



T.C.
İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI KAPLAMA TEKNİKLERİ İLE KAPLANMIŞ DUŞLU MASA
ROLLERİNİN YÜKSEK SICAKLIK AŞINMA VE KOROZYON
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

Ahmet ÇÜRÜK

**İLERİ METALURJİ VE MALZEME TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**HATAY
EYLÜL-2017**

T.C.

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FARKLI KAPLAMA TEKNİKLERİ İLE KAPLANMIŞ DUŞLU MASA
ROLLERİNİN YÜKSEK SICAKLIK AŞINMA VE KOROZYON
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

Ahmet ÇÜRÜK

**İLERİ METALURJİ VE MALZEME TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**HATAY
EYLÜL-2017**

6.09.2017

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını ve tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu beyan ederim.

Ahmet ÇÜRÜK

ÖZET

Demir çelik sektörü Türkiye ve bölgemiz (İskenderun-Payas-Osmaniye) açısından büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada demir çelik endüstrisindeki sıcak haddeleme kademesinin önemli bir kısmı olan duşlu masa rollerinin mevcut alev sprej kaplama hallerine alternatif olarak difüzyonel kaplama yöntemleri (TiC kaplama, borlama, borotitanyumlama) ile kaplanabilirliği çalışılmıştır. Kaplama işlemi sonrası numuneler optik, SEM, EDS, XRD, tabaka kalınlığı, mikrosertlik ve yüzey pürüzlülüğü incelenerek elde edilen kaplamaların karakteristik özellikleri ortaya konmuştur. Ardından duşlu masa rollerinin çalışma koşulları gözönünde bulundurularak 4 farklı kaplama tabakası yüksek sıcaklık aşınma ve %3,5 NaCl çözeltisinde elektrokimyasal korozyon testine tabi tutulmuş ve yüzeylerin SEM ve EDS analizleri ile incelenerek birbirleriyle ve işlemsiz STKM-13A çeliği ile kıyaslanmıştır.

Kaplama tekniklerine bağlı olarak 5- 1300 µm kaplama kalınlığı ve 851-3179 HV sertlik değerlerine sahip geniş bir aralıkta kaplama tabakaları elde edilmiştir. Yapılan kaplama işlemleri ile STKM-13A çeliğinin aşınma ve korozyon dirençlerinde iyileşme sağlanmıştır. Kaplanmış numuneler arasında en iyi aşınma direnci borotitanyumlanmış numunede, en iyi korozyon direnci ise alev sprej ile kaplanmış numunede elde edilmiştir. Tez çalışması sonuçları göstermiştir ki: Duşlu masa rollerinin aşınma direnci ve korozyon dirençleri iyileştirilerek, takım ömrünün artırılması yoluyla demir çelik endüstrisinde ortaya çıkan haddeleme maliyetlerinin azaltılması ve işletmelerdeki plansız duruşların minimize edilmesinde katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Demir çelik, Kaplama, Aşınma, Korozyon

ABSTRACT

The iron and steel sector is of great importance in both Turkey and our province (Iskenderun-Payas-Osmaniye). In this study, it has been tried to coat the cooling bed roles, which is an important part of the hot rolling stage of the iron and steel industry, with diffusion coating methods (TiC coating, boron, boron-titanium) as an alternative to existing flame spray coatings. Samples after coating the optical properties, SEM, EDS, XRD, layer thickness, microhardness and surface roughness of the coatings have been determined. Then, considering the working conditions of shower table roles, 4 different coating layers were subjected to high temperature abrasion and electrochemical corrosion test in 3.5% NaCl solution, and the surfaces were examined by SEM and EDS analyzes and compared with each other and with untreated STKM-13A steel.

Based used different coating techniques, a wide range of coating layers with a coating thickness of 5 - 1300 μm and hardness values of 851 - 3179 HV were obtained. Improvement of wear and corrosion resistance of STKM-13A steel has been achieved by the coating processes. The best wear resistance among the coated specimens was obtained with the boro-titanium specimen and the best corrosion resistance was obtained with the flame spray coated specimen. The results of the thesis study showed that: Improving the wear resistance and corrosion resistance of the external cooling roller is expected to increase the tool life and reduce the rolling costs of the iron and steel industry and minimize the unplanned stances in the enterprises.

Keywords: Iron and steel, Coating, Wear, Corrosion

TEŞEKKÜR

Öncelikle tez çalışmalarım sırasında gerek bilgi birikimi ve manevi desteği ile gerekse de arkadaşça yaklaşımı ile sürekli yanımda olan, tezimin her adımında bana desteğini esirgemeyen, en önemlisi ise yüksek lisansımın bu aşamasına gelmemi sağlayan lisansüstü danışmanım Yrd. Doç. Dr. Ali GÜNEN hocama sonsuz teşekkürler eder ve saygılarımı sunarım.

Tez çalışmanın çeşitli aşamalarında bilgi birikimleri ve laboratuvar imkânlarından yararlandığım başta Doç. Dr. Mustafa Sabri GÖK, Yrd. Doç. Dr. Erdoğan KANCA, Prof. Dr. İsmail Hakkı KARAHAN hocalarım ve Araştırma görevlisi Mehmet DEMİR ve Araştırma Görevlisi Ali TOZAR, MMK Turkey çalışanları Betül SOYLU ve Fatih BEKTAŞ ile İsdemir çalışanı Ali KOCA'ya teşekkürlerimi sunarım.

Tezin kontrol edilmesi ve eksikliklerinin giderilmesi hususunda verdikleri destekten dolayı sayın jüri üyeleri Prof. Dr. Ahmet YAPICI ve Doç. Dr. Mustafa Serdar KARAKAŞ hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans çalışmalarımın sürdürülmesi konusunda her zaman yanımda olan, makale çalışmalarında ve her konuda desteklerini esirgemeyen İSKENDERUN DEMİR ve ÇELİK A.Ş. Sıcak Haddehane Müdürü Ayhan AYDIN ve Mekanik Bakım Başmühendisi Kıvanç M. ÖZÜTOK'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak lisansüstü çalışmalarım sırasında bana hiçbir zaman desteğini esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ahmet ÇÜRÜK

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
SİMGELER/KISALTMALAR DİZİNİ.....	XI
1.GİRİŞ.....	1
1.1.Plastik Şekillendirme.....	2
1.2. Demir çelik Ürünleri ve Haddeleme.....	3
1.3. Sıcak Haddehane Ekipmanları.....	5
1.3.1. Tav Fırını.....	6
1.3.2. Kaba Hadde ve Şerit Hadde.....	6
1.3.2.1. Sıcak Haddelirmede Meydana Gelen Fiziksel ve Metalurjik Olaylar.....	7
1.3.3. Bobin Kutusu.....	8
1.3.4. Duşlu Masa Rollerini.....	9
1.3.4.1. Dıştan Soğutmalı Roll.....	10
1.3.4.2. İçten Soğutmalı Roller.....	12
1.3.4.3. Duşlu Masa Roll Hasarları.....	13
1.3.4.3.1. Roll Balans Arızası.....	13
1.3.4.3.2. Roll Yüzey Kaplama Kusurları.....	14
1.3.4.3.3. Roll Yatak Arızaları.....	16
1.3.4.3.4. Roll Kaplin Arızası.....	18
1.3.4.3.5. Soğutma Sistemi Arızaları.....	19
1.3.4.3.6. Yüksek Sıcaklık Etkisiyle Dönme Kusurları.....	20
1.3.4.3.7. Roll Yatak Yağlama Arızaları.....	21
1.3.4.3.8. Yatak Yağ Basıncının Artması İle Dönmeme Kusuru.....	22
1.3.5. DM Rollerindeki Arıza Durumunda Meydana Gelebilecek Kayıplar.....	22

1.4. Yüzey Modifikasyonu.....	25
1.4.1. Termo Reaktif Difüzyon Tekniği.....	25
1.4.1.1. Borlama.....	26
1.4.1.2. Titanyumlama ve Titanyum Karbür Kaplamalar.....	29
1.4.1.3. Boro-Titanyumlama.....	31
1.5. Termal Sprey Kaplamalar.....	32
1.5.1. Alev Sprey Yöntemi.....	33
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	35
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	37
3.1. Materyal.....	37
3.2. Kaplama Yöntemleri ve Tozlarının Belirlenmesi.....	37
3.3. Roll Malzemesinin Temini ve Kaplama İşlemi İçin Hazırlanması.....	37
3.4. TRD İşlemlerinde Kontrollü Atmosfer Ortamının Sağlanması.....	38
3.5. Kaplama İşlemlerinin Gerçekleştirilmesi.....	39
3.6. Numune Alma ve Metalografik Muayene.....	39
3.7. Kaplama Tabakalarının Sertlik Ölçümlerinin Yapılması.....	41
3.8. XRD Analiz Çalışmaları.....	42
3.9. Yüksek Sıcaklık Aşınma Testinin Uygulanması.....	43
3.10. Korozyon Özelliklerinin Belirlenmesi.....	44
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	45
4.1. Metalografi Çalışmaları ve Yüzey Karakterizasyonu.....	45
4.2. XRD ve EDS Analizleri.....	49
4.3. Kaplama Tabakası Kalınlıkları ve Mikrosertlik Sonuçlar.....	56
4.4. Elde Edilen Kaplamaların Korozyon Performansları.....	59
4.5. Elde Edilen Kaplamaların Korozyon Performansları.....	87
4.5.1. Açık Devre Potansiyeli Ölçümleri.....	87
4.5.2. Potansiyodinamik Polarizasyon Test Ölçümleri.....	88
4.5.3. Korozyon Deneyine Tabi Tutulmuş Numunelerin SEM ve EDS Analizleri.....	89
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	95
6. KAYNAKLAR.....	97
7. ÖZGEÇMİŞ.....	104

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Borlama Sonucu Oluşan Borür Tabakaları ve Özellikleri	27
Çizelge 1.2. Titanyum Karbürün Özellikleri.....	30
Çizelge 3.1 Deneysel Çalışmalarda Kullanılacak Olan Çeliğin Kimyasal Bileşimi.....	37
Çizelge 4.1. Dört Farklı Kaplama İşlemine Tabi Tutulan STKM-13A Çeliğinin Kaplama Tabakası Kalınlık, Sertlik ve Yüzey Pürüzlülüğü Değerleri	56
Çizelge 4.2. Farklı Kaplama İşlemlerine Tabi Tutulan Numunelerin Tafel Ekstrapolasyon Yöntemiyle Belirlenmiş Korozyon Verileri	89



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Plastik Şekillendirme Yöntemleri.....	2
Şekil 1.2. Düz Haddelme İşleminin Yapılışı.....	3
Şekil 1.3. Sıcak Şerit Haddehanenin Şematik Gösterimi.....	4
Şekil 1.4. a) Sıcak Şerit Hadde Görünümü b) Kaba Hadde Görünümü.....	7
Şekil 1.5. Sıcak Haddelmede Meydana Gelebilecek Metalurjik Olaylar.....	8
Şekil 1.6. Duşlu Masa Rollerini.....	10
Şekil 1.7. Duşlu Masa Dıştan Soğutmalı Roll.....	11
Şekil 1.8. Duşlu Masa İçten Soğutmalı Roll.....	13
Şekil 1.9. Duşlu Masa Rollerini Yüzeyindeki Alev Spray Kaplama Kusuru.....	15
Şekil 1.10. a) Korozyon Başlangıcı b) Ani Darbe Sonucu Kaplama Tabakasının Kalkması c) Darbe ve Termal Genleşme Sonucu Roll'ün Diğer Bölgelerinde Kaplama Atması d) Kaplamanın Tamamen Düşerek Roll'ün Kullanılmaz Duruma Gelmesi.....	16
Şekil 1.11. a) Termal Genleşme İle Salgı Oluşan Roll Rulmanının Hasarlanması b) Sızdırmazlık Keçelerinin Yanması İle Yatak İçeri Hasarlanma.....	17
Şekil 1.12. Roll de Oluşan Salgı Sonrasında Lastik Kaplin Hasarı.....	19
Şekil 1.13. Duşlu Masa Rollerini İçten Soğutma Sisteminin Görünümü.....	20
Şekil 1.14. Termal Sprey Kaplama Yönteminin Şematik Olarak Gösterimi.....	32
Şekil 1.15. Isı kaynaklarına göre termal sprey kaplama tekniklerinin sınıflandırılması (Bergmann and Vicenzi, 2011)......	33
Şekil 1.16. Alev Sprey Yönteminin Şematik Gösterimi.....	34
Şekil 3.1. Roll Görünümü.....	38
Şekil 3.2. İşlem Sırasında Kullanılacak Deney Düzeneği.....	38
Şekil 3.3. a) Hassas Kesme Cihazı b) Soğuk Bakalite Alınmış Numune Görünümü.....	40
Şekil 3.4. OXORD X-MAX Marka SEM Cihazının Görünümü.....	41
Şekil 3.5. Future Tech FM-700 Mikrosertlik Ölçüm Cihazının Görüntüsü.....	42
Şekil 3.6. XRD Analiz Ünitesinin Görünümü.....	43
Şekil 3.7. Yüksek Sıcaklık Ball-on Disk Aşınma Cihazı.....	44
Şekil 4.1. 1000 °C'de 5 Saat Süre İle TİC Kaplama İşlemine Tabi Tutulmuş STKM-13A Çeliğinin 500X Optik Görünümü.....	45

