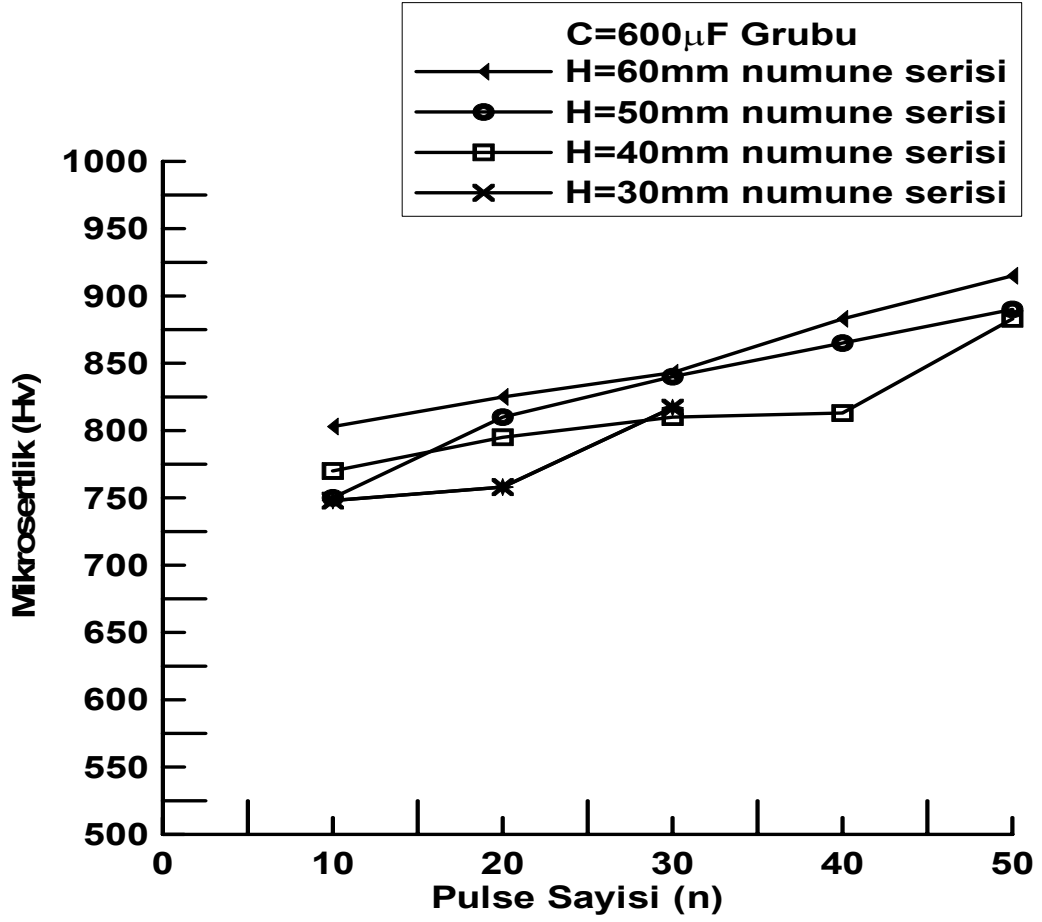


Şekil 8.33 16G, 17G, 18G numunelerinin yüzeyden içeri doğru sertlik profilleri

Şekil 8.34 ve 8.35 'de farklı pil kapasitesine sahip F ve G grubu numuneleri için değişen nozul numune mesafesine göre pulse sayısı-mikrosertlik eğrileri alınmıştır. Pil kapasitesi artınca ve nozul numune arası mesafe azalınca alınan sertlik profillerinin daha düşük (720HV) olduğu görülmüştür. Bunun nedeni nozul ile numune arasındaki mesafe azalınca yüzeyde meydana gelen ısınmadan dolayı yeniden kristalleşme tavlama tanelerin irileşmesine sebebiyet vermiş olabilir. ...



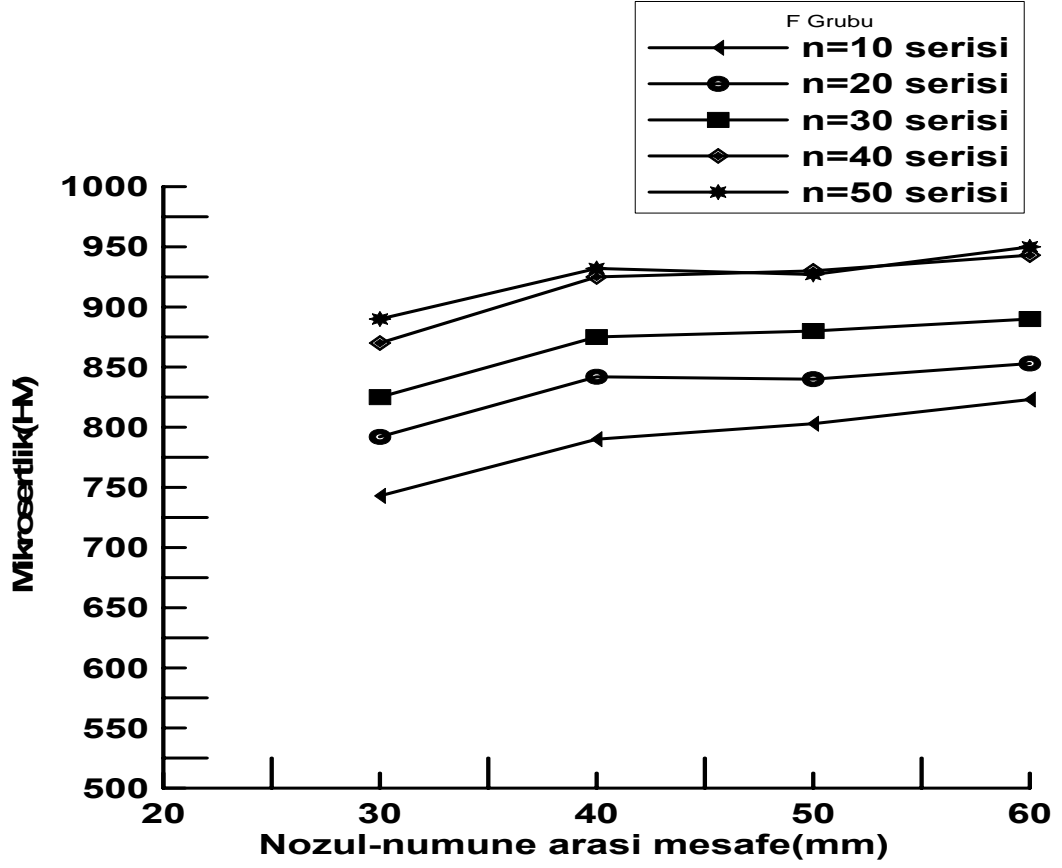
Şekil 8.34 F grubu numunelerin uygulanan pulse sayısına bağlı mikrosertlik verileri



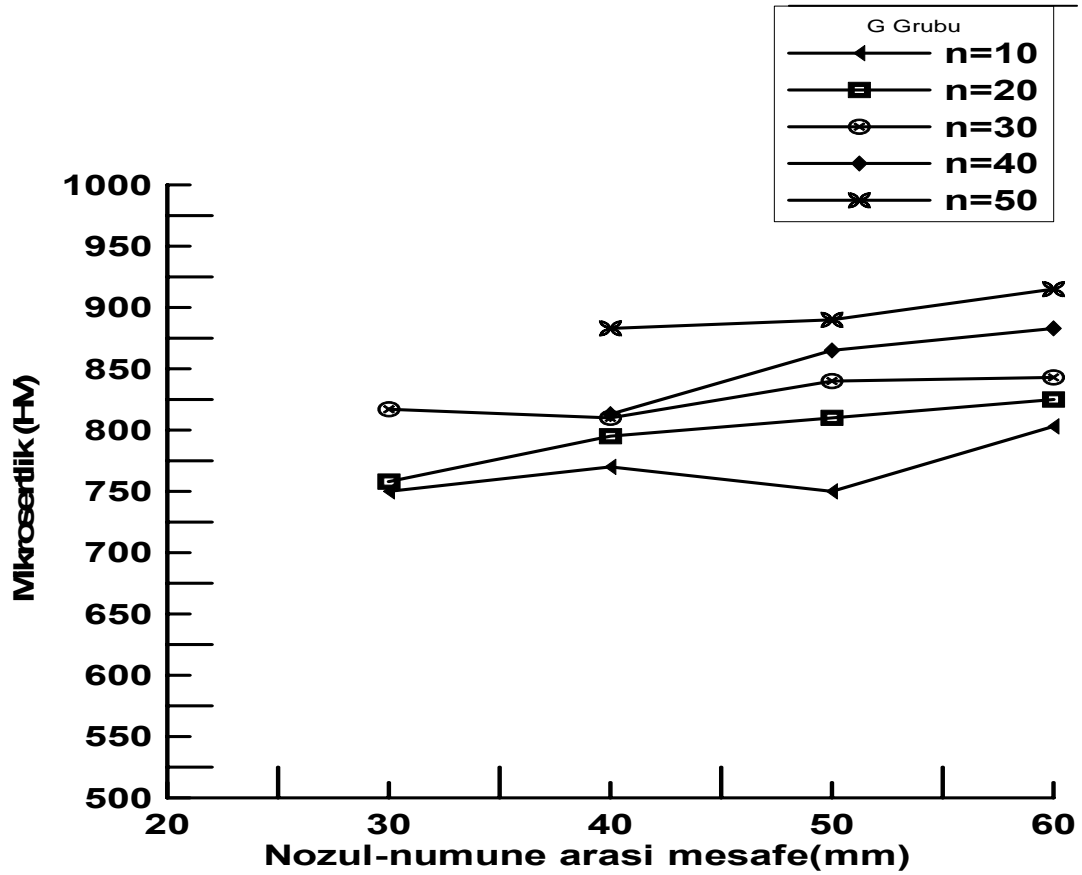
Şekil 8.35 G grubu numunelerin uygulanan pulse sayısına bağlı mikrosertlik verileri

Şekil 8.36 ve 8.37' da F ve G grubu numunelerin nozul numune arası mesafe ilişkisine göre mikrosertlik eğrileri çizilmiştir. Artan nozul-numune arası mesafesi sertlik değerlerinde de artışa neden olmuştur. Yine aynı şekilde mesafe azalınca yüzeyde meydana gelen ısınmadan dolayı tavlama görülmekte ve buna bağlı olarak tane boyutunda büyümelere neden olmuş olabilir. Artan pil kapasitesiyle ve nozul ile numune arasındaki mesafe azalınca G grubu olan 19G ve 20G numunelerinin yüzeylerinde ergime görülmüştür. Kapasitesi 600 μ F olan 30mm nozul ile numune arası mesafe için maksimum 30 pulse uygulanabilir olması sonucuna varılmıştır. Pil kapasitesi düştüğünde aynı sorunla karşılaşılmamıştır. Yalnız en düşük sertlik değerleri nozul-numune mesafesi 30 mm olan numunelerden elde edilmiştir. En yüksek sertlik değerleri ise nozul-numune arası mesafesi 60mm olan numunelerden elde edilmiştir. Aynı şekilde nozul-numune mesafesi 50mm (H=50mm) olan numunelerinde sertlik değerleri H=60mm olanlara oldukça yakın olduğu görülmüştür. Sonuç olarak nozul numune arası mesafesi 50mm veya 60 mm olan ve

ortalama 40 pulse uygulanan numunelerden elde edilen sonuçların çok daha iyi olduğu söylenebilir.



Şekil 8.36 F grubu nozul-numune arası mesafe ve mikrosertlik verileri



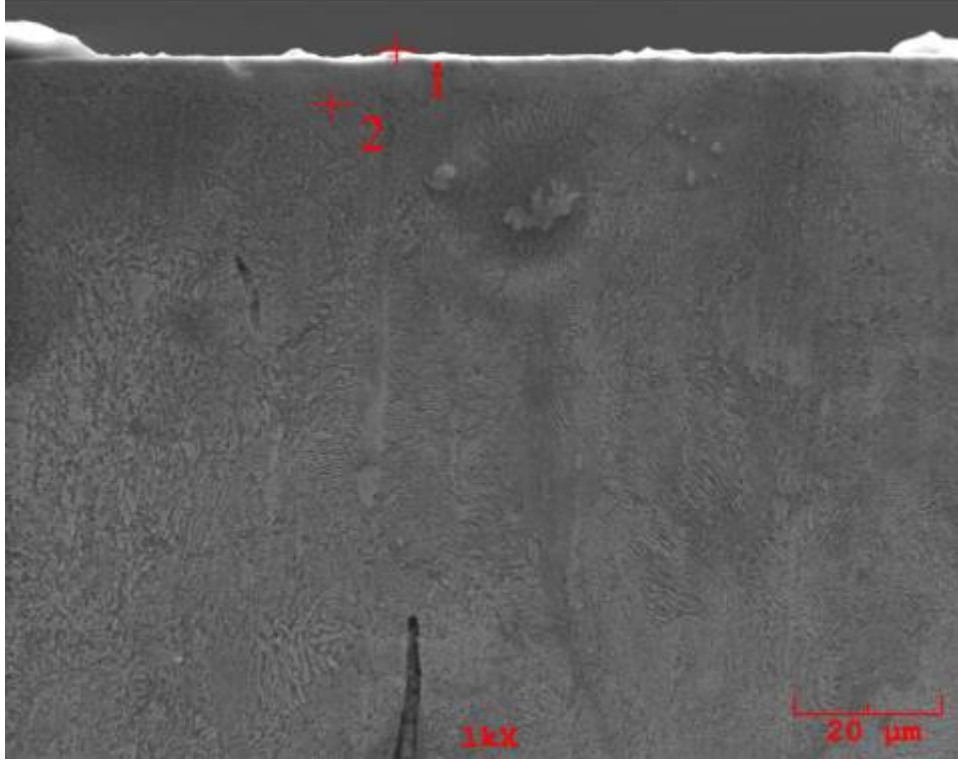
Şekil 8.37 G grubu nozul-numune arası mesafe ve mikrosertlik verileri

Farklı parametrelerde pulse plazma ile modifiye edilmiş AISI 1090 çeliklerinin sertlik profillerinin incelenmesi sonrasında pulse plazma işlemi uygulanmayan çeliklere göre sertlik değerlerinin minimum 3 kat arttığı görülmüştür. Pulse plazma işlemi esnasında çok hızlı yüksek sıcaklıklara çıkarılarak ani soğuması mekanizması sayesinde modifiye edilen çelik yüzeyi, yüzey geliştirme işlemi sayesinde yüksek sertlik değerleri vermesi beklenen bir sonuçtur. Pulse plazma uygulanmış bu numunelerde sertlik değerlerindeki bu fark sertlik profillerinden de açıkça anlaşılmaktadır.

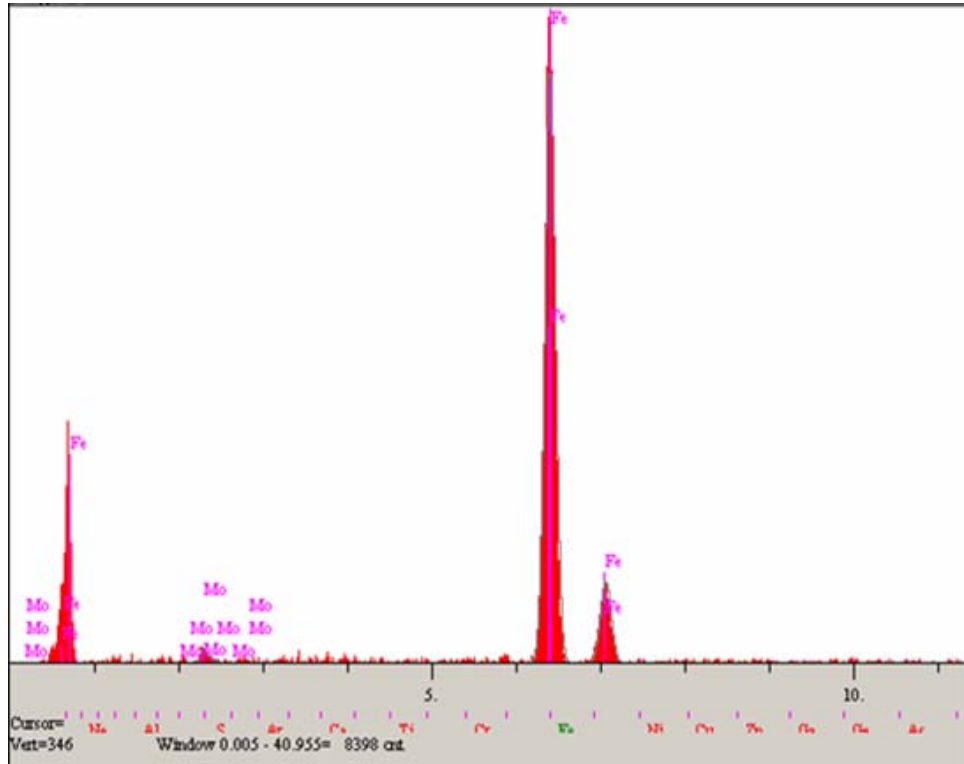
8.3 SEM ve EDS Analiz Sonuçları

Şekil 8.38' de F6 numune yüzeyinin SEM görüntüsü verilmiştir. 10 pulse uygulanmış bu numunede modifikasyon tabaka kalınlığının çok olmadığı görülmekte. 1 nolu bölgeden alınmış EDS analizi sonrasında beyaz olarak görülmekte olan tabakanın molibdenden oluştuğu söylenebilir. 2 nolu bölgede

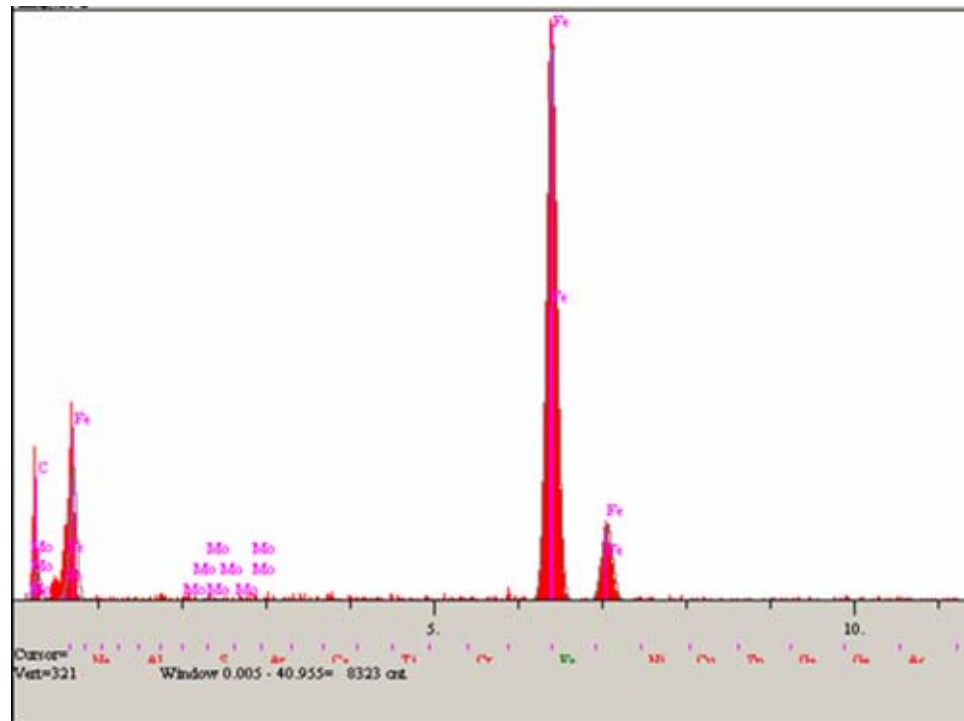
alınan EDS analizinde ise Mo oranının azaldığı görülmekte. 10 pulse uygulandığında yaklaşık 5 µm luk bir tabaka elde edilmiştir. Buda hedeflenen tabaka kalınlığını vermemektedir. Alınan sonuçlara göre 10 pulse in yetersiz olduğu söylenebilir.