Şekil 4.2.	1000 °C’de 5 Saat Süre İle Ekabor II Tozu İle Borlama İşlemine Tabi Tutulmuş STKM-13A Çeliğinin 200X Optik Görünümü	46
Şekil 4.3.	1000 °C’de 5 Saat Süre İle Ekabor II Tozu İle Borlama ve Ardından 1000 C’de 2 Saat Süre İle Ti-Fe-C Tozu İle Ti-C Kaplama İşlemine Tabi Tutulan Kaplamanın 200X Optik Görünümü	47
Şekil 4.4.	Alev Sprey Yöntemi İle Oluşturulan Kaplamaların 100X Optik Görünümü	48
Şekil 4.5.	a) TiC Kaplama, b) Borlama c) Boro-Titanyumlama d) Alev Sprey Kaplama İşlemi Uygulanmış STKM-13A Malzemesi Üzerinde Oluşan Kaplamaların XRD Analizleri	49
Şekil 4.6.	TiC Kaplama Uygulanmış STKM-13A Çeliğinin SEM Görünümü ve Bölgesel EDS Analizi.....	50
Şekil 4.7.	Borlama İşlemi Uygulanmış STKM-13A Çeliğinin SEM Görünümü ve Bölgesel EDS Analizi.....	52
Şekil 4.8.	Boro-Titanyumlama İşlemi Uygulanmış STKM-13A Çeliğinin SEM Görünümü ve Bölgesel EDS Analizi	53
Şekil 4.9.	Alev Sprey İşlemi Uygulanmış STKM-13A Çeliğinin SEM Görünümü ve Bölgesel EDS Analizi.....	54
Şekil 4.10.	Alev Sprey İşlemi Uygulanmış STKM-13A Çeliğinin EDS Haritalama Görünümü.....	55
Şekil 4.11.	Farklı Kaplama İşlemlerine Tabi Tutulan STKM-13A Çeliğinin Kaplama Bölgesinden Matrise Doğru Sertlik Dağılımının Gösterimi	58
Şekil 4.12.	1 N yük; oda sıcaklığı, 250°C ve 450 °C’de gerçekleştirilen adhezyon aşınma testleri sonucunda numunelerdeki hacim kayıpları grafiksel gösterimi.....	60
Şekil 4.13.	3 N yük; oda sıcaklığı, 250°C ve 450 °C’de gerçekleştirilen adhezyon aşınma testleri sonucunda numunelerdeki hacim kayıpları grafiksel gösterimi.....	61
Şekil 4.14.	İşlemsiz STKM-13A çeliğinin 3N yük ve oda sıcaklığında kuru-kayma aşınma deney sonrası SEM yüzey görünümü a) 300X b) 1000X	63
Şekil 4.15.	İşlemsiz STKM-13A çeliğinin 3N yük ve 250°C sıcaklıkta kuru-kayma aşınma deney sonrası SEM yüzey görünümü a) 100X b) 500X.	64

Şekil 4.16. İşlemsiz STKM-13A çeliğinin 3N yük ve 450°C sıcaklıkta kuru-kayma aşınma deney sonrası SEM yüzey görünümü a)250X b)1000X.	65
Şekil 4.17. İşlemsiz STKM-13A çeliğinin 3N yük altındaki a) oda sıcaklığı b) 450°C’de aşınma deneyi sırasında elde edilen sürtünme katsayısı grafikleri.	66
Şekil 4.18. TRD yöntemi ile TiC kaplanmış STKM-13A çeliğinin 3N yük a) oda sıcaklığı 250X b) 250 °C, 250X c) 450 °C, 150X SEM yüzey görüntüleri.	69
Şekil 4.19. TRD yöntemi ile TiC kaplanmış STKM-13A çeliğinin 3N yük a) 250 °C, 1000X’ b) 450 °C, 2000X büyütmedeki SEM görüntüleri.	70
Şekil 4.20. Delaminasyon tipi aşınmanın oluşum mekanizması (Kato ve diğ., 1999). ..	71
Şekil 4.21. 3 N luk yük ve 450 °C sıcaklıkta yapılan kuru-kayma deney sonrasında aşınma yüzeyinden alınan EDS analizi.	72
Şekil 4.22. Borlama işlemine tabi tutulan STKM-13A çeliğinin 3N yük ve oda sıcaklığında kuru-kayma aşınma deney sonrası SEM yüzey görünümü a) 150X b) 1500X.....	73
Şekil 4.23. Borlama işlemine tabi tutulan STKM-13A çeliğinin 3N yük ve 250 °C sıcaklığında kuru-kayma aşınma deney sonrası SEM yüzey görünümü a) 250X b) 1000X.....	74
Şekil 4.24. Borlama işlemine tabi tutulan STKM-13A çeliğinin 3N yük ve 450 °C sıcaklığında kuru-kayma aşınma deney sonrası SEM yüzey görünümü a) 200X b) 500X.....	75
Şekil 4.25. Borlanmış STKM-13A çeliğinin 3N yük altındaki a) oda sıcaklığı b) 250°C c) 450°C’de aşınma deneyi sırasında elde edilen sürtünme katsayısı grafikleri	77
Şekil 4.26. Boro-titanyumlama işlemine tabi tutulan STKM-13A çeliğinin 3N yük ve oda sıcaklığında kuru-kayma aşınma deney sonrası SEM yüzey görünümü a) 250X b) 500X.....	78
Şekil 4.27. Boro-titanyumlama işlemine tabi tutulan STKM-13A çeliğinin 3N yük ve a) 250 °C sıcaklıkta 1000X b) 450 °C sıcaklıkta 2500X aşınmış yüzeylerin SEM görünümü	79

Şekil 4.28. Boro-titanyumlama işlemine tabi tutulan 3N yük altındaki a) oda sıcaklığı b) 250°C c) 450°C’de aşınma deneyi sırasında elde edilen sürtünme katsayısı grafikleri.....	81
Şekil 4.29. Alev sprej kaplanmış STKM-13A çeliğinin 3N yük ve oda sıcaklığında kuru-kayma aşınma deney sonrası SEM yüzey görünümü a) 200X b) 1000X.....	82
Şekil 4.30. Alev sprej yöntemi ile kaplanmış STKM-13A çeliğinin 3N yük ve 250 °C’de kuru-kayma aşınma deney sonrası SEM yüzey görünümü a) 200X b) 1000X.....	83
Şekil 4.31. Alev sprej yöntemi ile kaplanmış STKM-13A çeliğinin 3N yük ve 450 °C’de kuru-kayma aşınma deney sonrası SEM yüzey görünümü a) 200X b) 500X.....	84
Şekil 4.32. Alev sprej ile kaplanmış numunenin 3N yük altındaki a) oda sıcaklığı b) 250°C c) 450°C’de aşınma deneyi sırasında elde edilen sürtünme katsayısı grafikleri.....	85
Şekil 4.33. Korozyon testine tabi tutulan numunelerin açık devre potansiyel eğrileri. .	86
Şekil 4.34. Korozyon testine tabi tutulan numunelerin Tafel eğrileri.....	88
Şekil 4.35. Korozyon deneyine tabi tutulmuş işlemsiz STKM-13A çeliğinin SEM görünümü ve EDS analizi	90
Şekil 4.36. Korozyon Deneyine Tabi Tutulmuş TiC Kaplamanın SEM Görünümü ve EDS Analizi.....	91
Şekil 4.37. Korozyon Deneyine Tabi Tutulmuş Borlanmış Numune Yüzeyinin SEM Görünümü ve EDS Analizi	92
Şekil 4.38. Korozyon Deneyine Tabi Tutulmuş Boro-Titanyumlanmış Numune Yüzeyinin SEM Görünümü ve EDS Analizi.....	93
Şekil 4.39. Korozyon Deneyine Tabi Tutulmuş Alev Sprej İle Kaplanmış Numune Yüzeyinin SEM Görünümü ve EDS analizi.....	94

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

°C	: Santigrat derece
°	: Derece
C	: Karbon
Mn	: Mangan
Cr	: Krom
V	: Vanadyum
Mo	: Molibden
Si	: Silisyum
Fe	: Demir
B	: Bor
N	: Newton
mm	: Milimetre
Nm	: Newton metre
%	: Yüzde

KISALTMALAR

STKM-13A	: Yüksek Hassas Karbon Çelik Boru
XRD	: X-ışını Difraksiyonu
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
EDS	: Enerji Dağılım Spektrometresi
HV	: Vickers Sertlik Değeri
TRD	: Termoreaktif Difüzyon Tekniği
HRC	: Rockwell Sertlik Değeri
DMR	: Duşlu Masa Rol
TS	: Termal Sprey
CVD	: Kimyasal Buhar Biriktirme
PVD	: Fiziksel Buhar Biriktirme
TiC	: Titanyum Karbür
TiB	: Titanyum Bor
HVOF	: Yüksek Hız Oksijen Yakıt