Şekil 8.38 F6 numune yüzeyinin SEM görüntüleri (x1000)

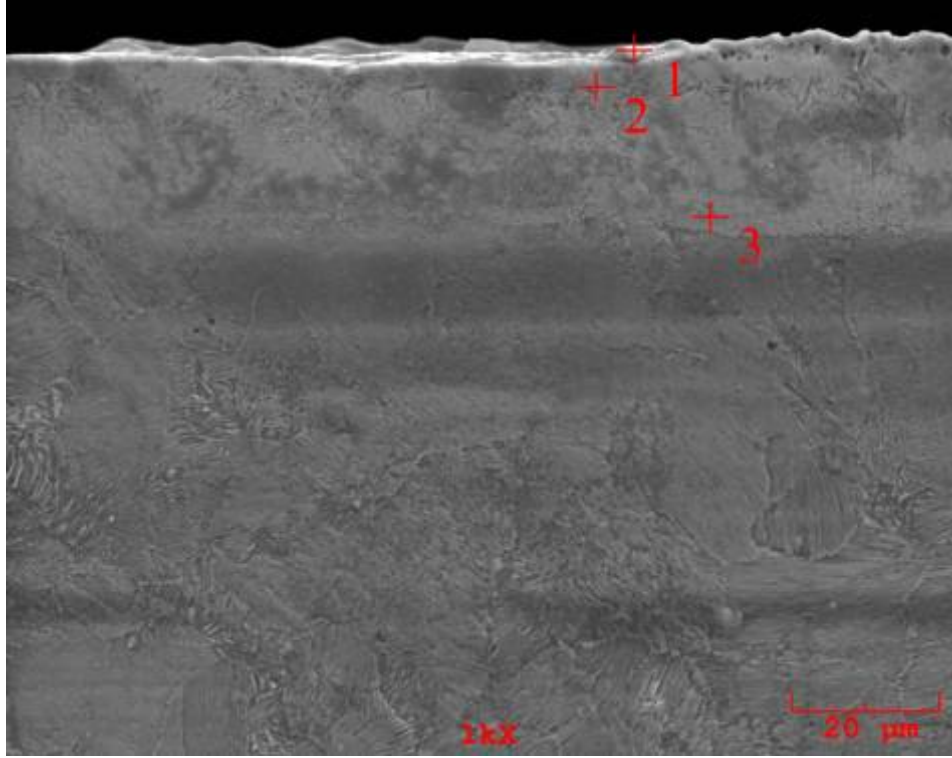


Şekil 8.39.a F6 numunesine ait 1 nolu bölgeden EDS analizi

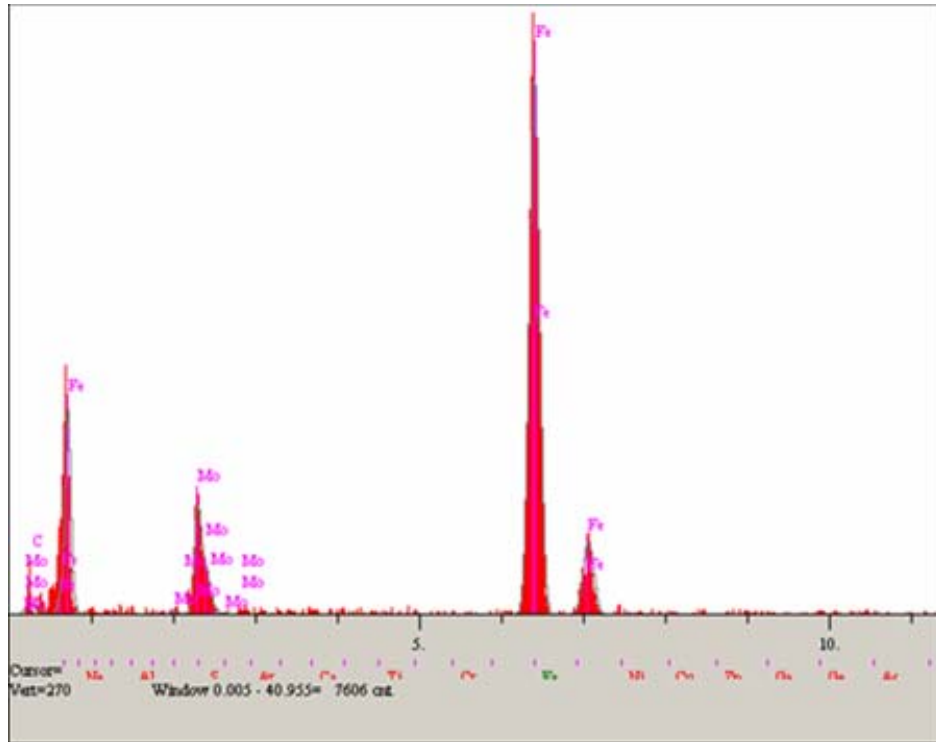


Şekil 8.39. b F6 numunesine ait 2 nolu bölgeden EDS analizi

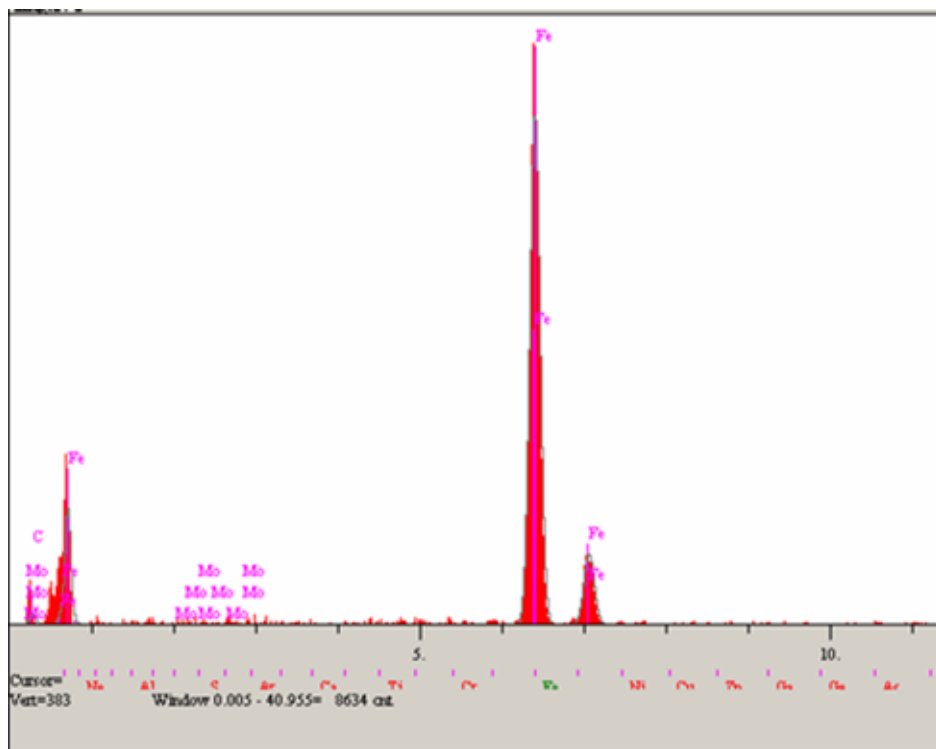
Şekil 8.40'de 30 pulse uygulanmış F8 numunesinin SEM görüntüsü görülmektedir. 20µm'u geçen modifikasyon tabakasından, içeri doğru EDS analizleri alınmıştır. Yüzeyde (1 nolu alanda) yüksek Mo konsantrasyonu elde edilmiştir. Çelik yüzeyinden içeriye doğru Mo konsantrasyonunun azaldığı alınan EDS analizlerinden yorumlanabilir.



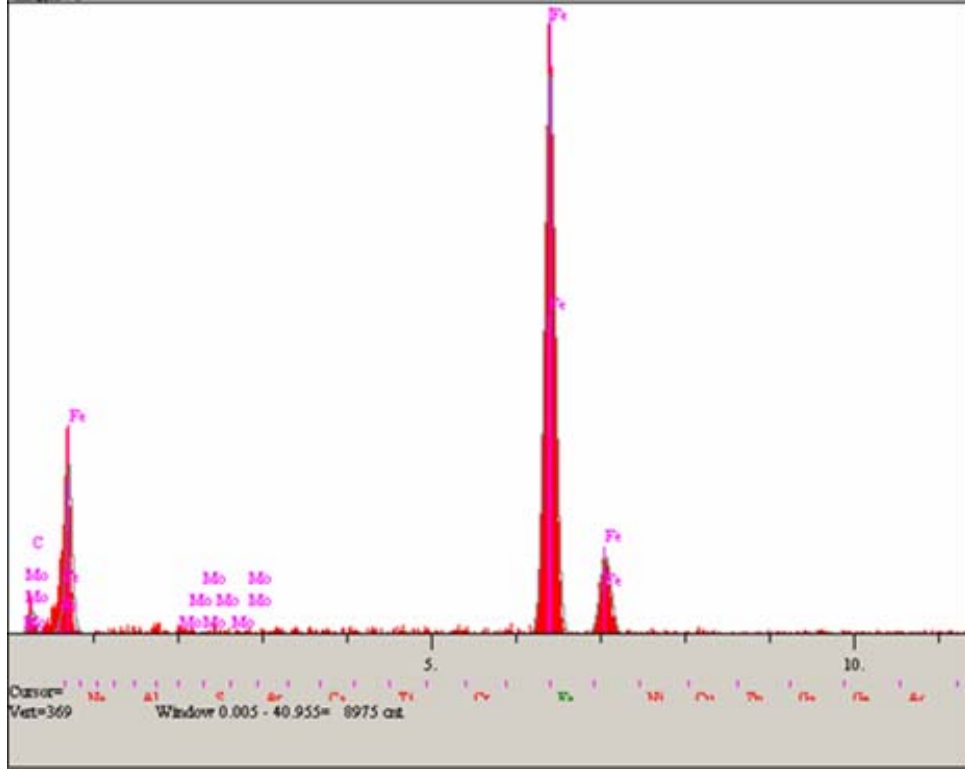
Şekil 8.40 8F numune yüzeyinin SEM görüntüleri (x1000)



Şekil 8.41.a F8 numunesine ait 1 nolu bölgeden EDS analizi

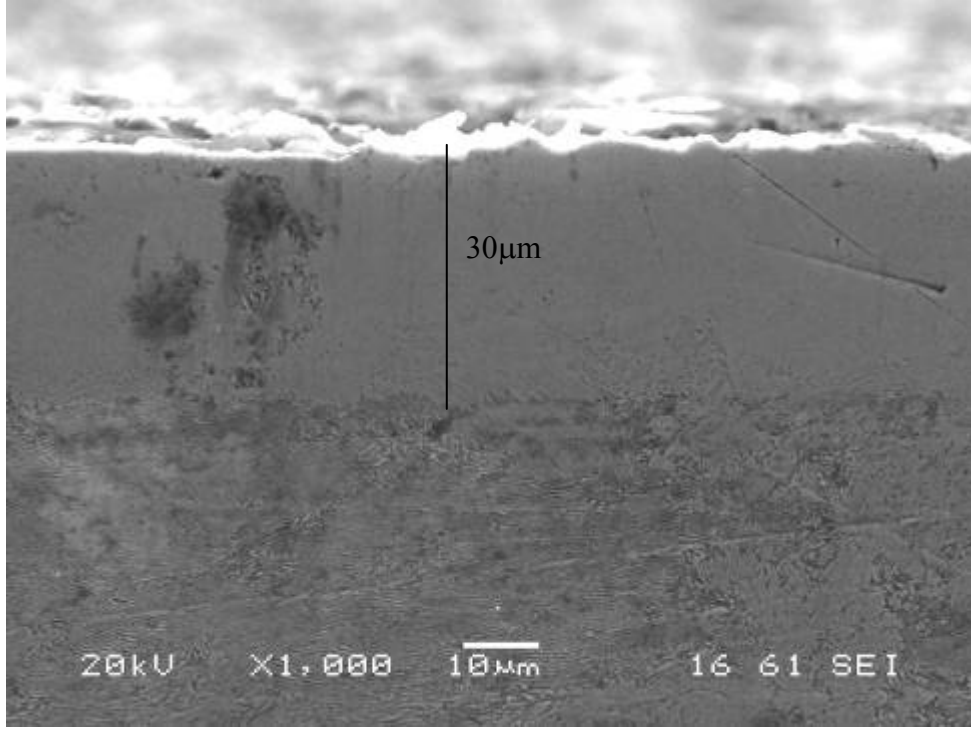


Şekil 8.41.b F8 numunesine ait 2 nolu bölgeden EDS analizi



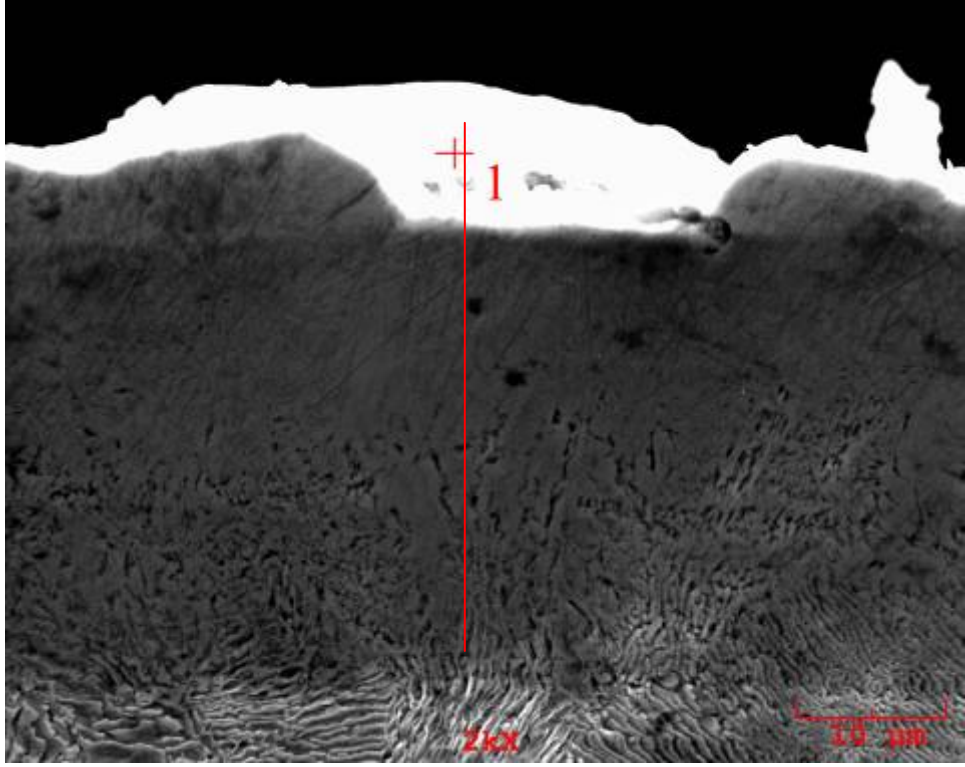
Şekil 8.41.c F8 numunesine ait 3 nolu bölgeden EDS analizi

F9 numunesinin pil kapasitesi $500\mu\text{F}$ ve 40 pulse uygulanmıştır, F8 numunesinin de $500\mu\text{F}$ pil kapasitesi fakat 30 pulse uygulanmıştır. 40 pulse uygulanmış F9 numunesinin de modifikasyon tabası şekil 8.42 'de açık bir şekilde belli olmaktadır. $30\mu\text{m}$ a yakın bir tabaka elde edilmiştir. F8 de ise daha ince ($25\mu\text{m}$) modifikasyon tabakası elde edilmiştir. Artan pulse sayısı ile modifikasyon tabakasında yaklaşık %20'lik artış gözlemlenmiştir. Pulse sayısı artınca işlem süreside artacağından Mo konsantrasyonundada artış gözlemlenmektedir.

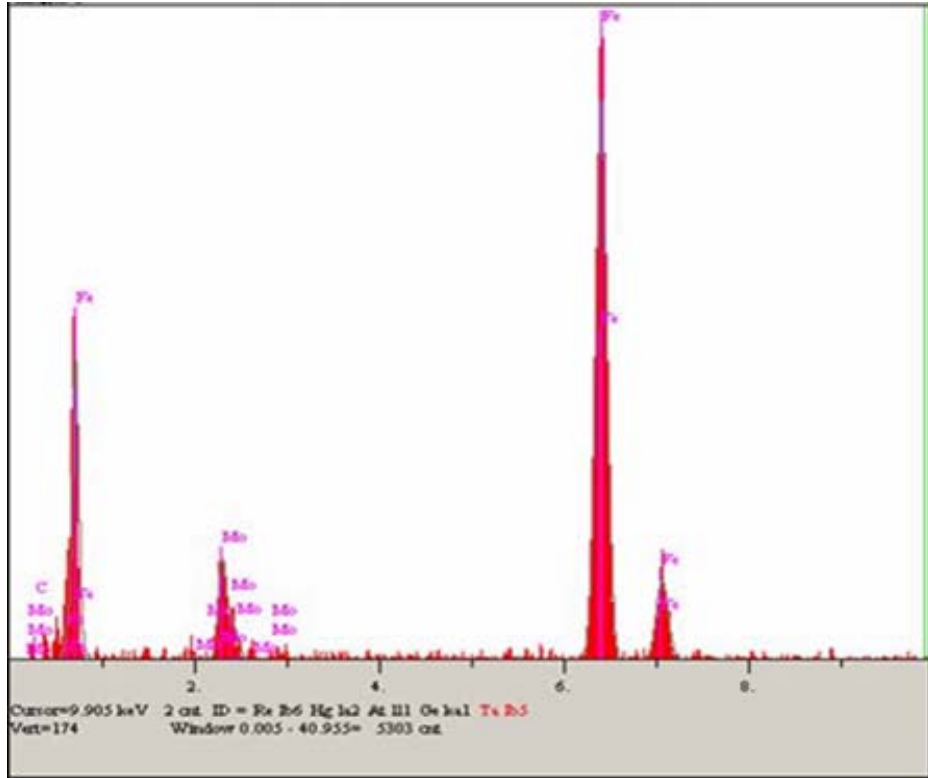


Şekil 8.42 F9 numune yüzeyinin SEM görüntüleri (x1000)

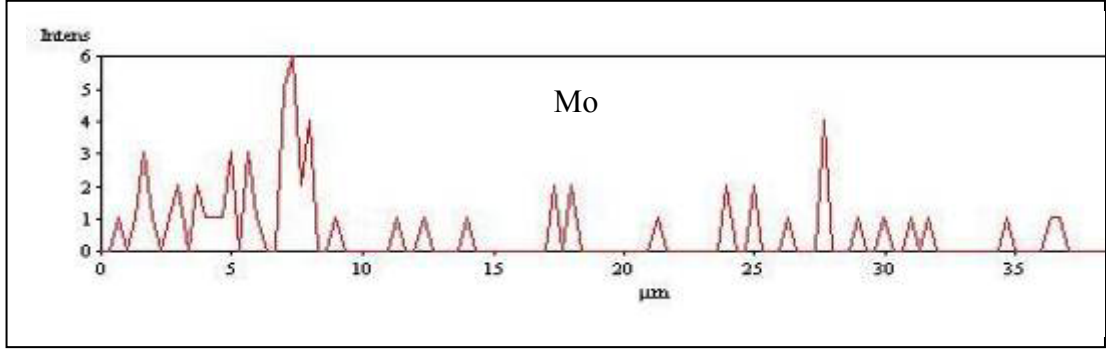
Şekil 8.43'de F17 numunesine ait SEM görüntüsü verilmiştir. EDS analizlerinde Mo'nin yüzeyde daha çok olduğu görülmektedir. F18 numunesinin parametreleri F17 ile aynı fakat F18'e 30 pulse uygulanmış F17'ye ise 20 pulse uygulanmıştır. Şekil 8.45'da da görüldüğü gibi modifikasyon tabakası daha kalın. Şekil 8.46'de F18 numunesinden Mo ve Fe için alınmış çizgi analizi görülmekte. 3-4 μ m'luk alanda Fe yokken Mo oranının yüksek çıkmış olması çelik yüzeyinde Mo'nin overlayer bir tabaka oluşturduğunu göstermektedir. Şekil 8.47'de ise F20'ye ait SEM görüntüsü görülmektedir. 30 μ m' u aşan modifikasyon tabakasından Mo dağılımını görebilmek için çizgi EDS analizi alınmıştır. F17 ye göre Mo konsantrasyonu daha yüksektir. Bunun sebebi ise pulse sayısının artmış olmasıdır. Ve dolayısıyla işlem süresi uzadığından yüzeyde elde edilen Mo oranı daha da artmıştır.



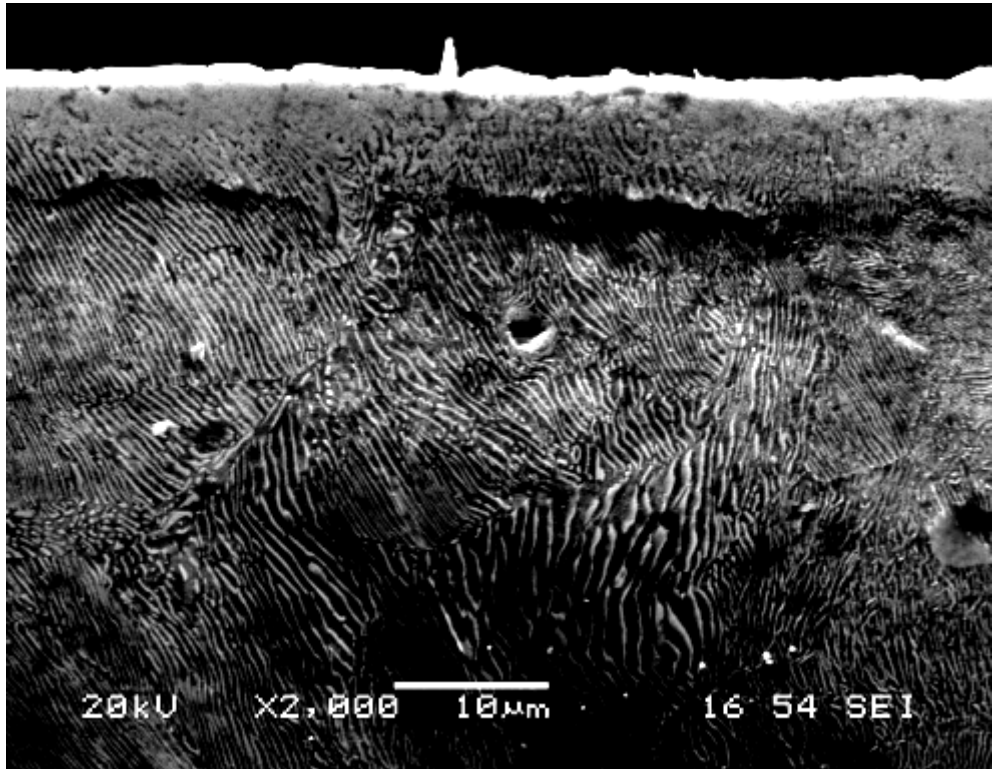
Şekil 8.43 F17 numune yüzeyinin SEM görüntüsü (x1000)



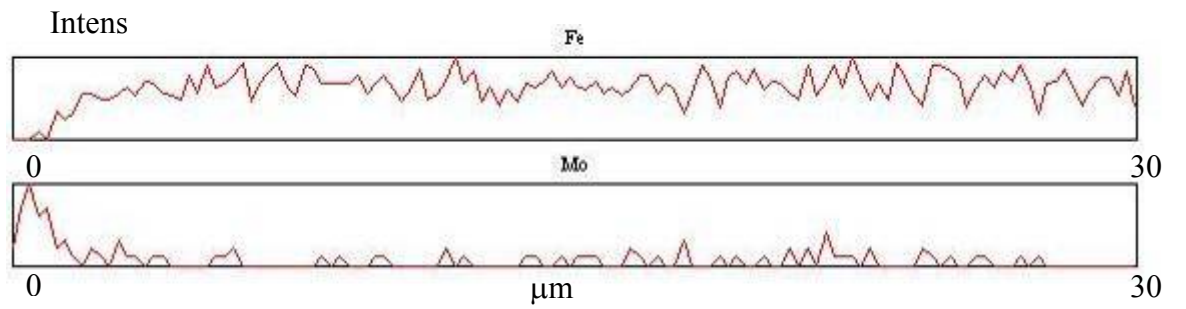
Şekil 8.44.a F17 numnesine ait EDS analizi



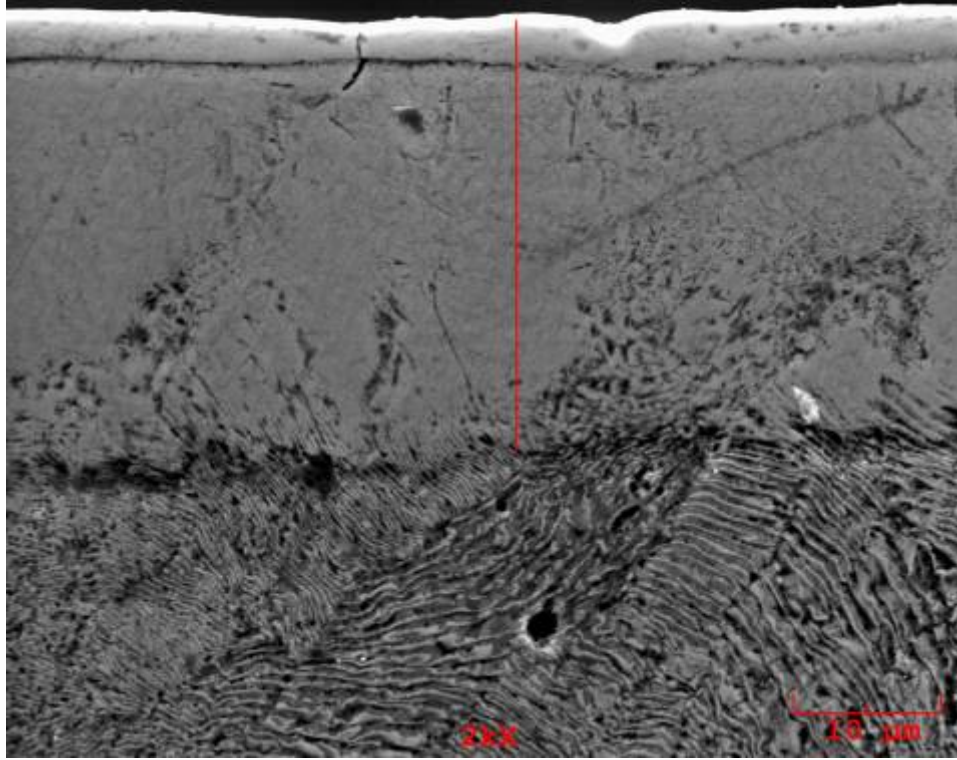
Şekil 8.44. b F17 numunesine ait Mo için çizgi EDS analizi



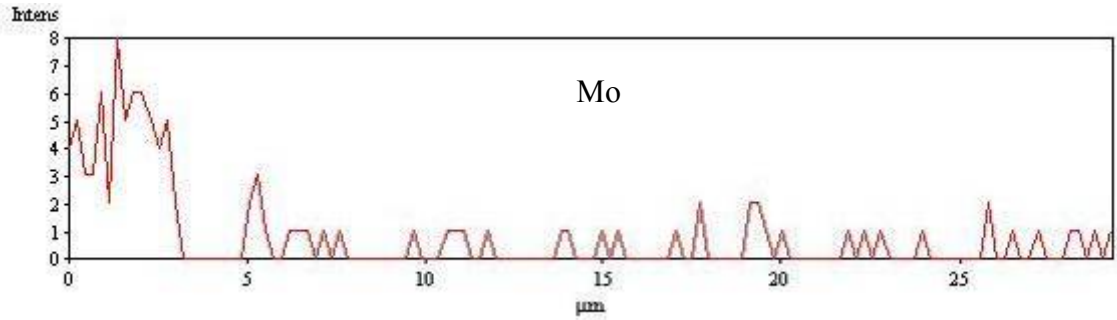
Şekil 8.45 F18 numune yüzeyinin SEM görüntüleri (x2000)



Şekil 8.46 F18 numunesine ait Mo ve Fe için çizgi EDS analizi



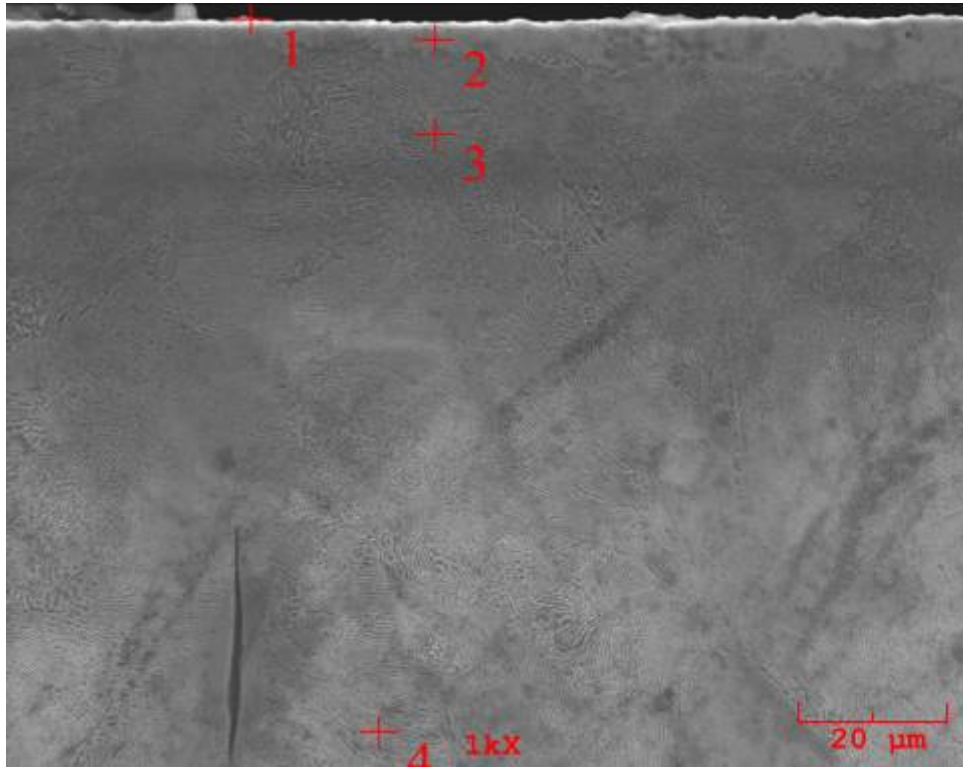
Şekil 8.47 F20 numune yüzeyinin SEM görüntüsü (x2000)



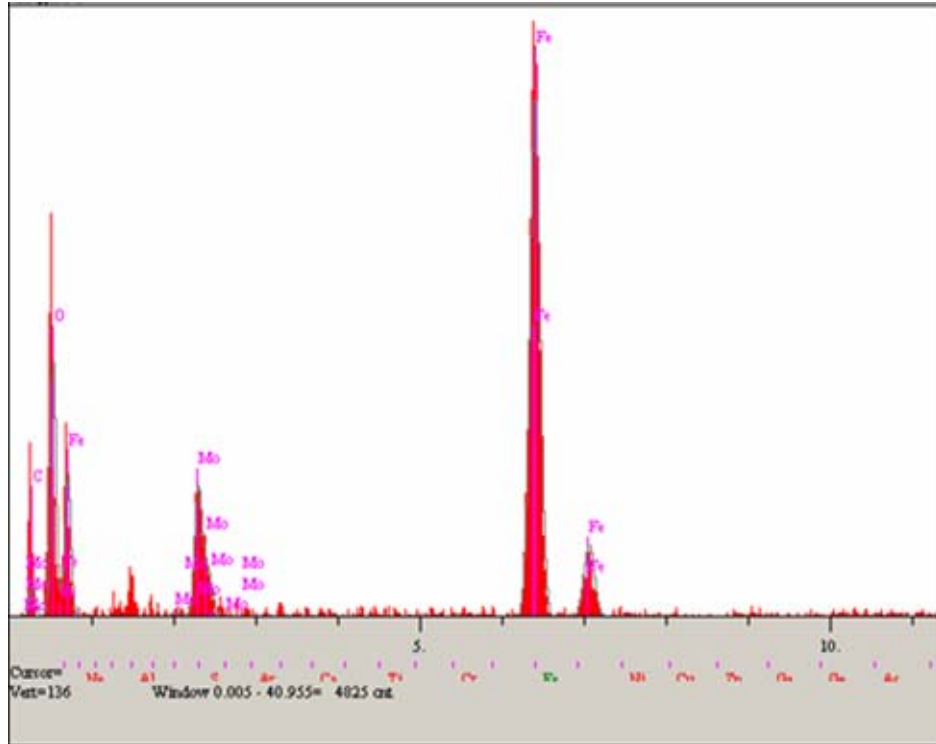
Şekil 8.48 F20 numunesine ait Mo için çizgi EDS analizi

Şekil 8.49 G1 numune yüzeyinin SEM görüntüsü görülmektedir. Mesafe artınca, pulse sayısı düşük iseçelik yüzeyini modifiye edebilmek biraz zor. G1 numunesi için üç farklı bölgeden EDS analizi alınmıştır. Şekil 8.50'de her bir nokta için EDS analizleri görülmektedir. Alınan EDS analizleri sonrasında, yüzeyde Mo ile birlikte oksijen piki de görülmektedir. Bunun sebebi nozul ile numune arası mesafesinin artması ve işlemin vakumlu ortamda gerçekleştirilmiyor olmasından ileri gelmektedir. F grubu numunelerinden farklı olarak, G grubu numunelerin de yüzeyde Mo tabakası birikmiş olduğu alınan analizler sonrasında görülmüştür. Modifikasyon tabakasından önce overlayer (beyaz bölge) bir tabaka şekillerden de

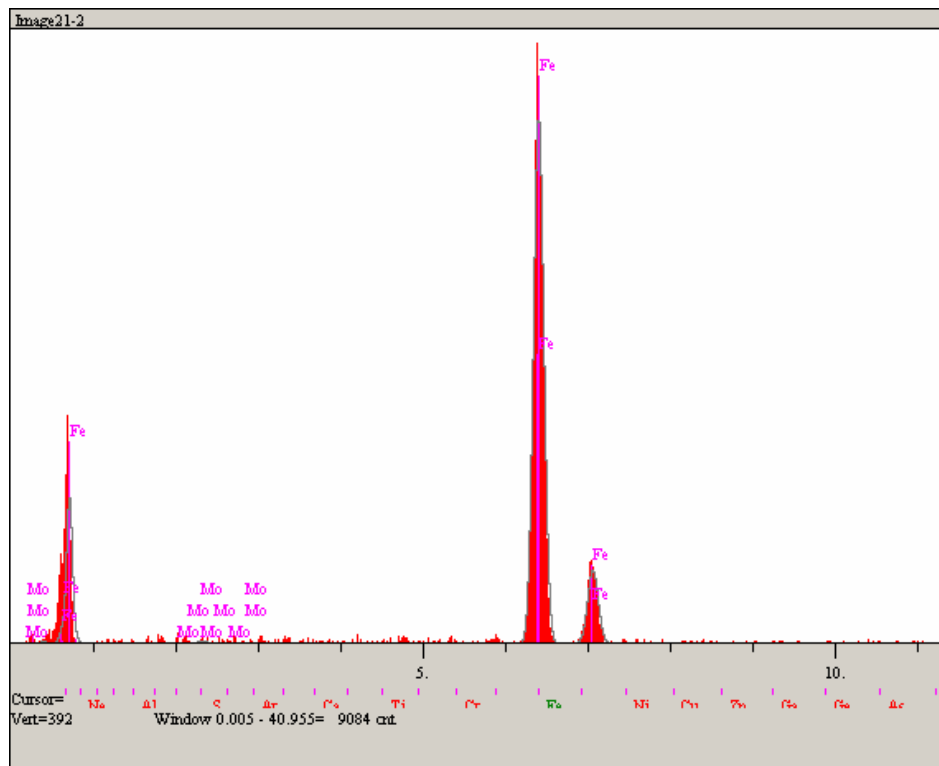
açık bir şekilde fark edilebilmekte. 1 nolu bölgeden alınan EDS analizlerinde yüksek oranda Mo rastlanılmıştır. Bunun nedeni artan pil kapasitesinden dolayı olabilir. Artan pil kapasitesinden dolayı aha yüksek bir enerjiyle plazma oluşturulmakta ve Mo elektrottan kopan Mo iyonları atomik boyutta iyonize olmayarak yüzeyde kalmış olabilirler .2 ve 3 nolu bölgeden alınan EDS analizlerinde ise Mo, Fe ve C elementlerine rastlanılmıştır. Yüzey den ana malzemeye doğru ilerledikçe bu oran giderek azalmakta. 4 nolu bölgeden yani modifiye edilemeyen alandan alınan EDS analizinde de görüldüğü gibi sadece Fe piklerine rastlanılmıştır.



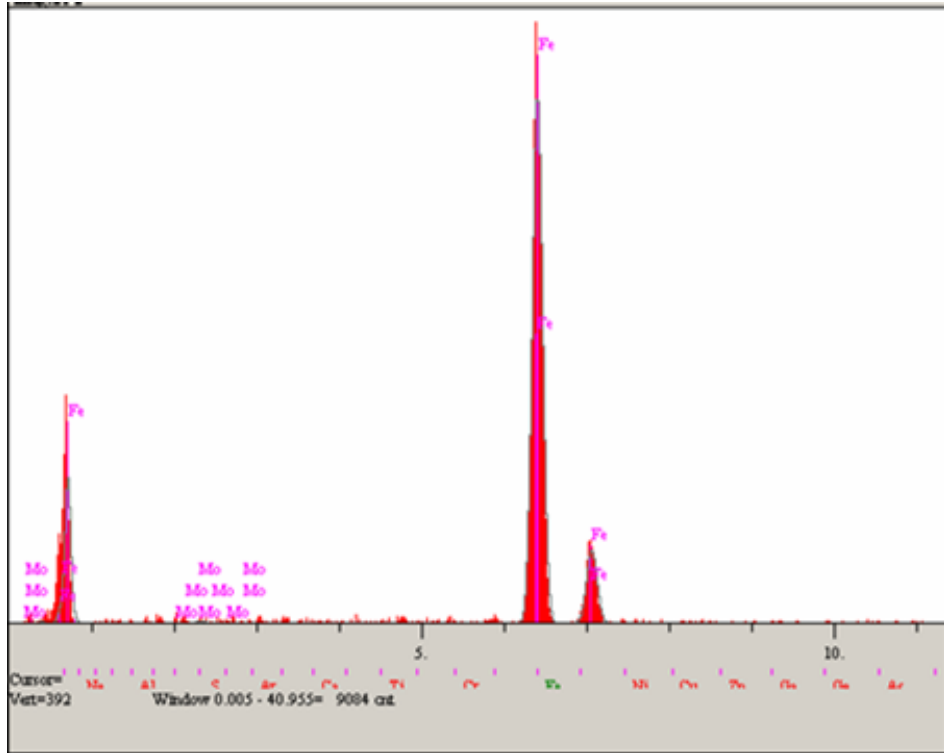
Şekil 8.49 G2 numune yüzeyinin SEM görüntüsü (x1000)



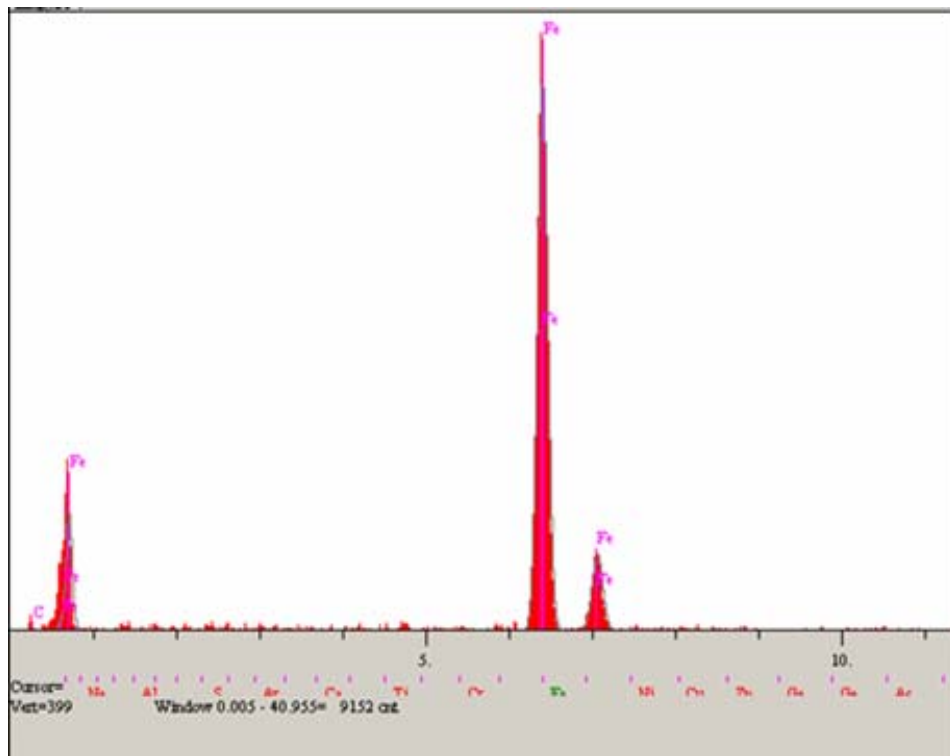
Şekil 8.50.a G2 numunesine ait 1 nolu bölgeden EDS analizi