1. GİRİŞ

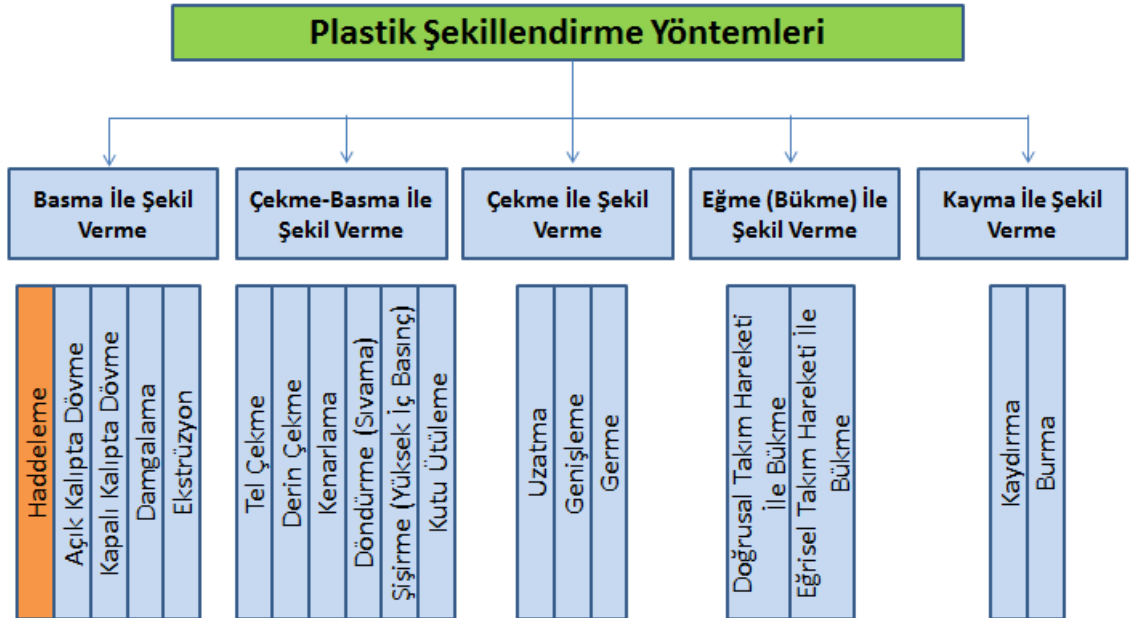
Demir çelik sektörü Türkiye ve bölgemiz (İskenderun-Payas-osmaniye) açısından büyük önem arz etmektedir. Global kriz nedeniyle 2008-2009 yıllarında gerileyen ham çelik üretimi izleyen yıllarda genel olarak yukarı yönlü bir seyir izlemiş, son iki yıllık dönemde hafif gerileyerek 2016'da 1,6 milyar ton olmuştur. Türkiye 2016 yılı itibariyle en fazla üretim yapan sekizinci ülkedir (Bora, 2017). Demir çelik işletmelerinde çeliğin işlenmesinde üretim hızı, süreklilik, işlem uygulamasının kolay oluşu gibi avantajlardan dolayı haddeleme önemli bir yer tutar. Haddelemeyi gerçekleştiren roll malzemelerinin yüksek ısı direnç, yüksek tokluk, iyi yüzey kalitesi, uygun sertlik, iyi aşınma direnci ve termal şoklara karşı dirençli olması gerekmektedir. Bu özelliklerin tamamını bünyesinde barındıran rollerin üretimi zor ve buna bağlı olarak pahalı olacaktır. Roll malzemesinin tamamını yukarıdaki özelliklere sahip malzemeden üretmek yerine yüzey modifikasyonu ile bu özellikleri yüzeye kazandırmak daha ekonomik ve pratik bir yaklaşımdır. Bundan dolayı demir çelik sektöründe sert seramik film ve kompozit kaplamalar son yıllarda önemli gelişim göstermiştir. Demir çelik sektöründe hadde ve merdanelere uygulanan kaplama yöntemlerinin en önemlileri, kimyasal buhar biriktirme (CVD), fiziksel buhar biriktirme (PVD) ve termal spray (TS) yöntemleridir. CVD yönteminde kaplama parçalarının distorsiyon tehlikesi ve uzun işlem süreleri, PVD yönteminde tesis kurma, çalıştırma maliyetinin yüksek olmasına rağmen elde edilen kaplamaların ince oluşu, TS yönteminde ise kaplama tabakasının doğasında var olan porozite, kaplamanın esas malzeme arasındaki bağın zayıf olması bu kaplama metodlarını sınırlandırmaktadır (Astakhov, 2006; Smith, 2008; Chen ve diğ., 2011; Vieira ve diğ., 2015). Bu durum mevcut haliyle termal spreyle kaplı rollerde farklı kaplama çalışmaları yapılmasını zorunlu hale getirmiştir. Bu sebeplerden dolayı bu tez çalışmasında endüstrinin birçok alanında uygulama alanı bulunan, mekanik özellikler bakımından PVD'ye eşdeğer kaplamaların elde edildiği, ekonomik olarak ise hem kurulum maliyeti hem de işlem uygulamaları daha ekonomik olan termo-kimyasal yöntemlerle (borlama, titanyumlama ve borotitanyumlama) kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir.

Kaplama işlemlerinin ardından numuneler mikroyapı, sertlik, yüksek sıcaklık aşınma ve korozyon testlerine tabi tutularak elde edilen sonuçlar birbirleriyle ve mevcut kullanımdaki alev sprej kaplamalar ile kıyaslanmıştır.

1.1. Plastik Şekillendirme

Metallerde kalıcı şekil değişimi sağlayacak biçimde yapılan kontrollü kütle/fiziksel deformasyona “plastik şekillendirme” denir. Plastik şekillendirme işlemi için büyük kuvvetleri üretecek tezgâhlar ve bu kuvvetlere dayanacak takımlar gerekli olsa da talaşlı işçiliği azaltan/gerektirmeyen kullanıma hazır parçalar üretilmesine olanak tanıdığından endüstride yaygın bir kullanım alanı bulunmaktadır. Plastik şekillendirme eğme, basma, çekme, kayma, burma vb. kuvvetlerden biri veya birkaçının eşzamanlı olarak uygulanmasıyla gerçekleştirilir. Bu kuvvetler sonucunda kayma, ikizlenme, tane sınırlarının kayması ve yayınma sürünmesi mekanizmaları ile de plastik deformasyon meydana gelir (Kayalı ve Çimenoglu, 1995; Aydın ve diğ., 2011).

Plastik şekillendirme teknikleri uygulanan gerilmenin yönüne bağlı olarak basma, çekme-basma, çekme, eğme ve kayma olmak üzere ana gruplara ayrılır. Şekil 1.1.’de 5 ana başlık altındaki alt dallar sıralanmaktadır.

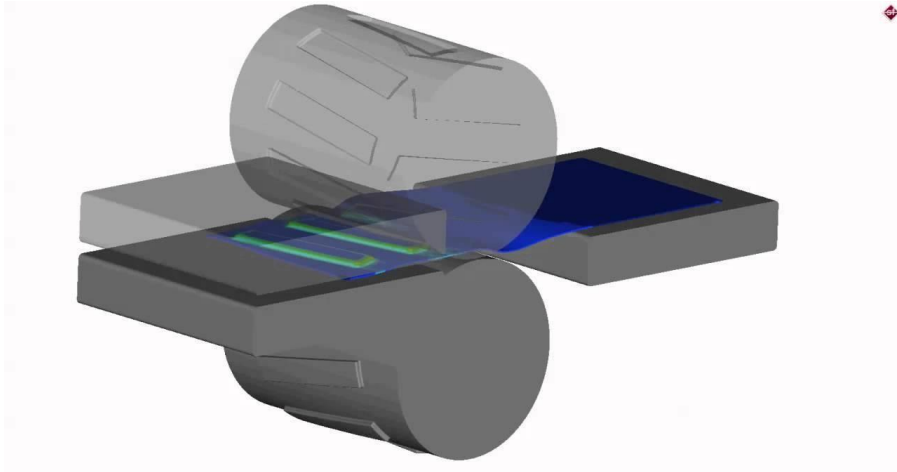


Şekil 1. 1. Plastik şekillendirme yöntemleri (Ersoy, 2013)

Tez kapsamı düşünülduğünde döverek şekillendirmenin alt basamaklarının incelenmesini gerektirmektedir. Döverek şekillendirmenin alt basamakları: Haddeleme, açık kalıpta şekillendirme, kapalı kalıpta şekillendirme, damgalama (darp), ekstrüzyon işlemlerinden oluşmaktadır. Demir çelik işletmelerinde çeliğin işlenmesinde üretim hızı, süreklilik, işlem uygulamasının kolay oluşu gibi avantajlardan dolayı haddeleme önemli bir yer tutar (Aydın ve diğ., 2011).

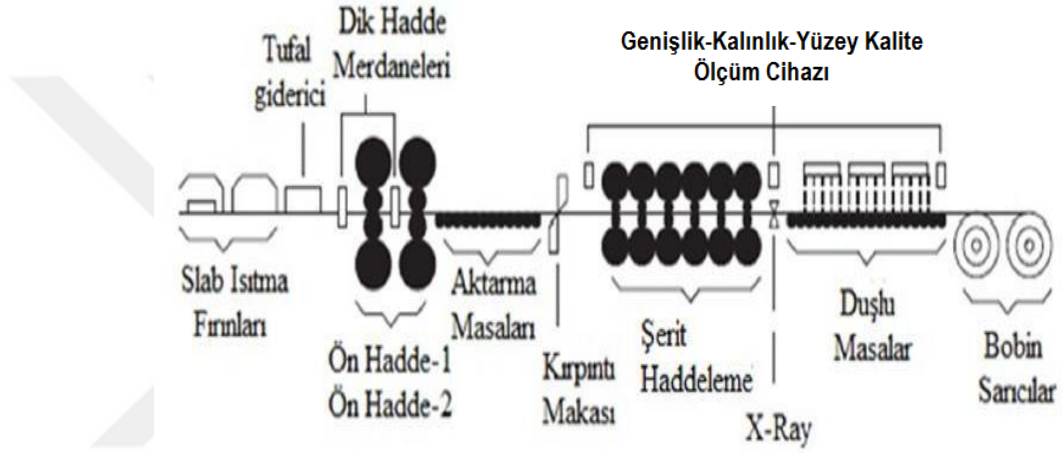
1.2. Demir Çelik Ürünleri ve Haddeleme

Ergimiş metalin su ile soğutulan, iki ucu açık bir kalıptan geçirilerek katı hale dönüştürülmesi yöntemine sürekli döküm denmektedir. Genellikle şekilsiz veya az şekilli uzun parçaların dökümü yapılır (Aktaş B., 2016). Bu parçalar slab, kütük ve blum gibi ara ürünlerden meydana gelmektedir. Bu ara ürünler, sıcak haddeleme tesislerinde belirli bir sıcaklık değerine fırınlar yardımı ile ısıtılarak haddelenmekte ve son ürün ya da son ara ürün olarak elde edilmektedir. Haddeleme işlemi, kendi eksenini etrafında dönen haddeleme merdanelerinin arasından ısıtılmış çelik malzemenin geçirilerek plastik şekillendirilmesi olarak tanımlanabilir. Yassı çelik (sac) haddeleme ise, kendi eksenleri etrafında dönen merdaneler arasından slab adı verilen çelik malzemenin geçirilmesi sonucunda sac elde etme işlemidir.



Şekil 1. 2. Düz haddeleme işleminin yapılışı (URL-1)

Genel anlamda haddeleme, malzemelere, bir kalıp yardımıyla plastik (kalıcı) şekil verilmesi işlemidir. Haddeleme denilince metallerin haddelemesi öncelikle akla gelmektedir. Metalik malzemelerin uzun ya da yassı ürün haline getirilmesi, hadde adı verilen kalıplarla haddelenmesi işlemi ile gerçekleştirilir. Plastik şekil vermenin en önemli kısmı haddeleme ile yapılmaktadır. Şekil verilecek olan malzeme, birbirine zıt yönde dönen iki veya daha çok silindirin (merdaneler) arasından geçirilerek yeniden boyutlandırılır. Haddelemede ilk amaç, haddelenecek malzemeyi sıkıştırmak yani daha yoğun hale getirmektir. İkinci amaç malzemeyi daha küçük bir kesit haline getirmektir (Altınkaya ve diğ. 2013)



Şekil 1. 3. Sıcak şerit haddehanenin şematik gösterimi (İsdemir, 2007)

Sıcak ve soğuk haddeleme yöntemlerini birbirinden ayırt etmek amacıyla metal fiziğinde yeniden kristalleşme sıcaklığı olarak tanımlanmış bir kavram kullanılır. Yeniden kristalleşme sıcaklığı erime noktası gibi sabit bir malzeme özelliği olmayıp kimyasal bileşim, tavlama süresi, şekil değiştirme oranı, tane büyüklüğü gibi faktörlere bağlı olarak değişebilen bir özelliktir. Ancak, yeniden kristalleşme sıcaklığı genel anlamda, plastik şekil değişimine uğramış bir malzemenin bir saat içerisinde yeniden kristalleşmesini tamamlayabildiği sıcaklık olarak kabul edilir (Körmükçü, 2011). Yeniden kristalleşme sıcaklığının üzerindeki şekil değişimi sıcak şekil değiştirme, bu sıcaklığın altında meydana gelen şekil değişimine ise soğuk şekil değiştirme adı verilir. Haddeleme işleminde de şekil değiştirme işlemi söz konusu olduğundan tanım geçerlidir.