Şekil 8.50.b G2 numunesine ait 2 nolu bölgeden EDS analizi

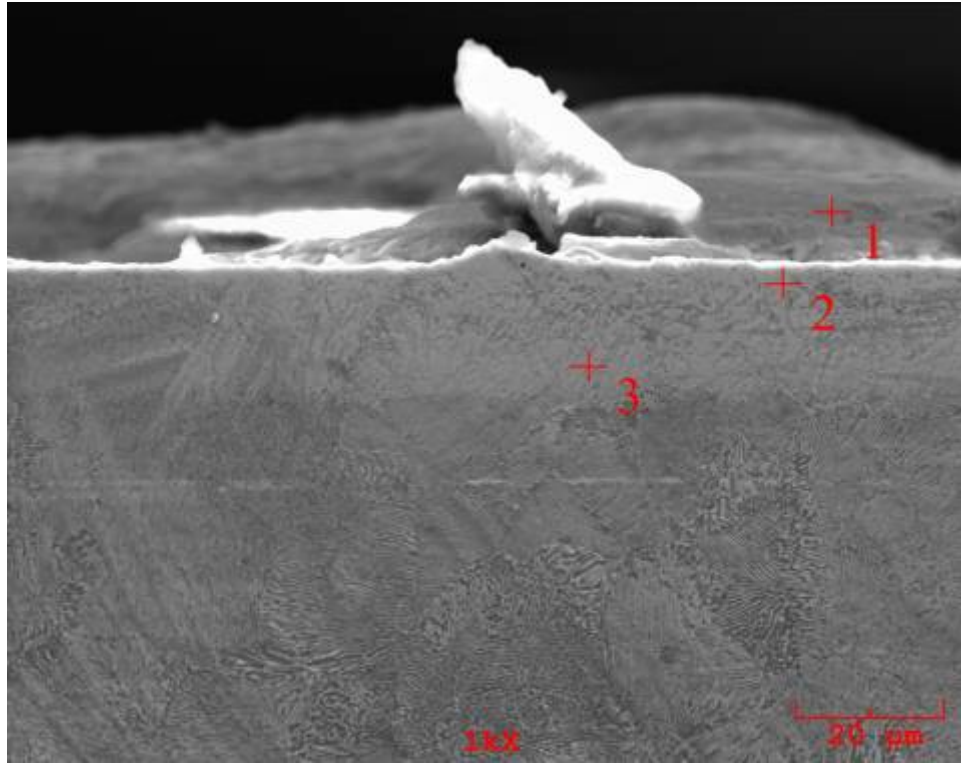


Şekil 8.50.c G2 numunesine ait 3 nolu bölgeden EDS analizi

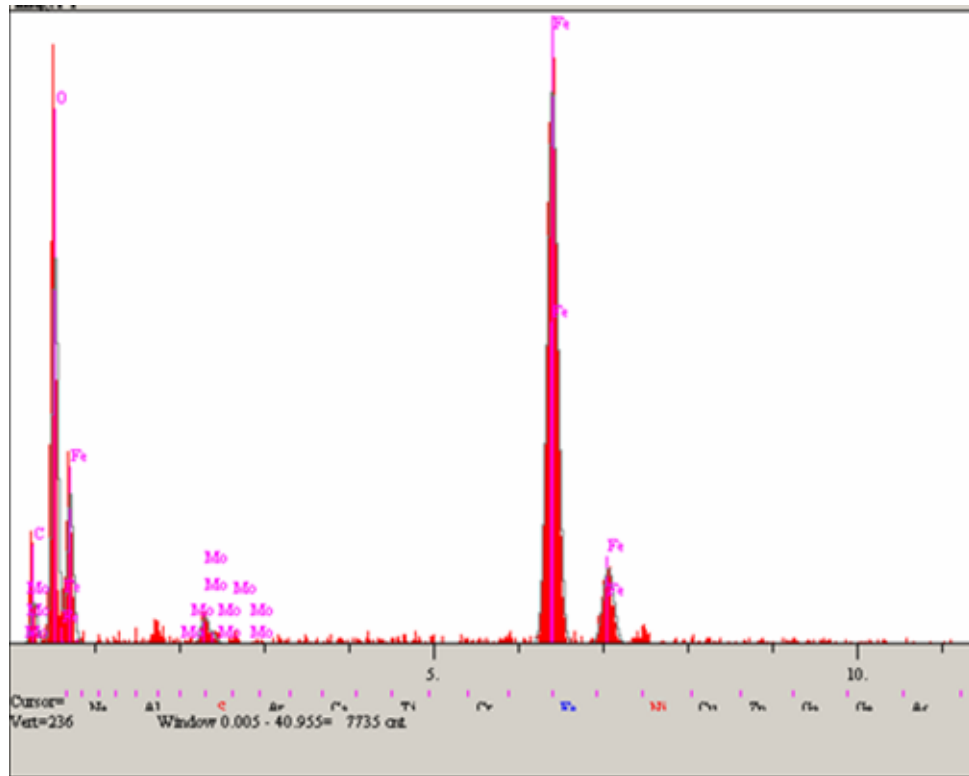


Şekil 8.50.d G2 numunesine ait 4 nolu bölgeden EDS analizi

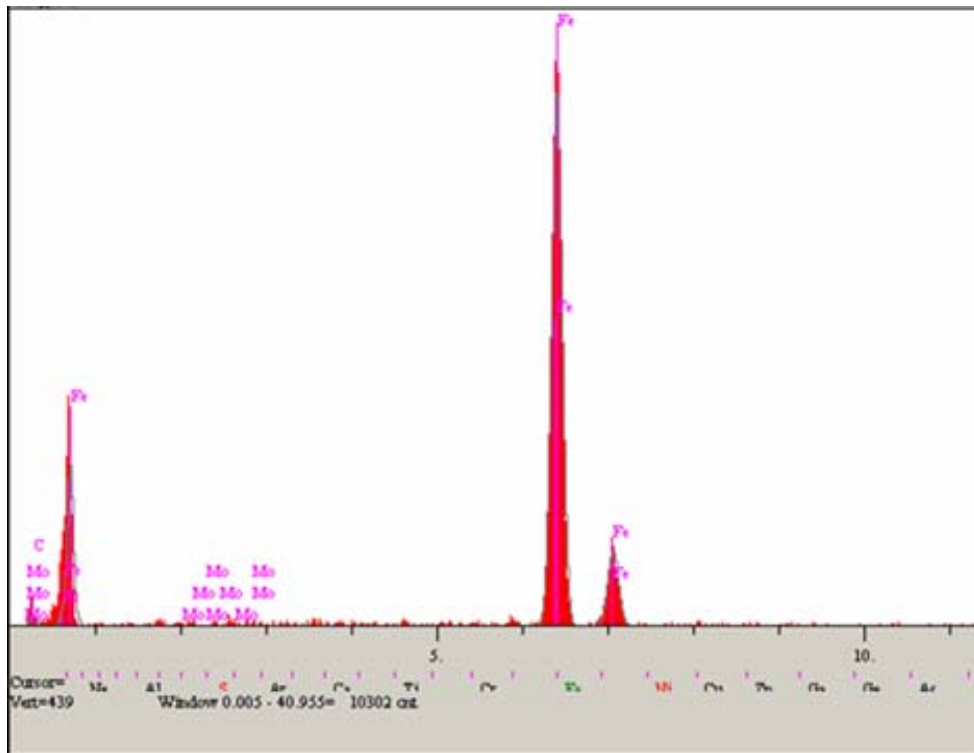
Şekil 8.51’ de 10 pulse uygulanmış G6 numunesine ait SEM görüntüsü görülmektedir. G6 numunesinin nozul ile numune arası mesafesi 40mm esas alınarak uygulanmıştır. G6 numunesinden 1 nolu bölgeden alınan EDS analizinde, yüzeyde oldukça fazla oksijen piki görülmektedir. G2 numunesinden daha fazla olmasının sebebi azalan nozul ile numune arasındaki mesafe olabilir ve pulse plazma esnasında meydana gelmiş olabilir. 2 ve 3 nolu bölgelerin EDS analizlerinde ise çok fazla Mo’ye rastlanmamıştır. Bunun nedeni çeliğe 40mm nozul numune mesafesinde 10 pulse uygulanmış olması olabilir. Çelik yüzeyinde istenilen özellikler için uygun parametreler olmayabilir. Çünkü aynı mesafede daha yüksek pulse uygulandığında yüzeyin modifiye edilebildiği şekil 8.53’de görülmektedir.



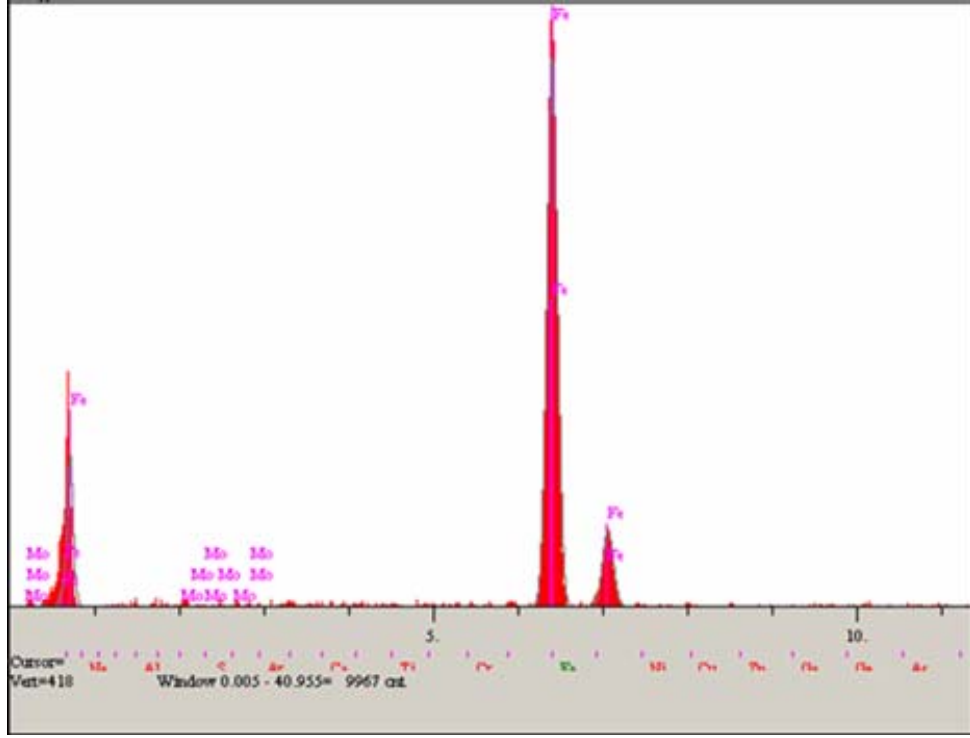
Şekil 8.51 G6 numune yüzeyi SEM görüntüsü (x1000)



Şekil 8.52.a G6 numunesine ait 1 nolu bölgeden EDS analizi

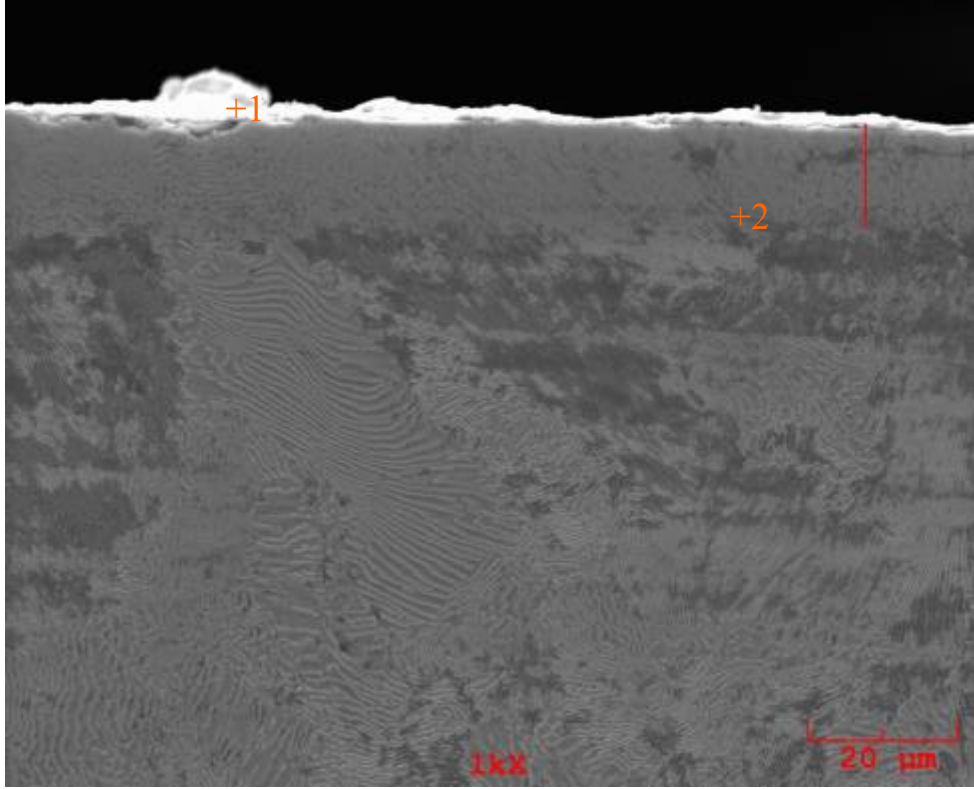


Şekil 8.52.b G6 numunesine ait 2 nolu bölgeden EDS analizi

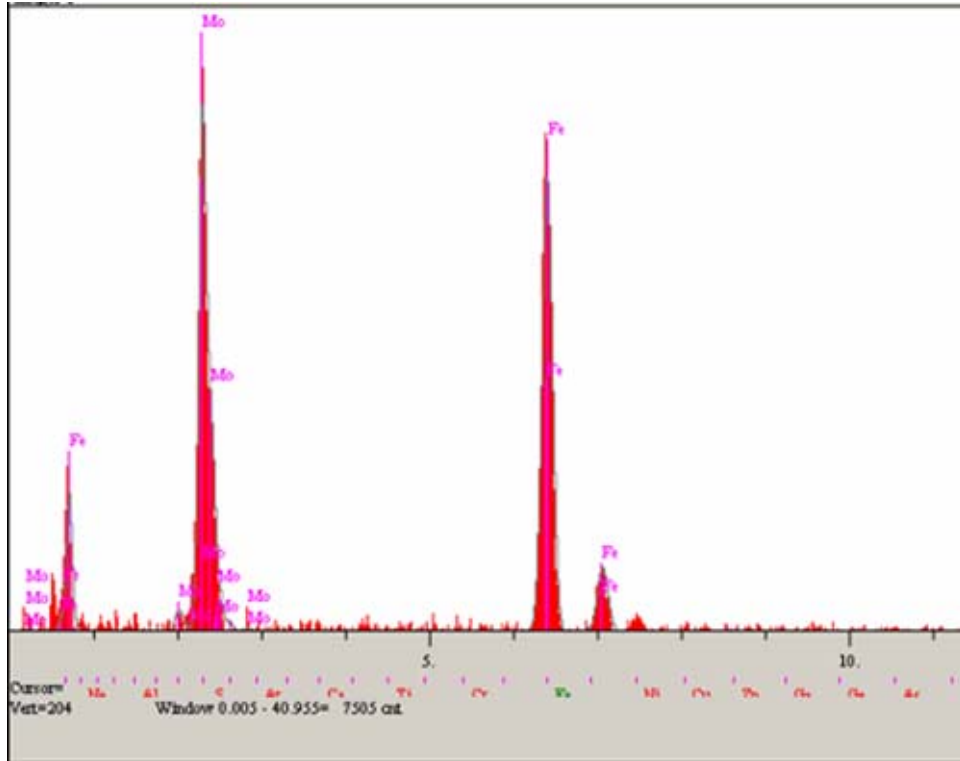


Şekil 8.52.c G6 numunesine ait 3 nolu bölgeden EDS analizi

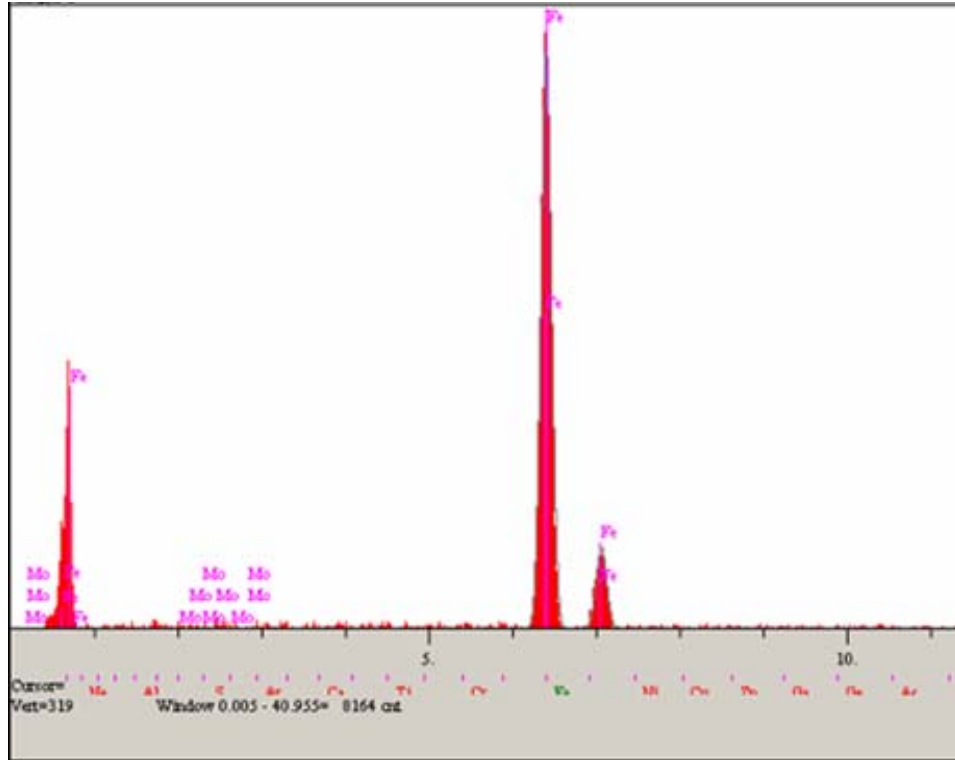
Şekil 8.53'de G7 numunesine ait SEM görüntüsü verilmektedir. G7 numunesi ile G6 numunesi karşılaştırıldığında, G7 de artan pulse sayısıyla yüzeyde modifikasyon tabakası oluşturulabilmiştir. G7 den 1 nolu EDS analizi sonrasında ise çok yüksek Mo piki elde edilmiştir. Buda modifikasyon tabakasından öne yüzeyde çok ince overlayer Mo tabakasının varlığını göstermektedir. Artan pil kapasitesi ve azalan nozul ile numune arasındaki mesafeden dolayı iyonize olan Mo iyonlarının bir kısmı yüzeyde kalmıştır.