Bundan dolayı yeniden kristalleşme sıcaklığı üzerinde yapılan haddeleme işlemine sıcak haddeleme, yeniden kristalleşme sıcaklığı altında yapılan haddeleme işlemine de soğuk haddeleme işlemi adı verilir (Kayalı ve Çimenoğlu, 1995; Aydın ve diğ., 2011; Körmükçü, 2011).

Öte yandan sıcak şekil verme sıcaklığı yeniden kristalleşme için gerekli olan en düşük sıcaklıktan oldukça yüksektir. Sıcak haddeleme (şekil verme) işlemi öncesi malzeme sıcaklığı 1000 °C civarında iken soğuk haddeleme işleminde oda sıcaklığındadır (Çapan, 2003). Yassı ürünün sıcak olarak haddelenmesinde, merdaneler arasındaki basma şekil değişimi ile uygun sıcaklıktaki slab öncelikle haddeleme yönünde uzar. Sıcak haddeleme işlemi sürekli olduğundan şekil değişim hızı giderek artar ve malzemenin yeniden kristalleşmesi büyük ölçüde bir hadde tezgâhından diğer hadde tezgâhına geçerken meydana gelir. Yüksek şekil değişim oranı gerektiren işlemlerde ısı kaybını minimuma indirmek için işlemler birbiri ardına yapılır. Aynı yönde birbirini izleyen çok sayıdaki işlem basamağı önceden belirlenmiş kalınlık ve genişliklerin elde edilmesini sağlar.

Yassı ürünlerin soğuk haddelenmesinde, sıcak haddelenmiş ürünler kullanılır. Ancak sıcak haddeleme işleminden sonra reaksiyon sonucunda yüzeyde oksitler oluşur ve bu oksitlerin giderilmesi gerekir. Bu nedenle üretilen bobinler asit banyosundan geçirilir ve bobin soğuk haddeleme için uygun hale getirilir. Daha sonra talep edilen ölçülerde haddeleme yapılarak nihai ürün elde edilir.

Yassı ürünler, ihtiyaçlar doğrultusunda üretilirler. Bobinler, 1.2 mm ile 22 mm arasında değişen kalınlıklarda ve 900 mm ile 2050 mm arasında genişliğe sahiptirler. Bu üretilen bobinler son ürün olmamakla birlikte, istenilen net ölçüler, ikincil işlemlerden sonra elde edilmektedir.

1.3. Sıcak Haddehane Ekipmanları

Yassı çelik üretimi yapan demir çelik fabrikalarının haddeleme sisteminde sıcak şerit hadde sistemleri yer alır. Şerit hadde grubu genellikle 6-7 hadde standından meydana gelir.

Entegre demir çelik fabrikalarında haddehane tesisi işlem sırasına göre: tav fırını, birinci tufal kırıcı, kaba hadde, bobin kutusu, kırpıntı makas, ikinci tufal kırıcı, son haddeleme, duşlu masa rolleri ve bobin sarma kısımlarından oluşur (İsdemir, 2007).

1.3.1. Tav Fırını

Sürekli döküm süreçleri neticesinde elde edilen 6, 8, 10 ve 12 metre slablar, tav fırınlarında 1250 C'ye kadar ısıtılarak şekillendirmeye hazır hale getirilir. Genellikle üretim sürekliliğinin sağlanması için çift fırın kullanılır. Malzeme cinsine göre ısıtma rejimlerinde farklılıklar meydana gelebilmektedir. Uygun ısıtma koşulları uygulanmadığı takdirde slab çatlama ve kırılmaları ile karşı karşıya kalınabilir. Ayrıca haddeleme sistemlerinde de istenmeyen sonuçlara yol açabilir. Bu nedenle uygun malzemenin uygun ısıda ve uygun homojenlikte ısıtılması önemlidir.

1.3.2. Kaba Hadde ve Şerit Hadde

Sıcak şerit üretimi için 1250 C'ye kadar ısıtılmış slab, tufal gidermeden sonra kaba hadde bölgesinde kalınlık yaklaşık 120 – 300 mm'den 20 – 50 mm'ye kadar düşürülür. Kaba hadde bölgesinde kanar ezme sistematiği de vardır ve genişlikler burada nihai hale getirilir. Kaba hadde, tek hadde tezgâhından tersinir olarak her slab için en az 5 en fazla 9 pasoda istenilen transfer kalınlığına getirilir. Transfer genişliğini istenilen ölçülerde tutmak amacıyla kaba hadde merdanelerinin ardına dik hadde merdaneleri prosese eklenmiştir. Dik hadde merdaneleri slabın genişliğini 100 mm kadar daraltabilir fakat paso sayısını arttırmamak ve üretim hızını sabit tutmak amacıyla genişlik daralması 50 mm'yi geçmez.

Transfer malzemesi şerit haddede haddelenmeden önce kırpıntı makasında kafası ve kuyruğu kesilir ve ardından son tufal kırma ünitesine girer. Son tufal kırma ünitesinden çıkan transfer malzemesi kalınlığı 1,2 mm 'e kadar indirgenmek üzere şerit haddeye giriş yapar. Şerit hadde 4 ile 8 tezgâhtan oluşabilir. Çoğunlukla 6 ve 7 tezgâhlı olanlar tercih edilir. Her tezgâhta 2 adet destek merdanesi, 2 adet de iş merdanesi bulunur.

Her tezgâhın iş merdanelerinin şaftları, kavrama yardımıyla dişli kutusuna, dişli kutuları da elektrik motoruna bağlanmıştır. Malzeme ilk 4 tezgahda düşük hız yüksek tork ile çalışırken son 2 veya 3 tezgahda durum tam tersidir.

Kaba haddeleme sistematığı tersinir olmakla birlikte işletmenin ürettiği slab boyutlarına bağlı olarak tek tezgâh veya çoklu tezgâh şeklinde tasarlanabilir.

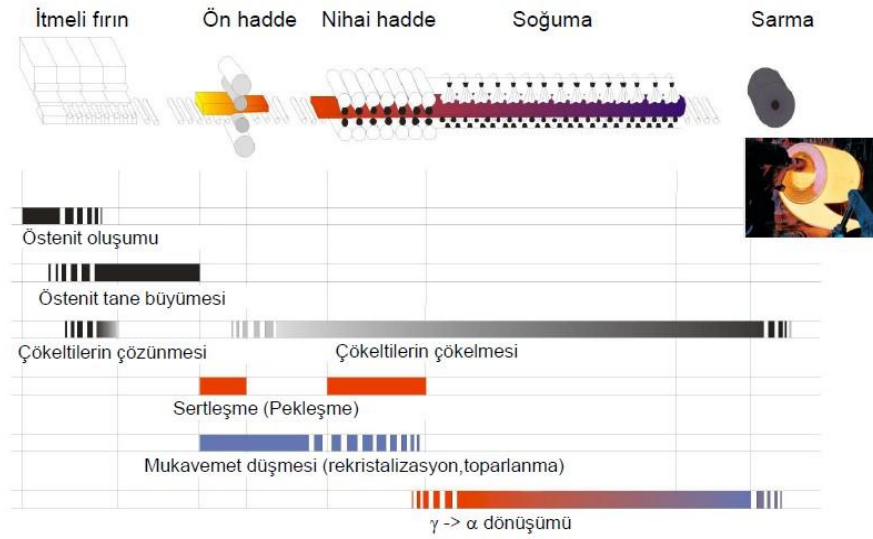
Kaba haddeleme esnasında, tezgahın kendi bünyesindeki yüksek basınçlı su püskürten tufal kırıcıları sayesinde haddeleme esnasında tufal yüzeyden uzaklaştırılır. Kaba haddeleme esnasında malzeme sıcaklığı yüksek olduğundan transfer malzemesi tamamen rekristalize olur. Dolayısıyla malzeme iç gerilmelerinden kurtulmuş ve eşit tane büyüklüğüne sahiptir.



Şekil 1. 4. a) Sıcak şerit hadde görünümü b) Kaba hadde görünümü (İsdemir, 2007)

1.3.2.1. Sıcak Haddelemede Meydana Gelen Fiziksel ve Metalurjik Olaylar

Haddeleme esnasında sıcaklık ve haddeleme proseslerinden kaynaklı malzeme yapısında değişimler meydana gelmektedir. Bu meydana gelen olayların bir kısmı hesaplanan ve istenen olaylar olup diğer bir kısmı ise arzu edilmeyen olaylardır. Bu istenen ve istenmeyen olayları takip edebilmek için sıcak haddelemedeki bütün süreçler deneyim ve birikimler göz önüne alınarak dökümanite edilmiştir. Bu dökümanlar sayesinde takip ve denetim ile istenen kalite sağlanabilmektedir (Ersoy, 2013).



Şekil 1. 5. Sıcak haddede meydana gelebilecek metalurjik olaylar (Ersoy, 2013)

Bobin üretiminde tufal ciddi problemdir. Tufal oluşumunu en aza indirmek veya önlemek amacıyla çok çeşitli önleyici sistemler kullanılmaktadır. Özellikle ince kabul edilen sac üretiminde tufal, malzeme yüzeyinde görünür hasarlar bıraktığı gibi, son ürün elde etme yöntemlerinin uygulanması esnasında da ciddi problemleri beraberinde getirmektedir. O nedenle, tufalin üretilen slab üzerinden atılması ve ısı yayılımını sağlaması için sargı kutusunda kaba haddelenen slab sarılarak ters çevrilmektedir. Böylelikle üst taraf alt tarafa geldiğinden, üst bölümdeki tufaller aşağı düşmektedir. Ayrıca kaba haddeleme sonrasında yeniden sarım ile ısı yayılımını sağlanmakta ve ürün kalitesi artmaktadır (Ersoy, 2013).

1.3.3. Bobin Kutusu

Hızı 20 m/s ve daha fazla olan hadde tesisleri sonunda, alt bobin sarım yer alır ve bu kısımda 2 km uzunluğa kadar olabilen sıcak şerit sarılmaktadır.

Sıcak haddelenmiş sac çökme ve şişme hareketini yapabilen bir mandrel etrafına özel ayarlı unit roller, pinch roller ve yan yolluklar sayesinde sarılır. Yaklaşık olarak 3 – 4 sargı sonrası sarım merdanesi (unit roll) kalkar ve bant ayarlanan mandrele sarılmaya devam eder. Sarım işleminden sonra mandrel gerekli şartları sağlandıktan sonra çöker ve bobin yerinden taşıyıcı arabalar yardımıyla alınarak konveyörlere sevk edilir.

Şerit haddeden çıkan malzeme duşlu masa olarak nitelendirilen bölgede su ile faklı noktalarda ve hesaplanan miktarda su gönderilerek soğutma işlemi yapılır. Bu da malzemenin son sarım sıcaklığını belirler. Aynı zamanda kalite için vazgeçilmez belirleyici bir bölgedir. Duşlu masadaki alt ve üst soğutmada kullanılan sistemlere (header) bağlı olan memeler fiskiyeler yardımı ile su püskürtme sağlanır. Her malzeme için hangi noktalardan ve ne kadar su püskürtüleceği sistemce belirlenir ve otomatik olarak gerçekleştirilir. Üretilen bobinler konveyörler yardımıyla istenen bölgeye sevk edilir ve buradan da taşıyıcı makineler yardımıyla (tong) soğuma ve kalite kontrol sahalarına yönlendirilir. Gerekli kalite çalışmaları yapıldıktan sonra bobinde ne tür bir işlem yapılacağına karar verilir ve diğer birimlere sevk edilerek üretim ve müşteriye sevk aşamaları işlemeye devam eder.

1.3.4. Duşlu Masa Roller

Duşlu masa sistemi, sıcak haddehanelerde malzemeye, mekanik özellikler kazandırmak amacı ile soğutulma işleminin yapıldığı ve malzemenin bobin sarmaya transfer edildiği, birbiri ardına sıralanmış rollerden oluşan masalardır. İşletmedeki rollerin sayısı üretim hızı ve sac kesit kalınlığına göre değişiklik gösterir gelebilir (Güven ve diğ., 2017).