Şekil 8.53 G7 numune yüzey SEM görüntüsü (x1000)

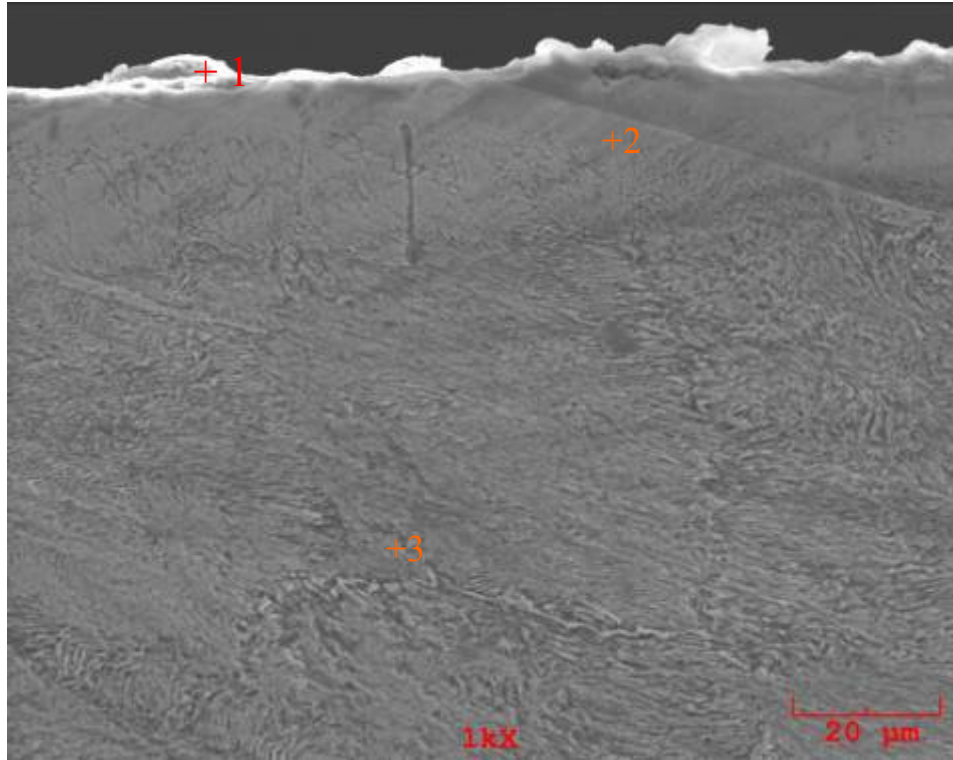


Şekil 8.54.a G7 numunesine ait 1 nolu bölgeden EDS analizi

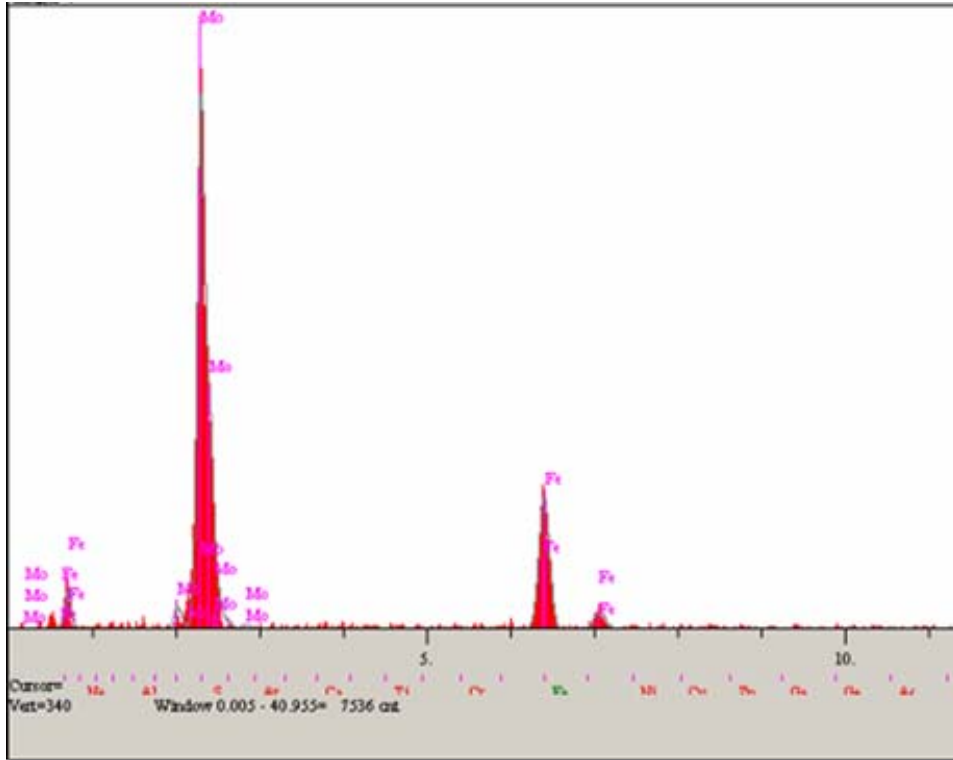


Şekil 8.54.b G7 numunesine ait 2 nolu bölgeden EDS analizi

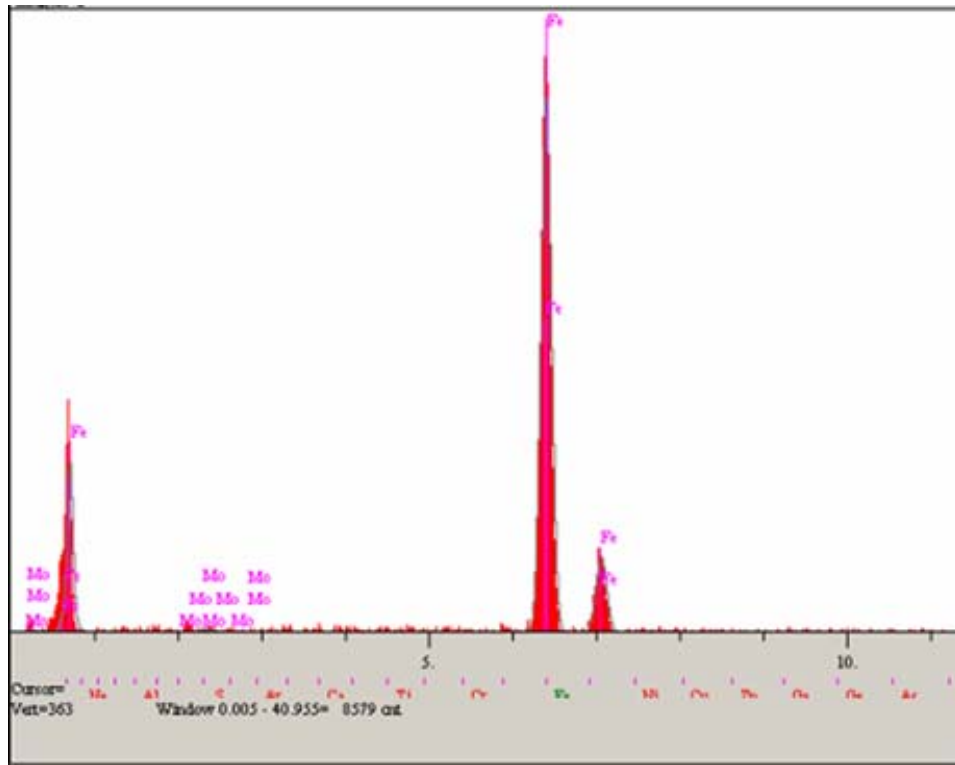
G8 numunesinde artan pulse sayısının etkisi daha belirgin olarak görülmektedir (şekil 8.55). G7 numunesine göre daha kalın modifikasyon tabakası görülmektedir. Aynı şekilde overlayler olarak yüzeyde Mo tabakasının varlığından söz edilebilir. G8 numunesinde 20 μm luk bir modifikasyon tabakası elde edilmiştir. Modifikasyon tabakasından alınan 1, 2, ve 3 nolu bölgelerin EDS analizleri sonrasında Mo pikine rastlanılmıştır.



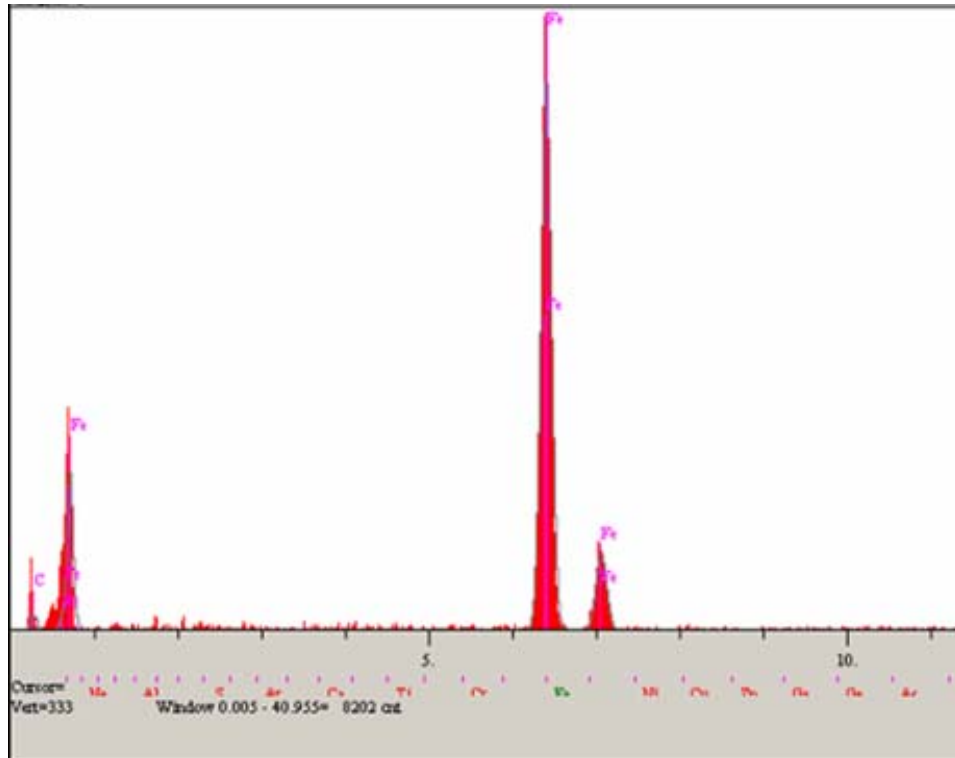
Şekil 8.55 G8 numune yüzey SEM görüntüsü (x1000)



Şekil 8.56 a G8 numunesine ait 1 nolu bölgeden EDS analizi

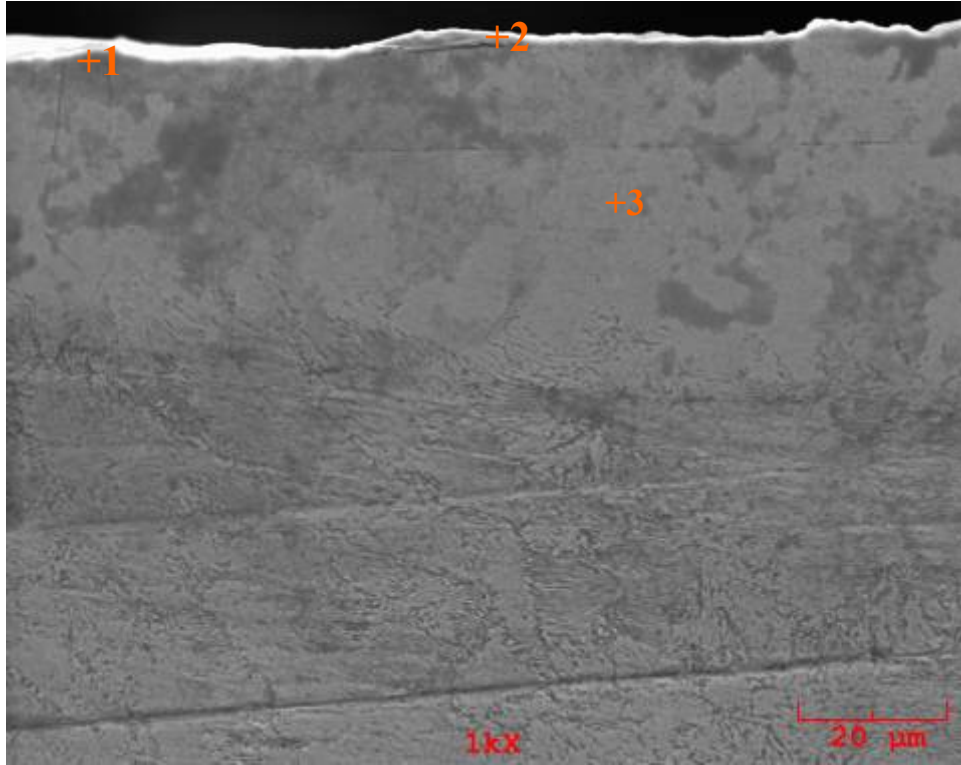


Şekil 8.56.b G8 numunesine ait 2 nolu bölgeden EDS

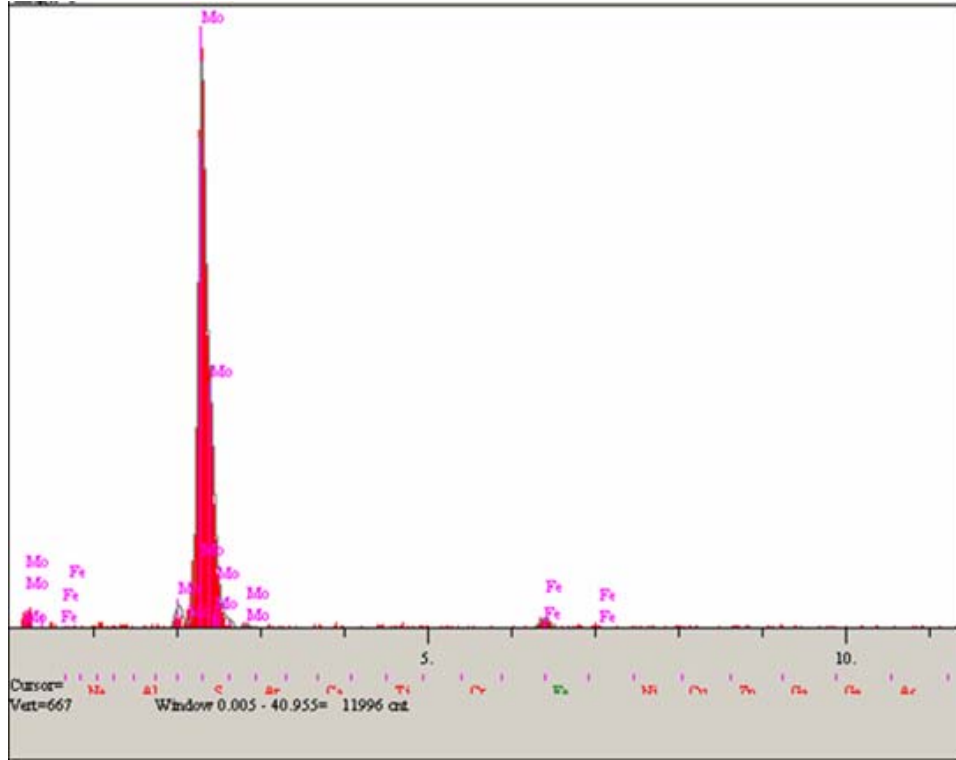


Şekil 8.56.c G8 numunesine ait 3 nolu bölgeden EDS analizi

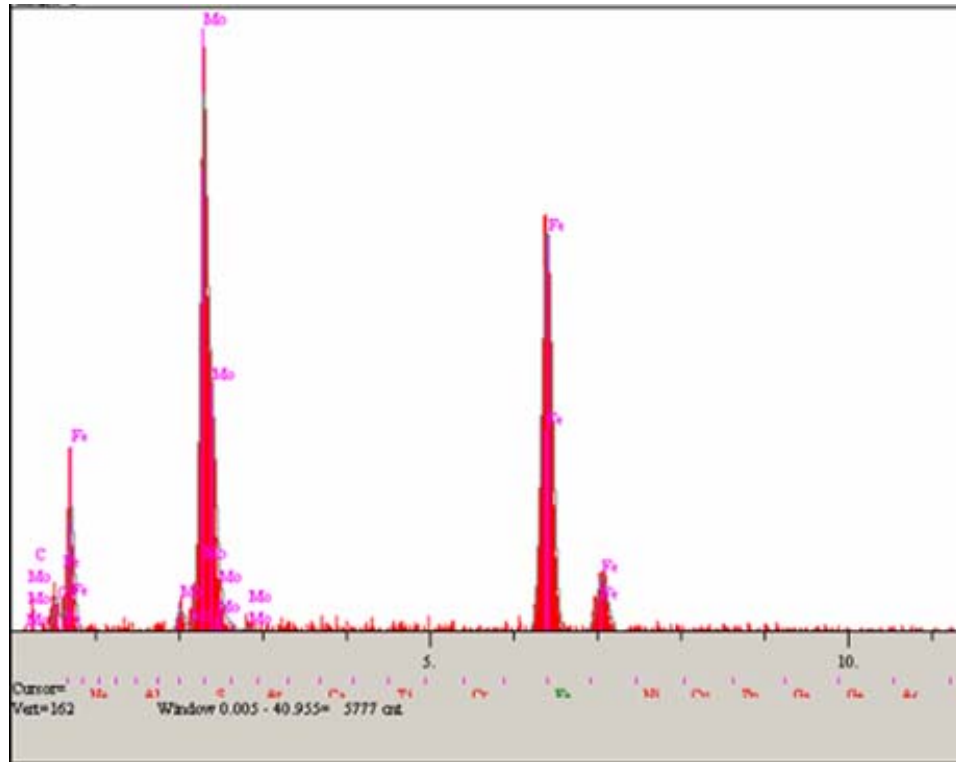
Diğer G grubu numunelerde de olduğu gibi G17 ve G18 nolu numunelerde pulse plazma işlemi sonrasında yüzeyde 2-3 μm luk molibden overlayer tabakası oluştuğu yüzeyden alınan EDS analizleri sonrasında görülmektedir (şekil 8.57 ve Şekil 8.59). Modifikasyon tabakasından alınan EDS analizlerinde ise çelik içerisine doğru ilerledikçe Mo oranının azaldığı görülmektedir (şekil 8.58). G19 ve G20 numunelerine ait analizler gerçekleştirilemedi. Çünkü artan pil kapasitesi ve azalan numune nozul arası mesafeden dolayı bu iki numune yüzeyinde ergime gerçekleşmiştir. Uygulanan parametreler ($H=30\text{mm}$, $C=600\mu\text{F}$, $n=40-50$) AISI 1090 çeliği için uygun olmadığı ve istenilen sonucun elde edilemediği sonucuna varılmıştır.