Bu sistemde rollerin yanı sıra, her iki roll arasında malzemenin altını soğutmak amacıyla rol boyunda su fiskiyeleri, benzer şekilde sacın üst kısmını soğutmak amacıyla serbest akışlı su fiskiyeleri kullanılmaktadır. Bu fiskiyeler sadece malzeme soğutma amacıyla kullanılmaktadır. Rollerin soğutulması amacıyla da roll soğutma fiskiyeleri her bir rollün altına monte edilmiştir. Roller ise kendi aralarında içten soğutmalı ve dıştan soğutmalı olarak iki guruba ayrılmaktadır (Çürük ve diğ. 2016).



Şekil 1. 6. Duşlu masa rollerinin görünümü

1.3.4.1. Dıştan Soğutmalı Roll

Dıştan soğutmalı roller, dış ortamdan gözle görülür şekilde soğutma rejimi uygulanan ve kendi eksenini etrafında dönen dairesel ekipmanlardır. Bu ekipmanlar elektrik motor tahrikiyle çalışmaktadır. Motor bağlantıları şaft, dişli/düz kavrama ya da lastik kavrama sistemleri olabilmektedir.

Kaplin bağlantılı sistemler hassas ayar gerektirmektedir. Ayrıca sulu ortamda kullanım ömürleri az olduğundan ve de maliyetli olmasından kaynaklı az tercih edilmektedir.

Arıza veya bakım onarım çalışmalarında düz ya da dişli kaplin kullanımı ek ayar süresi gerektiren ekipmanlardır. Şaftlı bağlantılar da oldukça verimlidir ancak maliyetli olmasının yanında sürekli yağlama ve periyodik bakım gerektirmektedir. Bu da sürekli çalışan haddeleme tesisinde tercih edilmemektedir. Duşlu masa sistemlerinde yüzlerce roll yer aldığından bu kadar çok sayıda şaftın bakım onarımı yüksek maliyet ve bakım süresinin uzun olması anlamına gelmektedir. Bu nedenle en düşük maliyete sahip olan, belirli toleranslar çerçevesinde kavrama ayarı gerektirmeyen ve de bakım onarım süresi kısa olan lastik kaplin tercih edilmektedir.

Lastik kaplinler esnek yapıları gereği montaj kolaylığı sağladığı gibi balans ve salgıları belirli oranda absorbe ederek küçük kusurları ortadan kaldırmaktadır. Bu da seri üretim tesislerinde çok faydalı bir durumdur (Çürük ve diğ., 2016).



Şekil 1. 7. Dıştan soğutmalı duşlu masa rollerinin görünümü

Dıştan soğutmalı roller çift yataklı ekipmanlardır. Her yatakta bir adet silindirik makaralı rulman bulunmaktadır. Rollerin ağır olmaması için içinin boş olması gereklidir. Bu nedenle de boru işleme ile roll ana şasesi elde edilmektedir. Termal spray kaplama yöntemiyle yüzey kaplama işlemi yapılarak sert ve pürüzsüz yüzey elde edilmektedir. Roller yüksek devirlerde dönen ekipmanlardır. Soğutma dıştan fiskiyeler ile sağlanmaktadır. Bu fiskiyeler paslanmaz boru üzerine belirli aralıklarla açılan deliklerden basınçlı suyun roll yüzeyine püskürtülmesi ile sağlanmaktadır. Su püskürtme işlemi, malzemenin üzerinden geçtiği anca yapılmamaktadır.

Bunun nedeni, malzemeye ek soğutma rejimi uygulayarak metalurjik ve mekanik özelliklerin değişmesinin önlenmesidir. Sıcak malzeme roll yüzeyinden temasını keser kesmez soğutma işlemi uygulanmaktadır. Bu durum da sıcak soğuk ilişkisinden kaynaklı çeşitli roll kusurlarına neden olmaktadır.

Bu kusurlar sürekli üretim tesislerinde üretim kesintisinden kaynaklı kayıplar, roll maliyetleri ve işçilik maliyetleri şeklinde çeşitli kayıplara neden olmaktadır (Günen ve diğ. 2017).

1.3.4.2. İçten Soğutmalı Roller

İçten soğutmalı rollerin kullanım amacı, sac kalitesi, sac kalınlığı ve genişliğini ölçmektir. Bundan dolayı elektronik cihazların görüntü kalitesinin net olabilmesi için ortamda su bulunmamalıdır. İçten soğutmalı rollerde, suyun rollün içinden dolaşması neticesinde soğuma işlemi gerçekleşmektedir.

İçten soğutmalı roller dıştan soğutmalı rollere göre daha karmaşık olduğundan yaklaşık 2 kat daha pahalıdır. İçten soğutmalı rollerin su basma ve dönüş hatları rollerin aynı bölgesinden yapılmaktadır. Bunun nedeni suyun roll içerisinde dolaşıp yine aynı noktadan çıkmasının sağlanmasıdır. Roll içerisinde dolanan suyun yatak içerisinde istenmeyen noktalara ulaşmaması için keçe ve conta gibi sızdırmazlık elemanları kullanılmaktadır.

Bunlar hem suyun yatak içine girişini engellemekte hem de yatak içerisindeki yağın kullanım ömrünün tamamlayana kadar dışarı çıkmasını engellemektedir. Yatak içerisindeki keçeler döner mil keçeleri olup yüksek basınç keçeleri değildir. Serbest akış ortamındaki sızmaları engelleyecek yapıdadır. Ancak sıcaklık karşısında dayanımlıdır. Tel sargı ile gevşemelerin önüne geçilmesi ve bağlı olduğu mili sarması için desteklenmiştir (Günen ve diğ., 2017).



Şekil 1. 8. İçten soğutmalı duşlu masa rollerinin görünümü

1.3.4.3. Duşlu Masa Roll Hasarları

Duşlu masa rolleri birçok arıza ile karşı karşıya kalmaktadır. Bunların en temel olanları aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

- Roll balans arızası
- Roll yüzey kaplama hasarı
- Roll yatak arızaları
- Roll kaplin arızası
- Soğutma sistemi arızaları
- Yüksek sıcaklık neticesinde şişme ve dönmeme arızası
- Roll yatak yağ almama arızası
- Yatak yağ basıncı ile şişme arızası

13431. Roll Balans Arızası

Rollerin sürekli yüksek sıcaklık ve sürekli ani soğumaya maruz kalması iç yapı gerilmeleri neticesinde salgı sorunlarını meydana getirmektedir.

Roll iç kısmının ağırlığın alınması için boş bırakılması neticesinde genişleme alanı meydana geldiğinden çok kısa sürede salgı sorunu gerçekleşebilmektedir. Roll salgı ve balans kusurları giderilemeyeceğinden roller hurdaya ayrılmaktadır.

Yüksek maliyetli rollerin balans kusuru meydana getirmemesi için soğutma rejiminin çok iyi sağlanması gerekmektedir. Balans / salgı kusuru roll'ün yüksek devirde salgılı dönmesi ile yatak elemanlarına zarar vermekte, keçe conta gibi sızdırmazlık elemanları hasarlamakta, ana yatak civatalarını radyal yüklere maruz bırakarak gevşetmekte ya da kesmekte ve de malzemeye salgı nedeniyle düzensiz temas ederek leke olarak tabir edilen kusurlara neden olmaktadır. Bu durumlar duşlu masa sisteminde istenmeyen durumlardır. Duşlu masada termal sprey kaplı roller kullanılmasının avantajlarının yanında dezavantajları da bulunmaktadır. Malzeme darbeleri ile roll yüzeyinde çentikler oluşması dairesel turda bir malzeme yüzeyine leke bırakmaktadır. Bu lekeler alt ve üst yüzey ölçüm cihazları ile görülebilse de kaynağının nereden ve hangi roll'den kaynaklı olduğu bulunamamakta ya da çok uzun süren araştırmalar sonucunda bulunabilmektedir.

13432. Roll Yüzey Kaplama Kusurları

Roll yüzeyi sacın nihai şeklini aldığı bölgede yer aldığından çok kritik öneme sahiptir. Şerit haddeleme sisteminden ortalama 900 derecede çıkan sacın doğrudan temas ettiği ve soğutma rejimi ile mekanik özelliklerin kazandırıldığı alanda görev yapmaktadır. Dolayısıyla sacın ostenitleme sıcaklığında son metalurjik özelliklerini kazandığı bölgedir ve yumuşak haldedir. En küçük bir roll yüzey kusuru sacı doğrudan çizecek yada leke şeklinde kusurlar bırakacaktır. Bu da 1,2 mm ye kadar üretim yapan haddeleme tesislerinde çok ciddi müşteri geri dönüşlerini yani şikâyetleri beraberinde getirecektir. O nedenle roll yüzey kusurlarının çok yakından takip edilmesi ve olası hasarlanmada derhal müdahale edilmesi gerekmektedir. Şerit haddeleme sisteminden önce meydana gelecek diğer roll hasarları malzemeye hasar verse bile slab son şeklini almadığından sorun teşkil etmeyecektir. Ancak son şeklini almış sacın son derece hassas şekilde sarılması ve uygun ortamda soğutulması gerekmektedir.



Şekil 1. 9. Duşlu masa rolleri yüzeyindeki alev spray kaplama kusuru

Duşlu masa rollerinde meydana gelen kusurlar, derhal giderilmesi gereken kusurlardır. Bu hasarların giderilmemesi durumunda yüksek maliyetli geri dönüşler meydana gelecektir. Bu kusurların çalışma şartlarına göre değişiklik gösterdiği deneyimlerle belirlenmiştir.

Örneğin çok sıcak, orta sıcak ve soğuk kabul edilen alanlardaki roll kaplama kusurlarında değişiklikler mevcuttur. Özellikle sıcak bölgedeki hasarlar, malzeme üzerinde dönüşü olmayan kusurlara neden olmaktadır.



Şekil 1. 10. a) Korozyon Başlangıcı b) Ani darbe sonucu kaplama tabakasının kalkması c) Darbe ve termal genleşme sonucu roll'ün diğer bölgelerinde kaplama atması d) Kaplamanın tamamen düşerek roll'ün kullanılmaz duruma gelmesi.

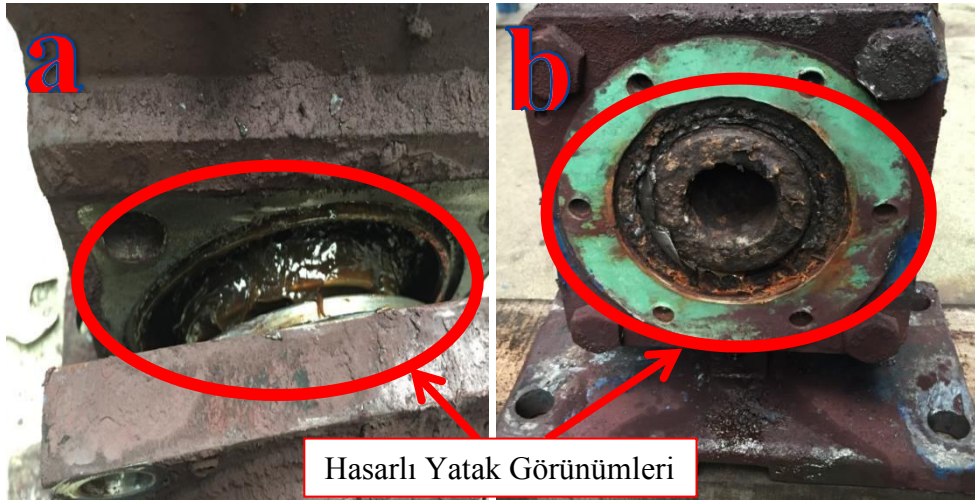
Kaplama kusuru fiziki olarak roll yüzeyine yansımayan ancak kaplama parametrelerindeki hatalara bağlı olarak içyapıda meydana gelen kusurlar da, rollerde salgı kusurlarına yol açmaktadır. Salgılı rollerin de sistem üzerinde çalışması mümkün değildir. Dairesel her turda darbe şeklinde malzemeye vurutular yaparak çeşitli hata izlerine neden olmaktadır.

13433 Roll Yatak Arızaları

Dönmeyen roll sürtünme neticesinde malzemeye zarar vereceğinden dolayı masa rollerinde yatak hasarları meydana geldiğinde rollerin değişimi hemen gerçekleştirilir.

Roll yatak arıza sebepleri: rulman hasarlanması, yatağa su girmesi, gres yağ akışının çeşitli sebeplerle durması, yüksek sıcaklığa maruz kalma, ani ısınma ve soğuma durumları, yatak keçe ve o-ring hasarlanmaları, roll su kelepçesinin hasarlanması, sabit yatakların korozyona uğraması, yatak civata hasarı ile yatak ekseninin bozulması, su kanallarının tıkanması, dış etkilere kaynaklı darbeler, yatağın verimli soğumaması ve fiskiye tıkanmaları gibi birçok nedenden oluşur. Bu hasarlanmalar doğrudan roll'ün ve dolayısıyla haddeleme sisteminin çalışmasına engel teşkil etmektedir. Bu kapsamda belirli tecrübelerden faydalanılarak bakım onarım, kontrol ve üretim proses aşamalarının yakından takip edilmesi gerekmektedir. Arızalanan rollerin değişim gerekmeden sistemin çalışmaya devam etmesinin sağlanması için çeşitli çalışmalar da yapılmaktadır. Bu kapsamda roll'ün bağlı olduğu şase seyyar yapılarak hasarlanma neticesinde bir miktar aşağı (ort. 10 mm) indirilerek malzemeye teması engellenmekte, malzemenin gergi oluşturana dek destek görevini üstlenmektedir. Ancak yüzlerce roll'ün seyyar sisteme dönüştürülmesi ya da kurulumda imal edilmesi yüksek maliyet anlamına gelmektedir. Ancak yaşanan tecrübeler, uzun vadeli kayıpların, kurulum aşamasında bu maliyeti göz önünde bulundurulmasının faydalı olacağı yönündedir. Sistem tasarım aşamalarında tecrübelerden yararlanılmaktadır.

Bu kapsamda ülkemizde haddecilik sektörü sürekli gelişim aşamasındadır. O nedenle birikimlerin bir sonraki süreçte değerlendirilmesi çok önemlidir.



Şekil 1. 11. a) Termal genişleme ile salgı oluşan roll rulmanının hasarlanması b) Sızdırmazlık keçelerinin yanması ile yatak içi hasarlanma

13434 Roll Kaplin Arızası

Roll kaplin hasarlarında roll dönmediğinden haddelenen sac diğer rollerin tahriki ve dönmeyen roll'e sürtünme etkisiyle temas etmesiyle parlak bir yüzey meydana gelmektedir. Özellikle ince malzeme olarak tabir edilen 1,2 - 5 mm malzemelerde ciddi kusur olarak gündeme alındığından proses durmaktadır. Duruş sonrasında ilgili kaplin arızası giderilmektedir. Rollerin motor tahriki ile malzeme hızına entegre şekilde dönmesi esastır. Duşlu masa sistemi öncesindeki sistemlerde bu tür arızalar önem arz etmemektedir. Sürtünmelerden kaynaklı kusurlar şerit haddelemede son bulacağından çok fazla dikkate alınmamaktadır. Ancak duşlu masa sisteminde bu durumu kabul edilebilir değildir. Duşlu masa rollerinde kaplinler genellikle yüksek devir, sıcaklık, su ve çürümüş su buharının etkisiyle kısa sürede hasarlanmaktadır.

Duşlu masa sisteminde çok fazla roll olması seri üretim tesisinde yeterli ve gerekli tam bakımın yapılmasına engeldir. Sadece duşlu masa bakımlarının tam anlamıyla yapılması düşünüldüğünde çok büyük duruşlara neden olacağından üretim prosesi bu durumdan etkilenecektir. Bu kapsamda fırsat bakımlarının çok iyi değerlendirilmesi ve inspektörlük faaliyetlerinin çok yakından takip edilmesi gerekmektedir.

Kaplin türleri çok çeşitli olup, kullanılan motor ve redüktör tiplerine göre kaplin seçilmesi çok önemlidir. Özellikle yüksek devir, yüksek ısı ve su kaplin seçiminde çok önemli etkenlerdir. Uygulanacak tork değerleri de dikkate alınarak gerekli hesaplamalar neticesinde kaplin seçimi yapılabilmektedir. Ancak tesis kurulum ve bakım maliyetlerinin de bu seçimde çok önemli olduğunu bir kez daha ifade etmekte fayda vardır. Redüktör tahrikli sistemlerin kurulumunda kullanılacak olan kaplinler daha farklı olduğu gibi yüksek maliyete sahiptir. Ayrıca kurulum ve ayar maliyetleri de yüksektir. O nedenle duşlu masa rolleri doğrudan motor tahrikiyle çalışmaktadır. Motor tork değeri ihtiyaç duyulan torku karşıladığından da redüktör düşünülmemektedir. Zaten kullanılması durumunda da çok yüksek maliyeti beraberinde getirecektir. O nedenle duşlu masa sisteminde tercih edilmemektedir.



Şekil 1. 12. Roll de oluşan salgı sonrasında lastik kaplin hasarı

13435. Soğutma Sistemi Arızaları

Duşlu masa rolleri hassas imalat aşamaları nedeniyle verimli soğutma rejimine tabii tutulmalıdır. Soğutma sisteminde meydana gelecek kusurların tespiti arıza noktasına kadar belirlenemediğinden çok kritik öneme sahiptir. 400°C - 910°C derece sürekli ısıya maruz kalan genleşmeye elverişli rollerin hasarlanması çok kolaydır. Soğutma suyunun kesilmesinden itibaren 10 dakikalık süreçte roll şişme kusuru olarak tabir edilen genleşme ile sıkışmalar meydana gelmekte ve motor tahriki ile dönmeyen roll üretilen saca zarar vermektedir. Bu durumda ilk müdahale olarak dışarıdan soğutma işlemi uygulanmaktadır. Sonuç alınmaz ise roll değişimi yapılmaktadır.

Soğutma sistemi kusurları genellikle otomasyonel vana arızalarından kaynaklanmaktadır. Otomatik olarak malzeme sonu geldiğinde açılan ve diğer malzemenin yaklaşmasına kadar soğutma işleminin yapılmasını sağlayan vana veya otomasyonel sistemlerdeki arızalarla çok sık karşılaşılmaktadır. Bunların dışında ender olarak su hattı boru hasarlanmaları ve su fiskiye tıkanmaları da yaşanmaktadır.

Bu tür durumlarda kaçaklar hızlıca giderilmeli ve tıkanmalar fiskiye değişimi ile düzeltilmelidir. Bu çalışmalar esnasında da üretim yapılamayacağından çok küçük olduğu düşünülen arızaların bile üretimi durdurduğu göz ardı edilmemelidir.



Şekil 1. 13. Duşlu masa rolleri için soğutma sisteminin görünümü

13436. Yüksek Sıcaklık Etkisiyle Dönme Kusurları

Duşlu masa rolleri yüksek sıcaklığa maruz kaldığında soğuma rejimine kısa sürede maruz kalmaz ise çok küçük sürtünme toleranslarıyla çalışan birleşim noktalarında genişleme etkisiyle şişme meydana gelerek roll'ün dönmesini engellemektedir. Bu durum da roll değişim sebepleri arasında yer almaktadır. Yüksek sıcaklık etkisi yeterli korumanın sağlanamamasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca yeterli soğumama, kapmama kusurları, imalat kusurları ve montaj kusurları da sıcaklık etkisiyle şişme sorunlarını beraberinde getirmektedir. Rollerin iç kısımlarına malzeme soğutma sularının yada roll soğutma sularının girmemesi için çok düşük toleranslarda çalışan ekipmanlar yer almaktadır. Bu kadar düşük toleransta çalışan bu roller küçük genişmeler etkisiyle dönmemektedir. Sürtünme alanlarının imalat aşamasında büyütülmesi de olumsuz bir durumdur. Montaj sonrasında su roll'ün yataklarına girerek çok kısa sürede korozyona ve yine dönmeme sorunlarına neden olabilecektir. Bu tür küçük boyutlu sıkışmaların giderilmesi daha büyük torka sahip motor kullanılması yada redüktör desteği ile sağlanabilir. Ancak süreki bahsettiğimiz gibi yüzlerce roll'e bu tür maliyetli bir çalışmanın yapılması tercih edilmemektedir. O nedenle düşük toleranslarda çalışılabilir şartların oluşturulması gerekmektedir.

Duşlu masa sisteminin hassasiyetinden kaynaklı olarak her türlü küçük kusurlar vakit geçirilmeden giderilmelidir. Aksi takdirde daha büyük arızalara neden olabilecektir. Deneyimlerden yararlanarak ek önlemler alınması gerekmektedir. Bu kapsamda kontrollerin her bir roll için detaylı yapılması gerekmektedir.

13437. Roll Yatak Yağlama Arızaları

Duşlu masa rollerinin yatakları ve su rotary bölgeleri sürekli yağlanmak zorundadır. Seri üretim tesisinde el ile yağlama imkânsız olduğundan otomatik yağlama sistemi kullanılmaktadır. Bu sistemler süreli olarak otomatik olarak yataklara yağ basmaktadır.

Yağ basma işlem süresi kullanıcı veya bakımcı tarafından belirlenecek sürelerde yapılmaktadır. Bu noktada verilerin ve deneyimlerin çok iyi değerlendirilmesi gerekmektedir. Çünkü duşlu masada ilk roll'den başlamak üzere her roll farklı sıcaklığa maruz kalmaktadır. Bu da her roll'ün farklı oranda yağlanması gerektiğinin ifadesidir.

Örneğin ilk 2 roll 910 °C maruz kalırken son roll 400 °C maruz kalmaktadır. Bu durum da yataklara etkiyen sıcaklık değerlerini değiştirdiğinden yağın akışkanlık değerleri farklı olacak ve yatakta durma süreleri değişecektir. İlk rollerin yataklarındaki gres yağları çok kısa sürede ergiyeceğinden çok sık yağlanması gerekmektedir. Ancak 400 °C maruz kalan roll yarı oranda daha geç yağa ihtiyaç duyacaktır. Ancak şu unutulmamalıdır ki; ilk ve son roller için yağlama ayarı kolayca yapılabilir. Ancak 910 °C'den 400 °C'ye düşene dek süren mesafede çok çeşitli sıcaklıklara maruz kalan rollerin yağ ihtiyaçları da çok farklıdır. Bu nedenle genel ayarlamalar 910 °C'lik roll için ayarlanmaktadır. Bu durumun olumsuz etkisi ise; ihtiyacı olmamasına rağmen diğer rollerin gereğinden fazla yağlanmasıdır. Bu durumun önüne geçmek için duşlu masa rolleri guruplara ayrılarak farklı basma pompaları kurulmaktadır. Her roll için bir pompa kurulması çok büyük maliyet olduğundan en az yağ kaybını sağlamak için 5-10 bölüme ayrılan duşlu masanın 5-10 farklı basma süresine sahip pompa ile yağlanması sağlanmaktadır.

Yağlama sisteminin ayarlanması tek başına yeterli değildir. Periyodik olarak yataklar açılarak yağ oranları ve yağ kalitesi kontrol edilmelidir.

Bireysel olarak yağlama hatlarındaki tıkanmalar da roll hasarlanmalarına doğrudan neden olacaktır. Tıkanmaların az miktarda olması için yağlama sistemlerinde bakır borular kullanılmaktadır. Bakır borular korozyona dayanımlıdır ve kolay şekil alabilir olduğundan montaj / de-montaj kolaylığı sağlamaktadır.

13438 Yatak Yağ Basıncının Artması İle Dönmeme Kusuru Oluşması

Duşlu masa rolleri yataklarında döner mil keçesi ve o-ringler bulunmaktadır. Bu sızdırmazlık elemanları yüksek basınçlara karşı dayanımsızdır.