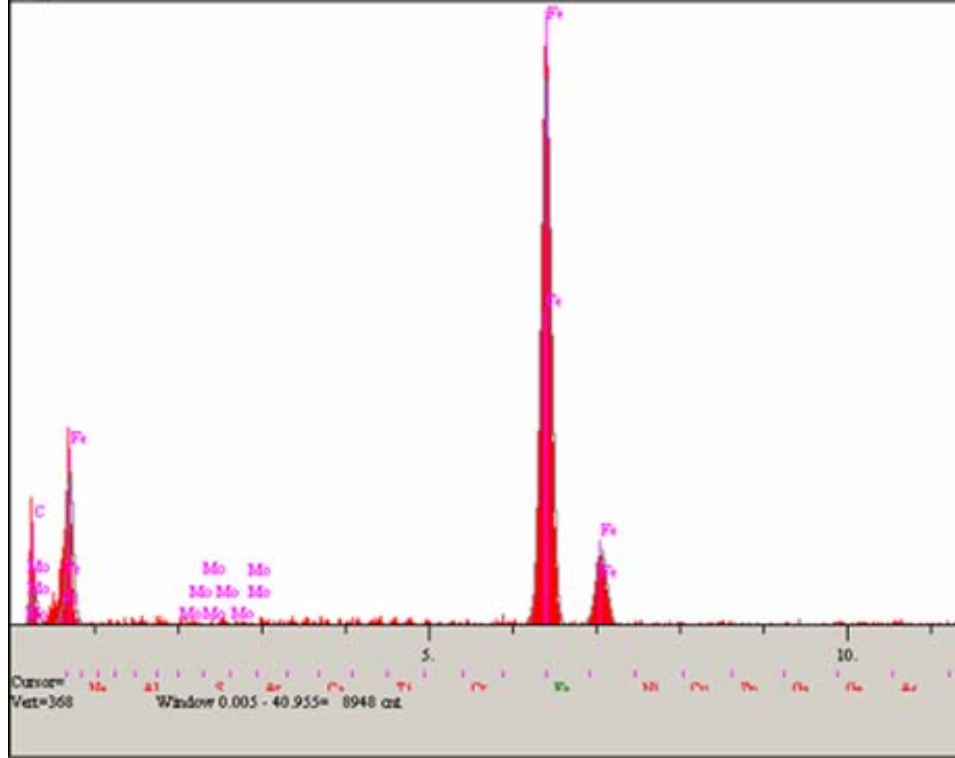
Şekil 8.57 G17 numune yüzey SEM görüntüsü (x1000)



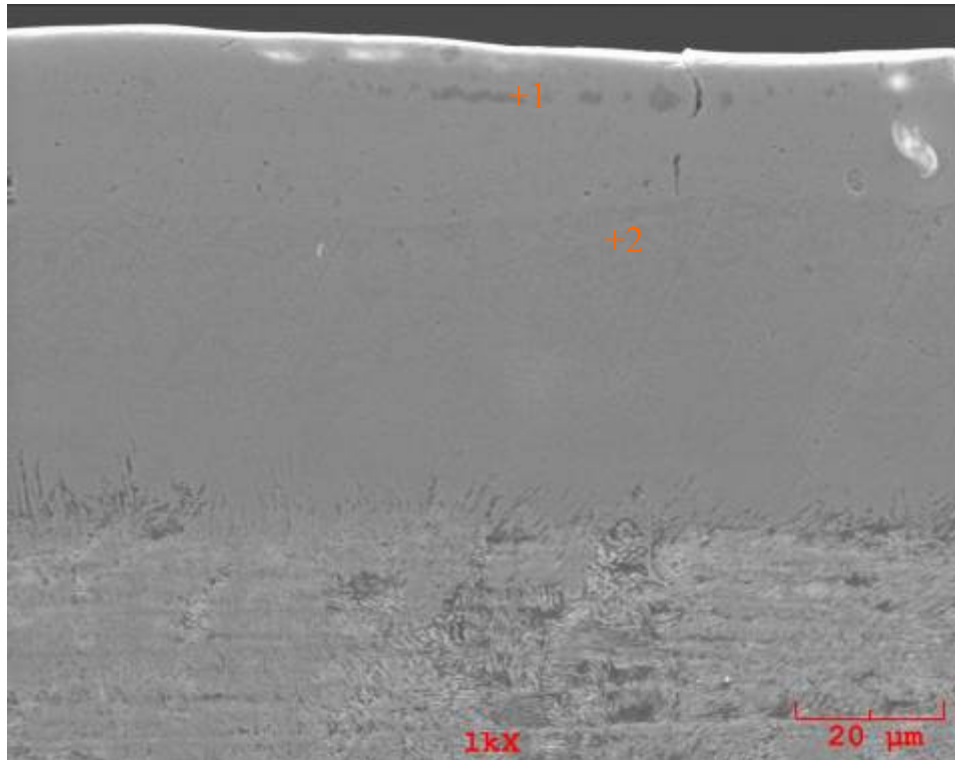
Şekil 8.58 a G17 numunesine ait 1 nolu bölgeden EDS analizi



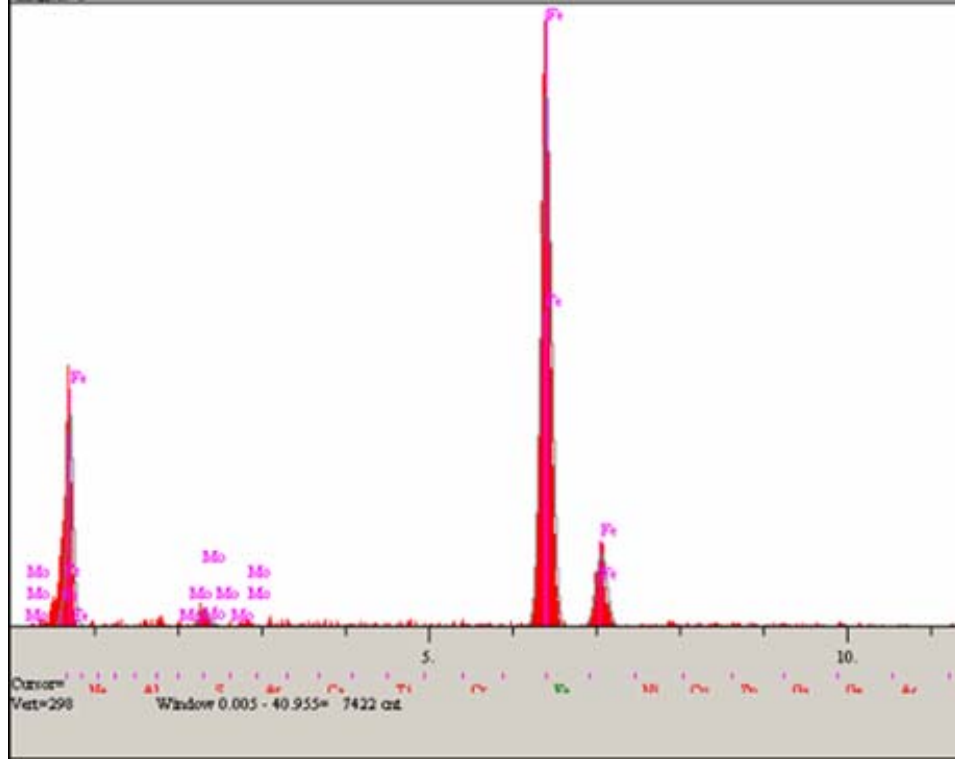
Şekil 8.58 b G17 numunesine ait 2 nolu bölgeden EDS analizi



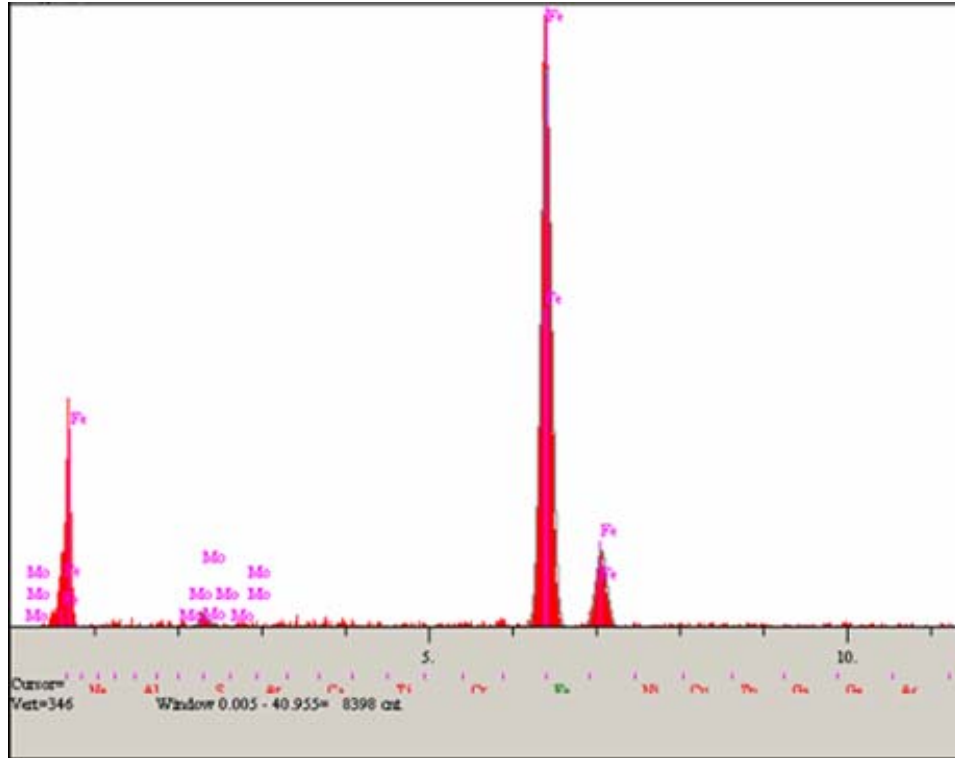
Şekil 8.58 c G17 numunesine ait 3 nolu bölgeden EDS analizi



Şekil 8.59 G18 numune yüzey SEM görüntüsü (x1000)



Şekil 8.60 a G18 numunesine ait 1 nolu bölgeden EDS analizi

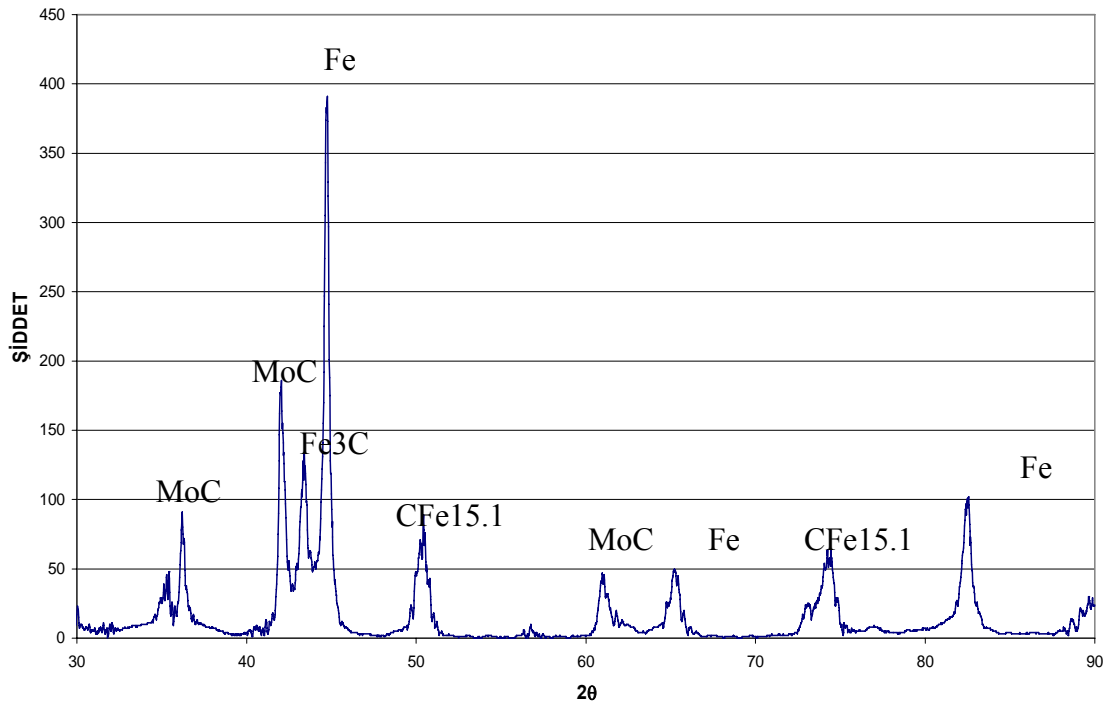


Şekil 8.60. b G18 numunesine ait 2 nolu bölgeden EDS analizi

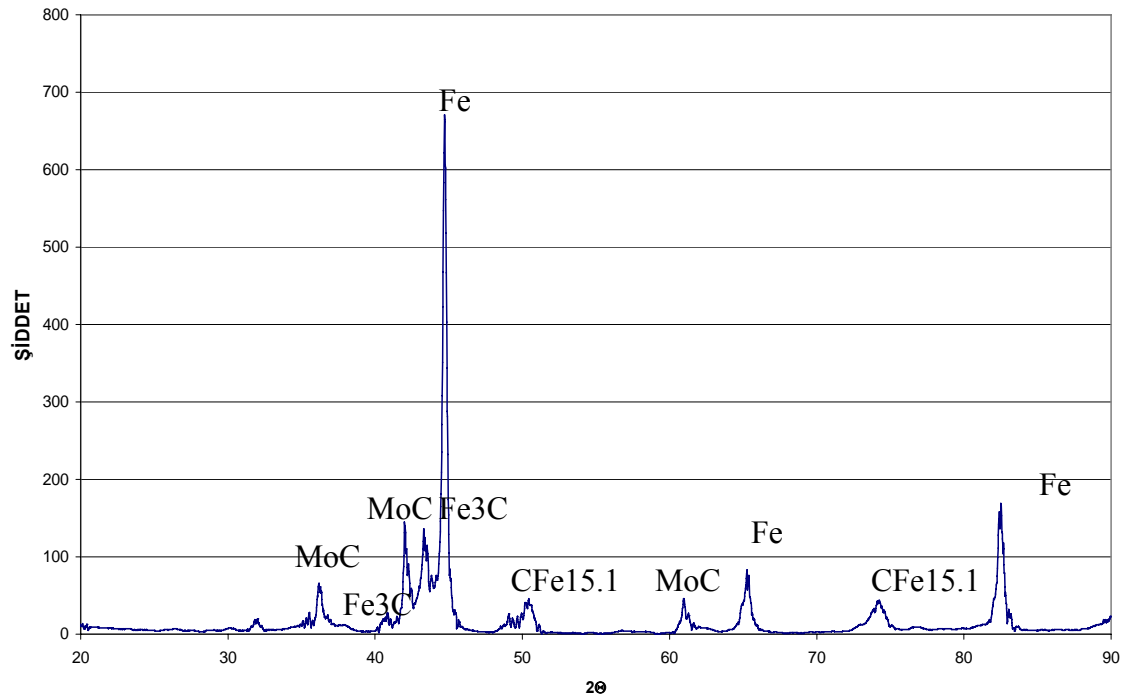
Tüm numune grupları için SEM ve EDS analizleri karşılaştırıldığında. F grubu ($C=500\mu F$) numunelerden alınan verilerin daha iyi olduğu görülmüştür. Daha kalın bir modifikasyon tabakası elde edilmiş ayrıca overlayer tabakaya sadece yüksek pulse uygulanmış numunelerde ve pulse plazmanın numuneye ilk vurduğu bölgede rastlanılmamıştır. G grubu ($C=600\mu F$) numunelerde ise yaklaşık 3-4 μm ' luk bir overlayer tabakadan sonra modifikasyon tabakası elde edilmiştir. Ayrıca G grubu numunelerinden alınan EDS analizlerinde oksijen pikine de rastlanılmıştır. Yüzeyde oksit tabakasının varlığından söz edilebilir. Artan pil kapasite nedeni ile yüzeyde meydana gelen ısınmadan dolayı yeniden kristalleşme tavlama olabileceğinden daha önceki bölümlerde söz etmiştik. Bu nedenle dolayı; G grubu numuneler için tane boyutlarında büyüme olacağı için sertlik değerlerinde düşüş olduğu söylenebilir. Aynı şekilde artan pil kapasitesinden kaynaklanan, Mo elektrotun atomik boyutlarda kopmuyor olabilmesidir. 500 μF 'da atomik boyutta kopan Mo yüzeye difüze olup modifikasyon tabakası elde edilebiliyorken, 600 μF ' da atomik boyuttan daha büyük kopmasından dolayı difüze olamadan yüzeyde overlayer bir tabaka oluşturduğu söylenebilir. Ve aynı işlem süresi ve eşit sayıda pulse uygulanmış olsa bile 600 μF uygulanmış G grubu numunelerde daha düşük kalınlıkta ve daha düşük sertlikte modifikasyon tabakası elde edilmiştir. Bu durumu x-ışını difraksiyonlarında desteklemektedir. İlerleyen bölümde XRD analizleri açıklanmaktadır.

8.4 X-Işınları Difraksiyon Analizleri

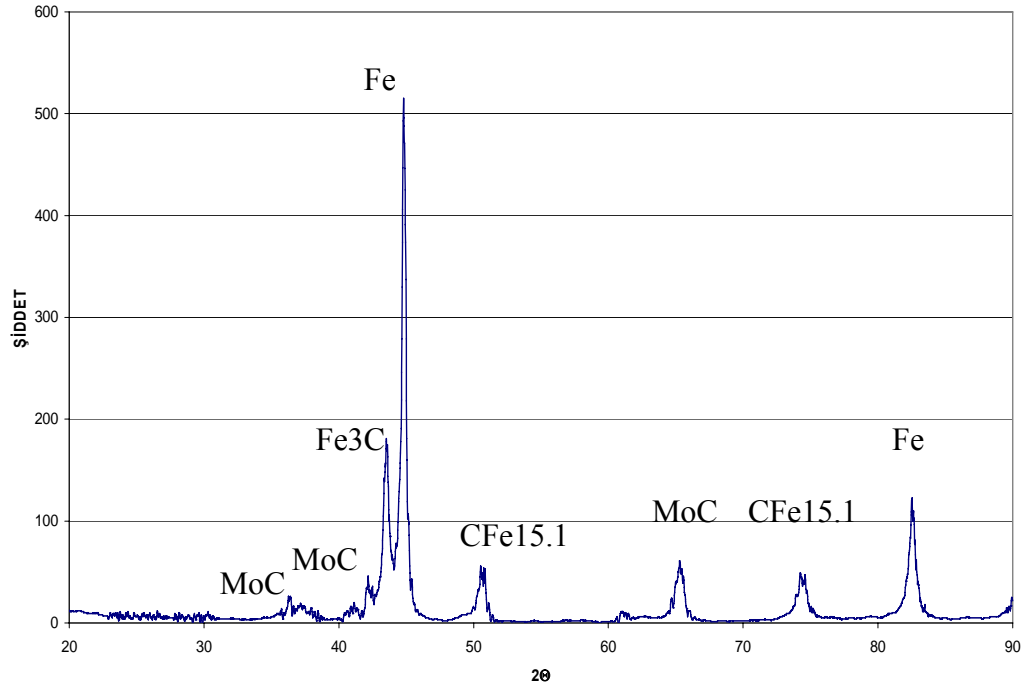
AISI 1090 çeliklerine farklı parametrelerde pulse plazma işlemi uygulandıktan sonra XRD analizleri yapılmıştır. F grubu numunelerinden alınan çeşitli x ışını difraksiyon paternleri aşağıdaki şekillerde verilmiştir. Şekil 7.61, şekil 7.62 ve şekil 7.63'de nozul ile numune arasındaki mesafeleri farklı ($H=60mm-40mm-30mm$) diğer parametreleri aynı ($C=600\mu F$, $n=40$) olan üç tip numuneye ait XRD analizleri verilmiştir. Nozul –numune arası mesafe azaldıkça numune yüzeyindeki MoC ve Fe_3C şiddeti azalmaktadır. Bunun sebebi mesafe azalınca pulse plazmanın yüzeye vuruşu sırasında gerekli hızı ve basıncı sağlayamamasından dolayı elektrottan kopan Mo ve C iyonlarının saçılıyor olabilmesi, bununla birlikte bir kısım Mo'nin yüzeyde overlayer olarak kaldığı şeklinde yorumlanabilir. Buda azalan nozul ile numune mesafesi sonrasında sertlik verilerindeki düşüşü de açıklamaktadır.