Ancak roll sipariş edilen bazı firmalar çok yüksek basınca dayanıklı hidrolik keçeleri bu yataklarda kullanmaktadır. Kullanıcı tarafından görülemeyen bu keçeler, yatağa giren yağın fazlasını dış ortama atmadığından yatak içerisinde iç basınç oluşmakta ve bu durum da roll'ün dönmemesine neden olmaktadır. İç basıncın alınması için yatak yağlama hattının de-monte edilerek fazla yağın atılması gerekmektedir. Tekrar iç basınç etkisiyle sıkışma olmaması için yağ boşaltım noktalarına çek valf montajlanmalıdır. Eğer çek valf montajlanamıyor ise yataklara delik açılarak iç basınç oluşmaması için yağ akışının sağlanması gerekmektedir. Düşük basınç yağ keçelerinde bu tür durumlar yaşanmayacaktır. Yağ keçe altlarından yatak dışına çıkacaktır. Bu durum yatak boğaz kısmındaki tufallerin de uzaklaştırılmasını sağlayacaktır.

1.3.5. Duşlu Masa Rollerindeki Arıza Durumunda Meydana Gelebilecek Kayıplar

Yukarıda bahsedildiği üzere duşlu masa rolleri birçok sebepten arızalanabilir. Ancak ana arıza sebepleri roll yüzeylerinin kısa sürede aşınması, bozulması ve rollerde salgı meydana gelmesidir. Ayrıca roller yüksek ısı (ani ısınma-soğuma) ve su ortamında sürekli çalıştığından rulmanlar hasarlanabilmektedir.

Bir rollün değişim süresi yaklaşık olarak 4-6 saat aralığındadır. Bu durumda roll değişim çalışması ortalama 4 personel ile yapılabilmektedir. Roll değişim çalışması esnasında sistem de çalışamayacağından 4-6 saat arası üretim kaybı yaşanmış olacaktır.

3 dakikada bir üretim yapan sistemde ortalama ağırlığı 25 ton olan bobin üretimi yapıldığı düşünülürse 2000 – 3000 ton civarında ciddi bir kayıp yaşanacaktır. En düşük oranda aylık 1 adet roll hasarından dolayı duruş düşünüldüğünde yıllık 12 adet roll değiştirilecektir. Bu durumda da en az 24000-36000 ton kayıp anlamına gelmektedir. Birden fazla işletmede bu kayıplar göz önüne alındığında çok daha büyük ölçeklerde üretim kayıpları meydana gelecektir.

Duşlu masa rollerinin üzerine haddeleme esnasında baskı kuvveti uygulanmaktadır. Bunun nedeni de sarım esnasında haddelenen ve bir taraftan sarılmakta olan sıcak malzemenin gergin sarılma ihtiyacıdır.

Gergi oluşmadan sarılan sacın iç çapı soğuma sonucunda dairesel şeklini kaybederek geometrik şekli bozulduğundan kullanıcı firma tarafından işlenememektedir. Sıkı bir sarım elde edilebilmesi için de haddeleme ve sarım ekipmanları arasında saca hasar vermeyecek boyutta gergi oluşturulmalıdır. Bu durumda da rollere basma kuvveti uygulanmaktadır ve bu baskı da aşınmalara neden olmaktadır. Haddelenen sacın arka kısmı haddeleme sisteminden kurtulduktan sonra mandrel bölgesindeki baskı rol (pinch roll) sistemi gergi yaparak kalan kısmının gergin olarak sarılmasını sağlamaktadır. Ayrıca haddeleme esnasında şerit haddeleme sisteminde meydana gelebilecek olumsuzluk durumunda haddelenen sacın şerit hadde bölgesine yığılmaması için parçalanmış veya hasarlanmış sac doğrudan düşlü masa sistemine gönderilmektedir. Mekanik sistemlere takılan, hasarlı olduğu tespit edilen veya herhangi bir arızanın meydana gelmesi durumunda üretimin durması ve bu esnada sistem üzerinde haddelenmekte olan sacın yığılması ana ekipmanlara zarar vermemesi için haddeleme kısmından mümkün olan en kısa sürede kurtulması sağlanmaktadır. Bu durumda her türlü hasarlı sacın düşlü masa rolleri üzerine gelmesine ve rollere hasar vermesine sebep olabilmektedir. Ayrıca malzemenin düşlü masa üzerinden alınması için parçalar halinde kesilmesi ve manyetik sistemle alınması gerekmektedir. Bu esnada da kuvvet, şaloma alevi ve ciddi darbelere maruz kalabilmektedir.

Düşlü masa rolleri doğrudan motor tahriki ile hareket ettiğinden ve redüktör kullanılmadığından (değişken devirlere uyum sağlaması için) yüksek devirlerde dönmektedirler.

Malzeme kalınlıkları sürekli değiştiğinden roll devir sayısı da bu doğrultuda sürekli farklılıklar göstermektedir. Bu durumda da enerji sarfiyatının düşük olması ve hareket kabiliyetinin yüksek olması için rollerin hafif olması gerekmektedir. Hafifliğin sağlanması için roll içleri boştur ve sadece yüklenici destekler bulunmaktadır. Boş olan bu iç yapıya su geçişinin olmaması için de dönen ve sabit kısımlardaki boşluk toleransları çok düşüktür. Bu durumun avantajları olduğu gibi dezavantajları da bulunmaktadır.

Darbeler ve yüksek sıcaklık sonucunda kaplamanın adhezyon kuvveti zayıf ise (mevcut rollerdeki alev türü kaplamalar) roll bu durumdan etkilenmekte ve toleransı düşük olan kısımlar birbirine sürterek rollün dönmesini engellemektedir.

Ayrıca kalın malzemelerin üretimi esnasında baş kısımları aşağı yönde son haddeleme sisteminden çıkmakta ve rollerin her birine sert şekilde vurarak yoluna devam etmektedir. Bu durumda da soğuma etkisiyle sertleşen sacın baş kısmı roll yüzeyine ciddi ve keskin darbeler yapmaktadır. Bu darbeler ana malzeme ile kimyasal bir bağa sahip olmayan mevcut yüzey kaplamasına ciddi hasarlar (termal spray ile üretilen kaplamalarda soyulma-bölgesel dökülme) vermektedir. Bu hasarlanmalar sadece rolle zarar vermemektedir. Üretilen bir sonraki sacın gergi esnasında yüzeylerinde leke veya iz şeklinde hasarlar oluşturmaktadır. Bu durum da seri üretim yapan işletmelerde istenmeyen temel sorunlardan bir tanesidir. Birçok rollün kullanıldığı bu sistemlerde arıza tespiti de oldukça zordur ve tespit çalışmaları da ayrıca üretim kayıplarına neden olmaktadır.

Duşlu masa sisteminde soğutma rejimi haddeleme bitimi sonrası yaklaşık 30 metre sonrasında başlamaktadır. Çünkü haddeleme sonrasında malzemenin soğuma rejimine girmeden genişlik, kalınlık ve yüzey kalite ölçümlerinin yapılması gerekmektedir. Bu bölgede bulunan roller doğrudan haddeleme sonrası yaklaşık 880-950 °C'ye sahip çelik malzemenin ısısına maruz kalmaktadır. Isının yanı sıra haddeleme sonrası sac üzerinde gelen tufaller sulu ortam olmadığından atılamamakta ve roll yüzeyine yapışarak-batarak hem üretilen ürüne hem de rol üzerindeki kaplamaya zarar verebilmektedir. Roll yüzeyinde kalan ve kaplamaya zarar veren bu tufaller giderek hasar oranını artırmakta ve roll çevresine doğru yayılmaktadır. Yayılma neticesinde roll sabit ve hareketli kısımlarına giren tufal rollün dönmesini engellemekte ve hasarlanarak üretim kayıplarına neden olabilmektedir.

Ayrıca haddelemeden çıkan sac çok sıcak olduğundan en küçük leke durumunda dahi sac yüzeyine hasar verebilmektedir. Bu sebeplerden dolayı duşlu masa rollerinde yapılacak iyileştirmeler hem roll ömrü hem de üretilen ürünün kalitesi açısından büyük önem arz etmektedir (Çürük ve diğ. 2016).

1.4. Yüzey Modifikasyon Teknikleri

Günümüzde metal yüzeylerinin dış ortamların etkilerinden korunması, kullanımları sırasında maruz kaldıkları aşınma, sürtünme, korozyon ve yorulma etkilerini en aza indirmek amacıyla çok geniş çeşitlilikte yüzey modifikasyonu işlemleri uygulanmaktadır (ASM, 1995; ASM, 2001). Malzeme yüzeyinin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesinde en kolay ve en ekonomik yöntemlerin başında yüzey sertleştirme işlemleri gelir (Güven ve diğ., 2017). Bu yöntemler malzeme yüzeyinde nitrür, karbür veya borür oluşturularak yüzeyin sert, mukavemetli ve aşınmaya dayanıklı olmasını sağlarken matris kısmında herhangi bir sertlik değişimi meydana getirmediklerinden dolayı statik ve dinamik yüklere maruz kalan malzemelerde meydana gelecek enerjiyi absorbe ederek tokluk sağlar (Ulutan ve diğ., 2010).

Yüzey sertleştirme işlemlerinin başında termal spray kaplamalar (TS), kimyasal buhar biriktirme (CVD), fiziksel buhar biriktirme (PVD), karbürleme, nitrürleme, borlama ve termo-reaktif (titanyumlama, vanadyumlama, niyobyumlama vb.) (TRD) yöntemleri gelmektedir (Dilektaş, 2014). Bu yöntemlerin birbirine göre avantaj ve dezavantajları vardır.

1.4.1. Termo - Reaktif Difüzyon Tekniği

Termokimyasal difüzyon işlemleri kavramı, karbürleme, dekarbürizasyon, borlama, nitrürleme, niyobyumlama, vanadyumlama vb. yöntemleri kapsar (Bhushan, 1987; Aria ve Harper, 1991). Bu yöntemlerde yabancı element atomlarının iş parçasına difüzyonu sonucunda malzemenin yüzeyinin kimyasal bileşimi değişir. Bu yüzey modifikasyonu ile üretilen tabakalar malzemelerin özel kullanım amacına göre uygun özellikler kazandırılmasını sağlar.

Böylece düşük alaşımlı veya alaşımsız çelik yüzeyine alaşım elementi biriktirilerek tribokorozitif ortamlara direnç sağlanmış olur. Bu yöntemlerden, karbürleme, nitrürleme ve borlama en yaygın kullanılan yöntemler iken, daha az yaygınlaşmış metal difüzyon yöntemleri (kromlama, alüminyumlama, niyobyumlama ve karışık vanadyumlama) ile de malzemelerde karbür tabakaları, difüzyon bölgeleri ve çoklu kristal faz yapısına sahip yüzey tabakaları üretilebilir (Yılmaz, 2008; Sinoplu, 2012).

Yayınma türü kaplama proseslerinde, metalik (Ti, V, Nb) veya metalik olmayan (C, N, B) kaplama malzemesi (verici) ile altlık malzemesi arasında kimyasal bir etkileşim söz konusudur. Taban malzemesi ile tabaka arasındaki bu elementel bir alışveriş sonucu altlık - kaplama arasında kuvvetli bağlar oluşur ve bunun sonucunda altlık ile kaplama tabakası arasında yüksek adhezyon kuvvetleri meydana gelir. TRD proseslerinde, yayınma olan elementin atom çapına bağlı olarak, iki türlü yüzey modifikasyonu söz konusudur. Bunların ilki, küçük çaplı atomların altlık malzemesine difüzyonu sonucu arayer katı eriyik veya bileşik (harici) tabaka oluşumudur. Karbonitrürlemede arayer katı eriyik, nitrürleme ve borlamada ise yüzeyde yeni bir bileşik oluşur. İkinci durumda, benzer şekilde büyük çaplı atomlar yer alan katı eriyik oluştururlar; yüzeyde kromlama ve alüminyumlama da olduğu gibi bir bileşik oluşumu söz konusudur. (Aria ve Harper, 1991; Yılmaz, 2008; Sinoplu 2012).