Şekil 8.61 F4 numunesinin x ışını difraksiyon paterni

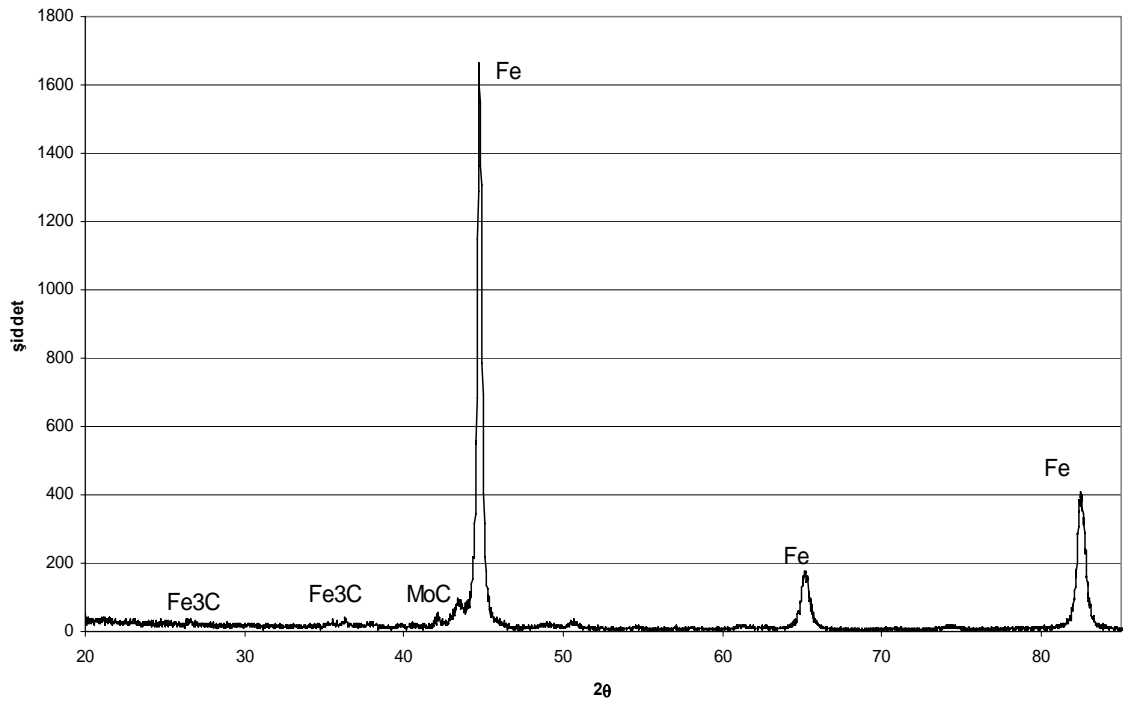


Şekil 8.62 F9 numunesinin x ışını difraksiyon paterni

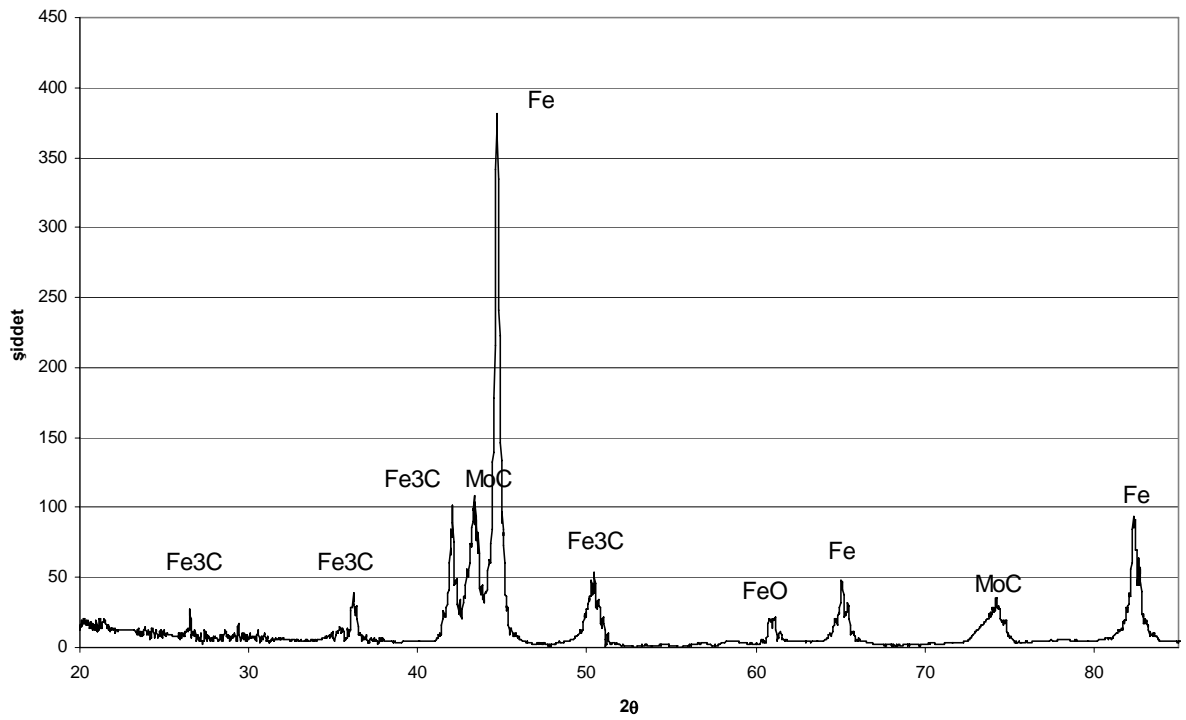


Şekil 8.63 F14 numunesinin x ışını difraksiyon paterni

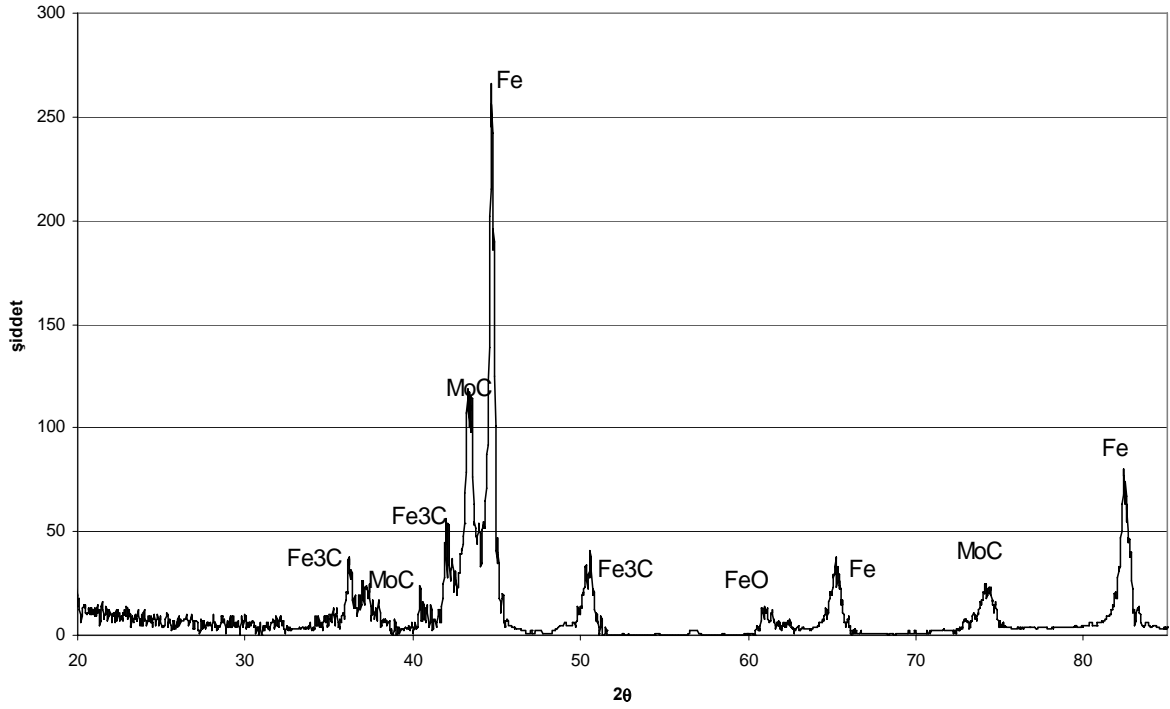
Şekil 8.64 - 8.66 'da uygulanan pulse sayıları ($n=20-30-50$) farklı diğer parametreleri ($H=50\text{mm}$, $C=600\mu\text{F}$) aynı numunelerin x ışını difraksiyon paternleri karşılaştırılmıştır. F20 nolu numuneye maksimum sayıda pulse uygulanmış ve buna bağlı olarak MoC ve Fe_3C piklerinde artış görülmüştür. İşlem süresi uzadıkça elde edilen karbür oranı artmakta ve buna bağlı olarak sertlik değerlerindeki artışı da açıklamış olmaktadır.



Şekil 8.64 F17 numunesinin x ışını difraksiyon paterni

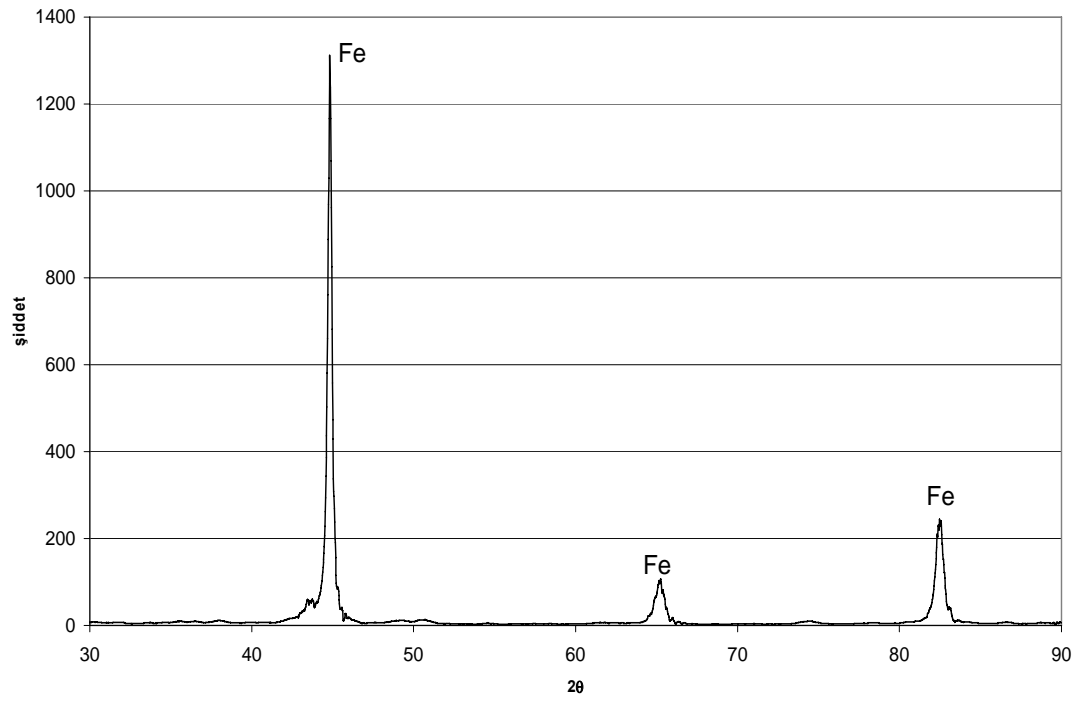


Şekil 8.65 F18 numunesinin x ışını difraksiyon paterni

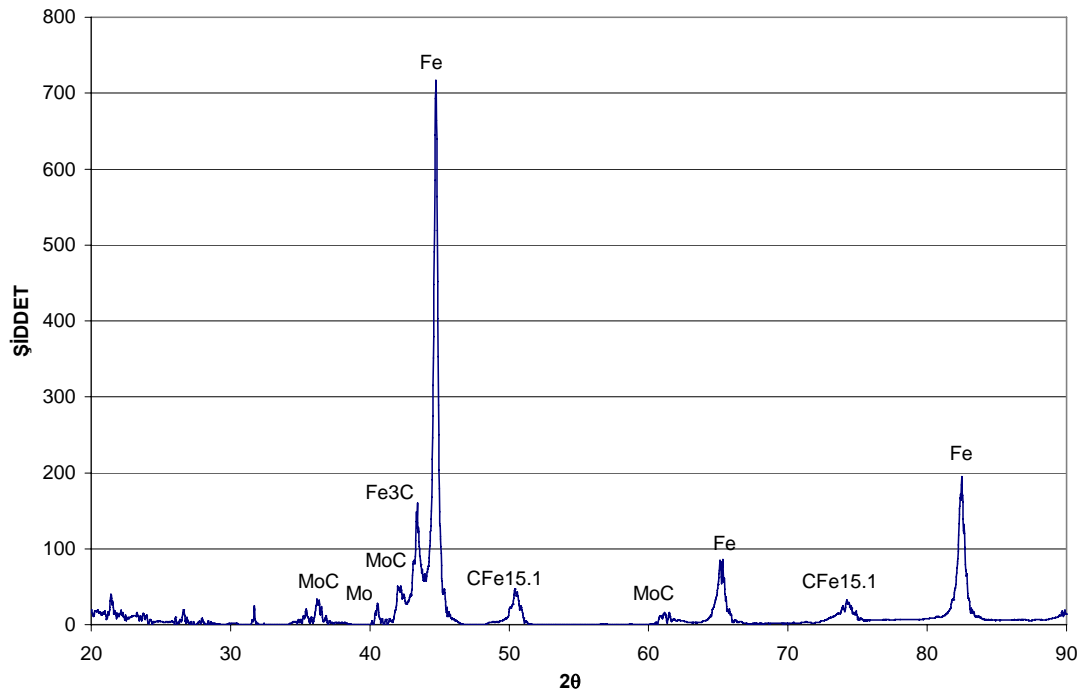


Şekil 8.66 F20 numunesinin x ışını difraksiyon paterni

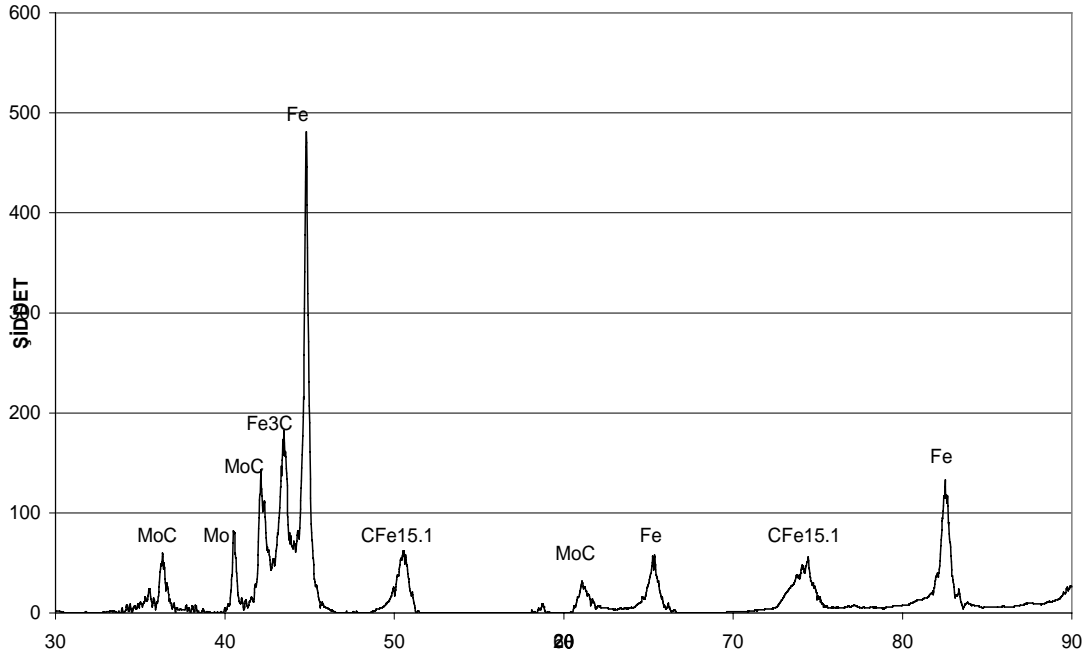
Şekil 8.67, şekil 8.68 ve şekil 8.69’da G grubu numunelerinden pulse sayıları ($n=10-20-30$) farklı, diğer parametreleri ($C=600\mu F$, $H=60mm$) aynı olan numunelere ait XRD analizleri verilmiştir. G1 numunesine 10 pulse uygulanmıştır. Alınan analiz sonrasında yüzeyde Fe dışında herhangi bir pike rastlanılmamıştır. Artan pulse sayısı ile birlikte yüzeyde MoC ve Fe_3C elde edilmiştir. Ayrıca XRD analizlerinde sadece Mo piki de elde edilmiştir. F grubu numunelerinde sadece Mo pikine rastlanılmamıştır. Bu durum pil kapasitesi $600\mu F$ olan numunelerde overlayer bir tabakanın varlığını doğrulamaktadır. Şekil 8.68 ve şekil 8.69’da görüldüğü gibi östenit pikine de rastlanılmıştır. Pil kapasitesi artınca yüzeyde ısınma meydana geldiğinden, gerekli soğuma sağlanamadığı için yüzeyde kalıntı östenit kalmış olabilir.



Şekil 8.67 G1 numunesinin x ışını difraksiyonu

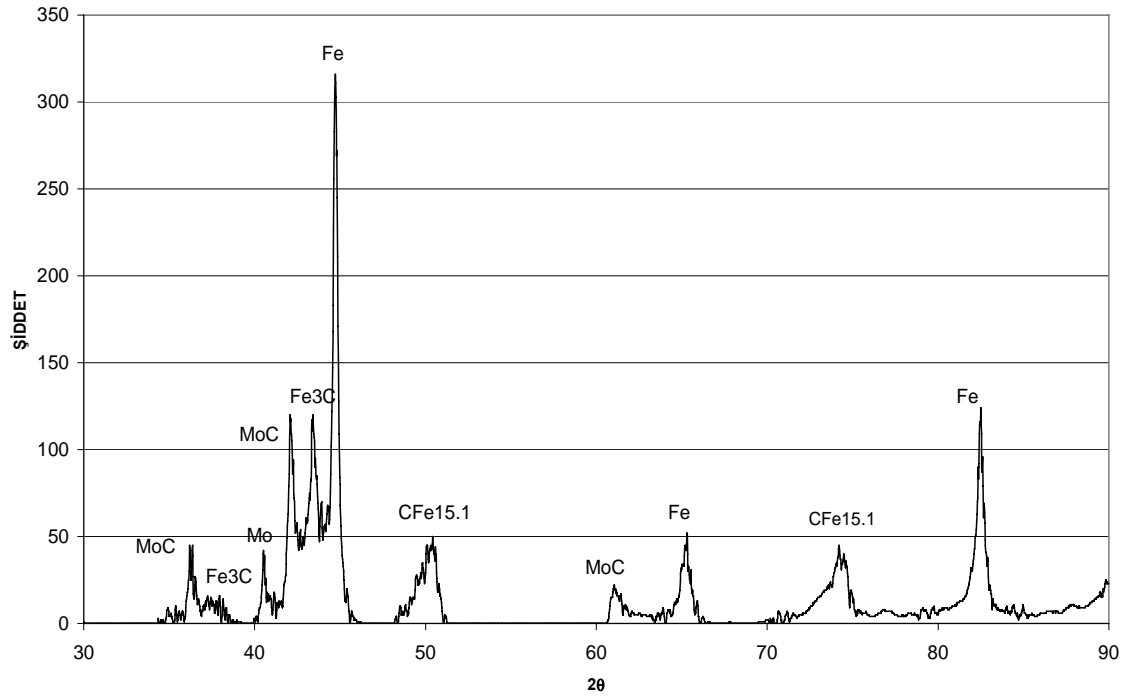


Şekil 8.68 G2 numunesinin x ışını difraksiyonu

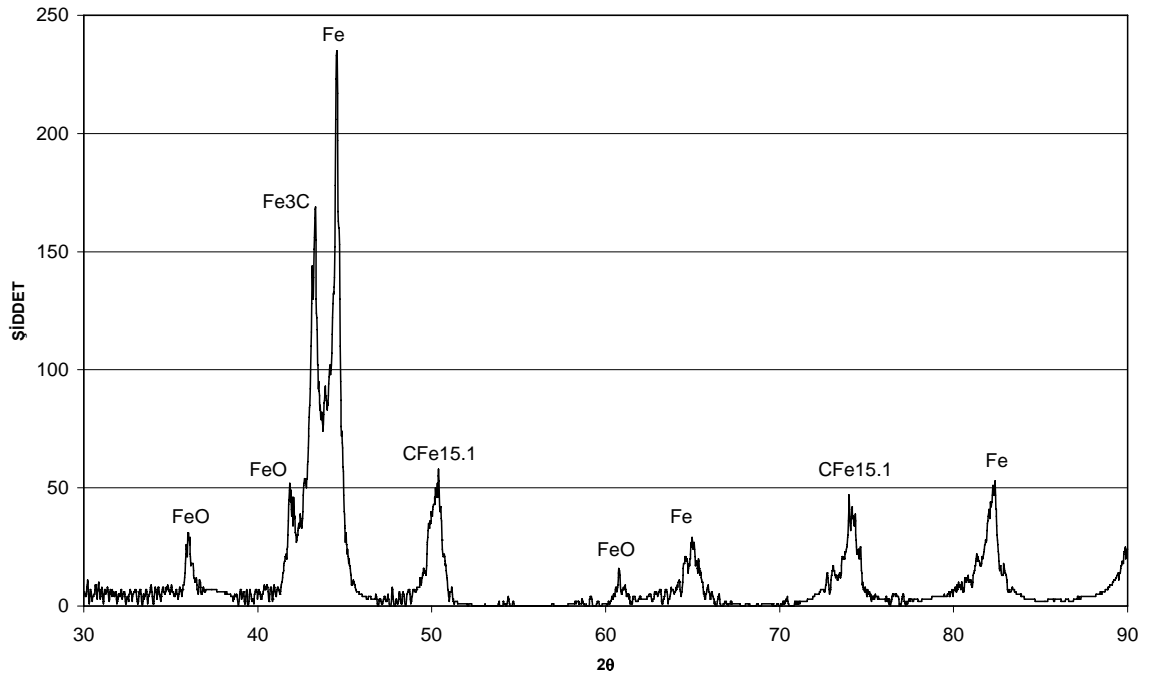


Şekil 8.69 G3 numunesinin x ışını difraksiyonu

Şekil 8.70'de G12 (H=40mm) numunesine ait x ışını difraksiyon paterni verilmiştir. G2 (H=60mm) ile karşılaştırıldığında tüm parametreleri (C=600µF, n=20) aynı olsa da G12 numunesinin nuzul ile numune arasındaki mesafe oranı daha düşüktür. G12 numunesindeki kalıntı östenit yüzünden ve numune-nozul arası mesafenin az olmasından dolayı yüzeyden alınmış mikrosertlik değerindeki düşüşün nedenini desteklemiştir.



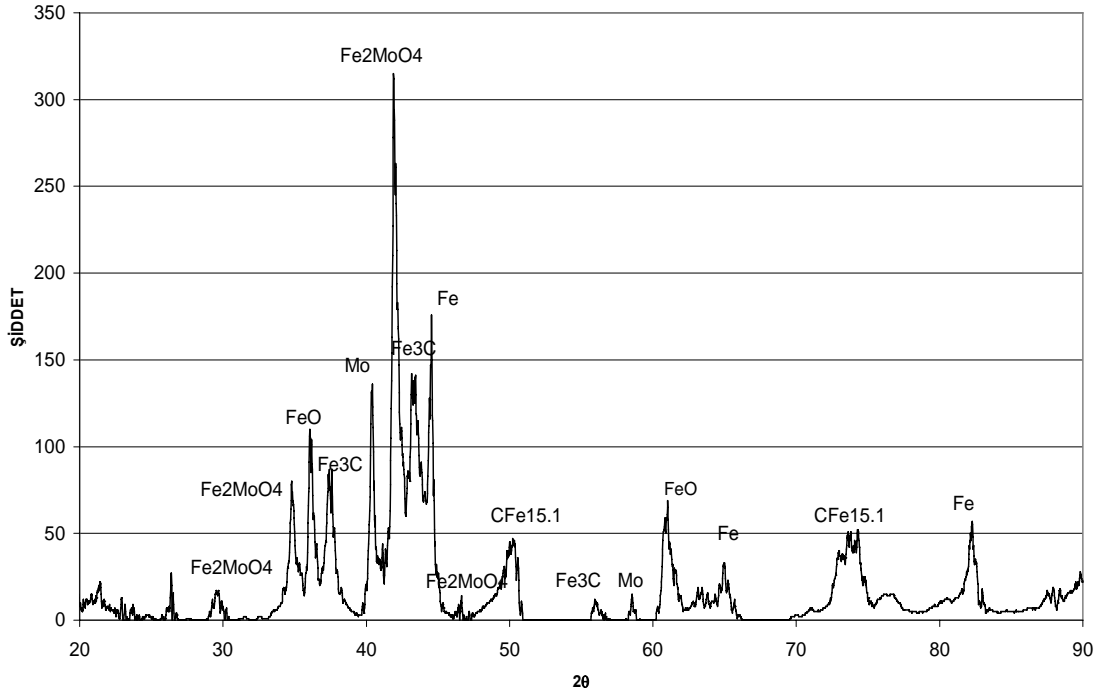
Şekil 8.70 G12 numunesinin x ışını difraksiyonu



Şekil 8.71 G13 numunesinin x ışını difraksiyonu

Şekil 8.71'de G13 numunesine ait x ışını difraksiyon paterni verilmiştir. G13 numunesine 40mm de 30 pulse uygulanmıştır. G12 numunesinden 10 pulse fazla işlem yapılmıştır. Bunun sonucunda FeO pikinde rastlanılmıştır.

Şekil 8.72’de pulse sayısı 50 olan G15 numunesine ait x ışını difraksiyon paterni görülmektedir. F grubu ($C=500\mu F$) numunelerden 50 pulse uygulanmış olan çeliklere göre karşılaştırıldığında yüzeyde farklı olarak oksit piklerine de rastlanılmıştır. Bunun nedeni azalan nozul-numune nesafesi ve artan pil kapasitesine bağlı olarak çelik yüzeyinde ergime meydana gelmiş olabilir ve Fe ile Mo yüzeyde oksit bileşiği oluşturmuş olabilir. Ayrıca sadece Mo pikine rastlanılmış olması yine yüzeyde overlayer Mo tabakasının olduğunu doğrulamaktadır. İşlem esnasında yüzeyde kalan Mo miktarından dolayı modifiye edilen Mo iyonu azalmış olabileceği için modifikasyon tabasında MoC oranı azalmıştır.



Şekil 8.72 G15 numunesinin x ışını difraksiyonu

Tüm numune grupları için XRD analizleri karşılaştırıldığında F grubu ($C=500\mu F$) numunelerde pulse plazma işlemi sonrasında modifikasyon tabasında MoC ve Fe₃C pikleri elde edilmiştir. Artan pulse sayısı ve nozul ile numune arasındaki mesafe artınca piklerin şiddeti de artmaktadır. G grubu ($C=600\mu F$) numunelerde ise MoC ve Fe₃C pikleri elde edilmiştir. Fakat G grubu numunelerde nozul ile numune arasındaki mesafe azalınca x ışınları difraksiyonlarının da oksit pikine de rastlanılmıştır. Ve de karbür oluşturmadan kalan MO piklerine rastlanılmıştır. Bunun nedeni artan pil

kapasitesi yüzünden yüksek enerjiyle iyonize olan Mo elektrod atomik boyutta iyonize olmadığı için yüzeyde overlayer tabaka oluşturmuş olabilir. Bir diğer neden ise azalan nozul ile numune arasındaki mesafe azalınca, iyonize olan Mo yüzeye difüze olabilecek hızı kazanmadan yüzey üzerinde kalması olabilir.

BÖLÜM 9. SONUÇ VE ÖNERİLER

9.1 Sonuçlar

AISI 1090 çelikleri pulse plazma tekniği ile yüzeyleri modifiye edilmiştir. Yapılan optik mikroskop görüntüleri, SEM, XRD ve EDS analizleri, alınan mikrosertlik verileri sonrasında pulse plazma ile modifiye edilmiş AISI 1090 çeliklerinin yüzey özelliklerinin incelenmesi çalışmalarında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

1. Modifiye işleminden sonra modifiye edilmiş numunelerden çıkarılan sertlik profillerinin modifikasyon öncesi numunelerinden daha yüksek sertlik değerler verdiği görülmüştür. En yüksek sertlik değerlerine pil kapasitesi 500 μ F olan, nozul ile numune arası mesafesi 60mm, uygulanan pulse sayısı 40 ve 50 olan numunelerden alınan sertlik değerleri ortalama 950 HV olarak ölçülmüştür.
2. Pulse plazma ile modifiye edilmiş numunelerden, yüksek nozul-numune arası uzaklığa sahip numunelerin daha yüksek sertlik değerleri verdiği gözlemlenmiştir. Dört farklı mesafede (H=60-50-40-30mm) işlem gerçekleştirilmiştir. En yüksek sertlik değerlerinin nozul ile numune arasındaki mesafesi 60mm olan numunelerden elde edildiği görülmüştür.
3. Pil kapasitesi arttığında elde edilen sertlik verilerinin düştüğü görülmüştür. Pil kapasitesi 500 μ F olan numunelerden alınan sertlik profilleri sonrasında pil kapasitesi 600 μ F olan numunelerden daha yüksek olduğu görülmüştür. Pil kapasitesi 500 μ F, nozul numune arası mesafesi 60mm ve 50 pulse uygulanmış numunenin mikrosertlik değeri 950HV ölçülmüşken, pil kapasitesi artırılıp (600 μ F) diğer parametreleri aynı olan (nozul numune arası mesafesi 60mm ve 50 pulse) pulse plazma uygulanmış numunenin mikrosertlik değeri 920 HV elde edilmiştir.

4. Pil kapasitesi arttığında yüzeyde overlayer Mo tabakası oluştuğu görülmüştür. Kapasitesi 600 μ F olan numunelerden alınan EDS ve XRD analizleri sonrasında yüzeyde 3 ila 5 μ m luk bir overlayer tabakanın varlığından söz edilebilir.

5. Pulse sayısı arttığında, nozul ile numune arasındaki mesafe azaldığında yüzeyde ergime olduğu gözlemlenmiştir. Pil kapasitesi 600 μ F, pulse sayısı 40 ve 50 olan, nozul-numune arası mesafesi 30mm olduğunda yüzeyde ergime görülmüştür. Optimum şartlarda pulse sayısı yüksek (n=40-50) ve numune-nozul mesafesi arttığında (H=50mm-60mm) elde edilen sertlik verilerinin yüksek olduğu görülmüştür. Optimum şartlar da pulse plazma işlemi uygulanmış numunelerde mikrosertlik değeri ortalama 890HV olarak elde edilmiştir.

6. AISI 1090 çelikleri için optimum şartlar sağlanmıştır. Pil kapasitesi 500 μ F olan numune grubundan nozul ile numune arasındaki mesafe 50mm ve 60mm, pulse sayısı 40 ve 50 olan numunelerden elde edilen sertlik değerlerinin en yüksek olduğu, 30 pulse uygulanmış numunelerden ortalama 770 HV elde edildiği, 10 ila 20 pulse uygulanmış numunelerin sertlik değerlerinin ise daha düşük olduğu görülmüştür.

7. Pulse plazma teknolojisinde uygun ve yüksek verimde sonuçlar elde etmek için prosesin uygulanma şartlarının önemli olduğu gözlemlenmiştir. Değişen pulse sayısına, pil kapasitesine, nozul ile numune arasındaki mesafeye göre elde edilen yüzey analiz verilerinde farklılıklar gözlemlenmiştir. Alınan mikrosertlik değerlerinin değiştiği gözlemlenmiştir.

9.2. Öneriler

1. Numunelerin aşınma, korozyon, oksidasyon özellikleri araştırılabilir.
2. Pulse plazma uygulanma şartları değiştirilerek yüzey özelliklerine yaptığı etkiler araştırılabilir.

3. Diğer yüzey modifikasyon yöntemleri ile çeliklerin yüzeyleri modifiye edilerek, pulse plazma ile modifiye edilmiş çeliklerin kazandırdığı özellikler kendi aralarında kıyaslanabilir.

4. Diğer yüzey modifikasyon yöntemleri ile çeliklerin yüzeyleri modifiye edildikten sonra, pulse plazma yöntemi uygulanıp sadece pulse plazma teknolojisi uygulanmış çelikler ile yüzey özellikleri karşılaştırılabilir.

BÖLÜM 10. GENEL TARTIŞMA

Maliyeti düşük, kolay temin edilmekte olan sade karbonlu çeliklerin kullanım alanı oldukça yaygındır. Bu tip çeliklerin mekanik özelliklerinin ve yüzey özelliklerinin kullanılacak alana göre geliştirilebilmesi akla gelen düşüncelerdir. Bazı uygulamalarda kullanılan çelik parçaların hem aşınma dirençlerinin, hem de darbe dayanımlarının yüksek olması istenir. Bunun için parçaların yüzeylerinin sert, merkezlerinin olabildiğince yumuşak olması gerekir. Bunu sağlamak için parçalara yüzey sertleştirme işlemleri uygulanır. Beklenen özelliklerin çeşitliliği yüzey mühendisliğindeki önemi arttırmıştır.

Bu çalışmada yeni bir modifikasyon yöntemi olan pulse plazmadan söz edildi. Bu teknoloji yüzeyde bellik bir tabakada yüzey kompozisyonunda bir değişim meydana getirmektedir. Oldukça çabuk ve kolay uygulanabiliyor olması, parça boyutlarında herhangi bir sınırlama olmaması gibi avantajlarında dolayı dikkat çeken bir yöntemdir.

Bu çalışmada kullanılan AISI 1090 çeliklerine farklı parametrelerde (nozül-numune arası mesafe, pil kapasitesi, pulse sayısı) pulse plazma işlemi uygulanmıştır. Amaç sistemi karakterize edebilmektir ve modifikasyon işlemi sonrasında yüzeyde meydana gelen değişimleri incelemektir.

İki farklı grupta analiz numuneleri hazırlanmıştır. F grubu numunelerin pil kapasitesi 500 μ F, G grubu numunelerin pil kapasitesi 600 μ F alınmıştır. Her iki gruba da sırasıyla 10, 20, 30, 40, 50 pulse, nozül ile numune mesafesi 30, 40, 50, 60 mm olan mesafelerle uygulanmıştır.

Tüm numuneler bu şekilde modifiye edildikten sonra kesitlerinden alınmış fotoğraflar incelendiğinde ortalama 30 μ m luk modifikasyon tabakası elde edilmiştir.

Alınan mikrosertlik verilerinde pulse sayısı arttıkça sertlik değerlerinin arttığı aynı şekilde nozul ile numune arasındaki mesafe artınca sertlik değerlerinin arttığı görülmüştür. Nozul-numune mesafesi azalınca numune yüzeyinde ısınma meydana gelmekte. Buda yüzeyde yeniden kristalleşme tavlamasına neden olmuştur. Ve modifiye edilen alandaki tanelerin tane boyutunun büyümesine sebep olmuştur ve sertlik değerlerinde azalma görülmüştür.

Maksimum mikrosertlik değerleri F grubu numunelerinden elde edilmiştir. 930 HV lik sertlik değerine ulaşılmıştır. İşlem görmemiş çelik yüzeyinden alınan sertlik değeri 230 HV civarındadır. 3 ila 4 katlık sertlik artışı elde edilmiştir.

Uygulanan pil kapasitesi artınca elde edilen sertlik değerleri düşmüştür. Buda artan pil kapasitesi ile birlikte yüzeyde ısınma olduğunu ve tavlama oluşması sonrasında tane boyutunun irileşmesine sebep olduğunu söyleyebiliriz.

Alınan x ışını difraksiyon paterlerinde MoC ve Fe₃C piklerine rastlanılmıştır. Elde edilen bu karbürler sertlik artışının nedeni olmaktadır. Artan pulse sayısına ve artan nozul ile numune arası mesafeye bağlı olarak karbür piklerinde artış görülmektedir. Pil kapasitesi arttığında XRD analizlerinde Fe₂MoO₄ yapısı ile karşılaşıldı. Ayrıca 600µF pil kapasitesi ile uygulanan pulse plazma işlemi sonrasında yüzeyde kalıntı östenit kalmakta. Buda sertlik oranlarında düşüşün nedeni olarak gösterilebilir.

Pil kapasitesi yüksek olan G grubu numunelerden alınan x ışını difraksiyonları sonrasında sadece Mo piklerine rastlanılmıştır. G grubu numunelerinde 3 ila 4 µmlük overlayer Mo tabakası oluşmaktadır. Pil kapasitesinin artması elektrot yüzeyinden daha çok Mo iyonize ediyor olabilmesi ve ayrıca yüksek kapasiteden dolayı iyonize olan Mo'nin atomik boyutlardan daha büyük bir çapla iyonize olarak yüzeye modifiye olamaması vede overlayer tabaka oluşturması bu olayın nedeni olarak açıklanabilir. Alınan EDS çizgi analizlerinde de başlangıçta yüzeyde sadece Mo'nin varlığı Fe pikinin olmaması overlayer tabakanın varlığını desdelemektedir.

KAYNAKLAR

- [1] ZEYTİN, S., “Yüzey İşlemleri Ders Notları” Sakarya Üniversitesi, 2003
- [2] TOPLAN, N., “Plazma Püskürtme Kaplama Tekniği İle Seramik Esaslı Şekilli Parça Üretimi” Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Ens., pp.20-24, 2001
- [3] INGRAM, H.S., SHEPARD, A.P., Metco Flame Spray Handbook, Metco Inc., Newyork, USA, 1965
- [4] SMITH, R.W., NOVAK, R., “Termal Spraying: Advances and Application in USA Thermal Spray Technology and Materials”, Vol.23, no.3, pp. 147-155,1991
- [5] ÜSTEL, F., “Plazma Sprey Kaplama Teknolojisi” Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Ens., pp.15-40, 1995
- [6] KADDAH, H., MCKELLIGET, J., SZEKELY, J., “Heat and Transfer and Fluid Flow in Plasma Sprayed Coatings” Met. Trans. B. Vol.15 B, pp.59-70, 1984
- [7] BOULOS, M., FAUCHAIS, P. Ve PFENDER, E., Thermal Plasmas, Vol. 1, pp.33-43, 1994
- [8] HUNTCHING, W., F., “Tribology, Friction and Wear of Engineering Materials” Adward Arnold., pp.214-226, 1992
- [9] TYURIN, N., Yu., KOLISNICHEHKO, O.V ve TSYGANKOV, N.G., “Pulse Plasma Hardening of Tolls” The Paton Welding Journal, Vol.1, pp.38-43, 2001
- [10] PEIKOSZEWSKI, J., WERNER, Z., LANGER, J., WALIS, L., “Modification of the surface Properties of Materials by Pulsed Plasma Beams” Surface and Coating Technology, Vol. 106, pp.228-233, 1998
- [11] TYURIN, N., Yu., “Pulse Plasma”, Tecnicl Proposal, 2000
- [12] Paton Enstitüsü, Teknik Yayınları, 2001

- [13] WERNWER., Z., PEIKOSZEWSKI, J., BARCZ, GROTZSCHEL, R., PROKERT, F., STANISLAWSKI, J., SZYMCYZK, W., "Alloying of Pd into Ti by Pulsed Plasma Beams", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, pp 767-771, 2001
- [14] AWAZU, K., SAKUDO, N., YASUI, H., SAJI, E., OKAZAKI, K., HASEGAWA, Y., IKENAGA, N., KANDA, K., NAMBO, SAITOH, K., "DLC Films Formed by Hybrid Pulse Plasma Coating (HPPC) System, Surface and Coatings Tech. 136, pp.172-175, 2001
- [15] TONG, X., ZHANG, Z., DU, X., LIU, D., 5th World Seminar on Heat Treatment and Surface Engineering, IFHT'95, Isfahan, Iran, 26-29, pp.599, 1995
- [16] Pulse Plasma Technology and Corresponding Equipment for Formation of Highly Alloyed Micro-Crystalline Layers on a Surface of Metal Tools and Machine Parts, Paton Tech., 2001
- [17] MICHALSKI, A., "Nanocrystalline Iron Layers Produced by The Pulse Plasma Method", Nano Structured Materials, Vol.8, No.6, pp.725-730, 1997
- [18] NAYAL, G., LEWIS, D.B., LEMBKE, M., MÜNZ, W.D., COCKREM, J.E., "Influence of Sample Geometry on The Effect of Pulse Plasma Nitriding of M2 Steels, Surface and Coatings Tech. 111, pp.148-157, 1999
- [19] ROSMEJ, F.B., FAENOV, A. YA., PIKUZ, T.A., FLORA, F., COWAN, R.D., "Inner-Shell Satellite Transitions in Dense Short Pulse Plasmas" J. Quant.Spectrosc.Radiat, Transfer Vol. 58, No.4-6
- [20] KIUCHI, M., MURAI, K., TANAKA, K., TAKECHI, S., SUGIMOTO, S., GOTO, S., "Ion-Assisted Deposition of Copper Using an Inverter Plasmas" Surface and Coating Tech. 136, pp.273-275, 2001
- [21] AWAZU, K., SAKUDA, N., KANDA, K., NAMBO, "Development of Hybrid Pulse Plasma Coating System" Surface and Coatings Tech.136, pp.23-27, 2001
- [22] BROWN, I., G., GODECHOT, X., "Phys. Of Hybrid Plasma" Appl. Phys. Lett., pp.1392, 1991
- [23] YARALI, Y., "Pulse Plasma Teknolojisi ile Çeliklerde Yüzey Modifikasyonları", Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Ens., 2003
- [24] TYURIN, N., "Pulse Plasma Thermocycling Treatment" The E.O. Paton Electric Welding Institute, www.i.com.ua/tyurin
- [25] TYURIN, N., ZHADKEVICH, M., L., GUBENKO, B., KOLISNICHENKO, O., "Features Of Pulsed-Plasma Alloying Of The Surface Of Iron-Base Alloys", The E.O. Paton Electric Welding Institute.

- [26] TYURIN, N., “Structuring of Surface of Metal Parts”, The E.O. Paton Electric Welding Institute, www.i.com.ua/ytyurin
- [27] ZEYTİN, S. “Isıl İşlem Ders Notları” Sakarya Üniversitesi, 2000
- [28] SMITH, F. WILLIAM “Mühendislik Alaşımının Yapı ;Özellikleri”, 268-270. 2000
- [29] ERDEMİR, “Çelik Yüzeylerinin Kaplanması” Erdemir Bilin ve Teknoloji, 95-115, 2006

ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında Almanya'nın Köln şehrinde doğmuştur. İlk eğitimine Almanya'da başladıktan sonra ilk ve orta eğitimini Eskişehir'de tamamlamıştır. 1999 yılında Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünü kazanmış, 2003 yılında iyi derecede eğitimini tamamlamıştır. 2003-2004 yılları arasında bir yıl hazırlık okuduktan sonra aynı yılda Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde yüksek lisans eğitimine başlama hakkı kazanmıştır. 2005 yılında Sakarya Üniversitesinde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başlamıştır. Halen Sakarya Üniversitesinde göreve devam etmektedir.

Aysun AYDAY