TRD işlemi, karbür, nitrür ve karbonitrür gibi sert ve aşınma direnci yüksek olan tabakaların çelik malzemelerin yüzeyinde oluşturulduğu bir metottur, TRD prosesinde çelik altlık malzemedeki karbon ve azot, vanadyum, niobyum, tantalum, krom, molibden veya tungsten gibi karbür veya nitrür oluşturu elementlerle biriken bir tabaka oluşturmak için difüze olur. Difüze olan karbon ve azot biriken tabakada karbür ve nitrür oluşturu elementlerle altlık malzeme yüzeyinde metalurjik olarak bağlanmış olan karbür ve nitrür kaplamaları yoğun bir şekilde oluşturacak şekilde reaksiyona girer. Termoreaktif difüzyon prosesi; vanadyum (V), niobyum (Nb), titanyum (Ti), krom (Cr) gibi elementlerin 800 - 1250 °C sıcaklığındaki tuz banyosundan metal yüzeyine difüzyon ile nüfuz ettirilmesi sayesinde yüzeyde sert bir karbür tabakasının oluşturulması yöntemidir. Elde edilen yüzey tabakaların sertliği, metal - karbürlerin (TiC, NbC, VC, Cr₂₃C₆) cinsine bağlıdır ve altlık malzemenin sertliğinden bağımsızdır. Bu karbür tabakalarının aşınmaya karşı dirençleri çok yüksektir (Aria ve Harper, 1991; Sarıkaya, 2007).

1.4.1.1. Borlama

Borlama termo-kimyasal bir yüzey modifikasyon metodudur. Uygun bir bor kaynağı kullanılarak yüksek sıcaklıklarda bor atomlarının malzemenin içine yayındırılması yoluyla matris ile kimyasal bir bağa sahip borür fazlarının oluşumu

sağlandığı yayının esaslı bir yüzey sertleştirme işlemidir (Matuschka, 1980; ASM, 1995). Borlama ısıtma işleminde yüzey modifikasyonu genellikle 700-1050 °C sıcaklık ve 30 dk. ile 12 saat sürelerde uygulanır (Güven ve diğ., 2017). Borlama ısıtma işleminde farklı çeşitlikte yöntemler uygulanırsa da katı (kutu borlama), sıvı (borür tuzları içerisinde) ve gaz ortamı en yaygın kullanılan borlama yöntemleridir. Bu yöntemlerin uygulanacak iş parçasına göre avantaj ve dezavantajları vardır. Ancak, kutu semantasyona benzeyen kutu borlama tekniği diğer borlama yöntemlerine göre daha basit ve ekonomikliği ile diğer yöntemlere göre bir adım öne çıkmaktadır (Bayça ve Şahin, 2004, Uslu ve diğ., 2007; Güven ve Kanca, 2017)

Borlama ısıtma işlemi ilk olarak 1895 Moissan tarafından demir esaslı malzemelere uygulanmıştır (Dong ve diğ., 2009). Sonraki yıllarda ise çeliklere (düşük C'lu çelikler, C'lu çelikler, takım çelikleri, paslanmaz çelikler vs.) uygulanmış olsa da son dönemlerde demir dışı metallere (nikel, kobalt, molibden, titanyum vs.) sermetlere hatta süperalaşımlara kadar birçok malzeme grubuna uygulanmıştır (Kulka ve diğ., 2012; Wang ve diğ., 2013; Özdemir ve diğ., 2009; Güneş ve diğ., 2015; Dong ve diğ., 2009; Ataibiş ve Taktak, 2015; Deng ve diğ., 2015; Güven ve diğ., 2017).

Borlama sonucu oluşan borür fazları çeliklerde genellikle Fe₂B (tek fazlı) veya FeB+Fe₂B (çift fazlı) olsa da borlanan malzemenin kimyasal bileşimi, borlama şartları ve borlama maddesine göre Ni-B, Cr-B, Mn-B, V-B gibi fazların da oluştuğu birçok çalışmada rapor edilmiştir (Sinha, 1991; Garcia-Bustos, 2013; Motallebzadeh, 2015). Oluşan fazlar farklı sertlik, ergime derecesi ve termal genişleme katsayısı gibi farklı karakteristiklere sahip olduğundan hangi fazın ne ölçüde oluştuğu malzemenin aşınma ve korozyon dirençleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olacaktır.

Çizelge 1.1 Borlama sonucu oluşan borür tabakaları ve özellikleri (Sinha, 1991)

Borür Fazı	Sertlik (HV)	Ergime derecesi (°C)
FeB	1900-2100	1390
Fe ₂ B	1800-2000
Ni ₂ B	1500
Ni ₃ B	900
Ni ₄ B ₃	1600
Mo ₂ B	1660	3360

MoB ₂	2330	3360
Mo ₂ B ₅	2400-2700	3810
TiB	2500	1900
TiB ₂	3370	2980

Borlama ısııl işleminin karakteristik özellikleri yüksek sertlik, düşük sürtünme katsayısı ve tribo-korozif ortamlardaki yüksek aşınma dirençleridir (Günen ve Kanca, 2017). Borür tabakaları aşınma ve abrazyona karşı sinterlenmiş karbürlerle kıyaslanabilecek bir aşınma direnci gösterirler (Wierzcho'n ve Boenig, 1988; Sinha, 1991; Venkataraman ve Sundararajan, 1995; Hunger ve Trute, 1994). Borlama işlemi aşınma dirençleri bakımından diğer termo-kimyasal işlemlere göre çok daha iyi aşınma dirençleri sunduğu rapor edilmiştir. Borür tabakalarının nitrürlenmiş, karbürlenmiş, karbo-nitrürlenmiş veya krom kaplı numunelere göre 2 katı aşınma dirençleri gösterdikleri birçok çalışmada rapor edilmiştir (Venkataraman ve Sundararajan, 1995; Hunger ve Trute, 1994; Kaouka ve diğ., 2014; Kartal ve diğ., 2011; Campos-Silva ve diğ., 2013; Kulka ve diğ., 2012; Wang ve diğ., 2013).

Borla işleminin korozyon dirençleri üzerindeki etkisi incelendiğinde, borlama işlemi özellikle asidik sıvılarda yüksek korozyon dirençleri büyük dayanıklılık sağlar. Özellikle H₂SO₄, H₃PO₄, HCl asitleri ile Al, Pb ve Zn metallerin sıvı banyolarında borlu malzemelerin korozyon dayanımları çok yüksektir. (Taşçı, 1993; Atik, 1997). Bindal (1991), yüksek Cr'lu çeliklerde borlama ile koruyucu krom oksit yerine daha az koruyucu olan CrB meydana geldiğinden dolayı yüksek alaşımli malzemelerin borlanmasıyla arzu edilen korozyon dirençlerinin elde edilmeyebileceğini belirtmiştir. Campos (2007) borür tabakasının korozyon direnci adlı çalışmasında: borla kaplanmış çeliklerin korozyon direnci büyük oranda kaplamadaki gözeneklerin ve mikro çatlakların oranına bağlı olduğunu belirtmiştir. Gunen ve ark. (2014a ve 2014b) borlama ısııl işleminin AISI 304 paslanmaz çeliğin asidik ortamdaki korozyon dirençlerini 8 kat'a kadar artırdığı ancak tuz püskürtme testinde ise borlama işleminin korozyon direncini %40 oranında azalttığını belirtmişlerdir.

Borlanmış çeliklerin korozyon direçleri incelendiğinde gözenekli ya da çatlaklı borür tabakaları korozyon direnci zayıf olan esas malzemeye korozyon ortamının (çözeltinin) girişine izin verdiği, bunun sonucunda da büyük kütle kaybına neden olduğundan korozyon dirençlerinin sağlanması için elde edilen kaplama tabakalarının porozite, gözenek, çatlak vb. olumsuzlukları içerip içermediğine bağlıdır (Uzun, 2002).

1.4.1.2. Titanyumlama ve Titanyum Karbür Kaplamalar

TRD işleminde malzemenin karbon içeriği önemli bir yere sahiptir. Düşük karbon içerikli demir esaslı malzemelerde metalik tabakalar (alüminyum, krom, titanyum, silisyum), yüksek karbon içeriğinde ise kullanılan ferro alaşımın cinsine bağlı olarak da seramik esaslı tabakalar (krom karbür, titanyum karbür, vanadyum karbür vb.) elde edilir (Yılmaz, 2008).

TRD yöntemiyle üretilen TiC kaplamalar borlama ısıl işlemine benzer şekilde 900-1100 °C aralığında ve genellikle 2-5 saat süre ile daha önceden hazırlanmış toz harmanları veya çözelti ile gerçekleştirilen difüzyonel kaplama prosesleridir.

Toz harmanları ekonomikliği ve kolay bulunabilirliği sebebiyle genellikle ferro alaşımlar kullanılarak hazırlanır. Ancak, ferro alaşımlara göre saflığı daha yüksek metal tozları da kullanılabilir (Sinoplu, 2012).

Titanyum karbür (TiC), ilk olarak Moissan tarafından elektrik ark fırınında gerçekleştirilmiştir. Isıtılmış tel üzerinden $TiCl_4$ gazı geçirilerek düşük miktarlarda üretilmiştir. 1887 yılında TiC titanyumdan ayrı olduğu dökme demir taşıyıcı olarak kullanılmıştır. Shimer hidroklorik asit ilişkisi üzerine çalışması vardır. Moissan TiO_2 tozlarından elektrik ark fırını ile TiC üretimini gerçekleştirmiştir. Bu TiC çok düşük yoğunluktadır, ancak bu yöntem günümüzde kullanılan üretim yöntemlerinin ana temelini oluşturmaktadır. Yüksek kalitede üretim için saf karbon ve titanyum veya titanyum oksit gereklidir (Karaduman, 2010).

Titanyum karbür, iyonik kovalent ve metalik bağlar içermektedir. Alaşımlardaki gibi sabit olmayan bileşime sahiptir. Metalik bağ içermesi titanyum karbürün yüksek sertlik, yüksek bağ enerjisi ve yüksek ergime noktasına sahip olmasını sağlamaktadır. Yüksek elektron enerji seviyesinde iyonik bağlara sahip olmasının sonucudur (Karaduman, 2010).

Çizelge 1.2. Titanyum karbürün özellikleri (Karaduman, 2010)

TİTANYUM KARBÜR	
Yapısı	YMK.B1.NaCl
Lasit Parametresi	0,4328 mm
Uzay Grubu	Fm3m
Pearson Sembolü	cF8
Kompozisyon	TiC _{0,43} - TiC _{0,99}
Molekül Ağırlığı	59,91 g/mol
Renk	Gümüş Gri
Sürtünme Katsayısı %50 Nem İş Çeliği	0,25
Oksidasyon Direnci	800°C'de Havada Yavaş
Kimyasal Direnci	HNO ₃ ,HF ve Halojenlerle Tepkimeye Girmektedir.
Karbon Titanyum Atomik Yarıçap Oranı	0,526
Yoğunluk	4,91 g/cm ³
Ergime Noktası	3067
Bağ Enerjisi (eV)	14,66
Karbon ve Titanyum Arasındaki Elektronegativite Farkı	1,0
Karbon-Titanyum Bağ Uzunluğu	0,2158 mm
Kovalent Bağ Yarıçapı Toplamı	0,2227
Termal İletkenlik, 20°C	21,0 W/mK
Özgül Isı	33,8 J/mole.K
Termal Genleşme	7,4X10 ⁻⁶ /C
Elektrik Direnci	68 µΩ.cm
Vickers Serliği	28-35 GPa
Young Modülü	410-510
Kayma Modülü	186
Poison Oranı	0,191

TRD yöntemiyle oluşturulan tabakaların sertlikleri, elde edilen metal-karbürlerin (TiC, NbC, VC, CrC) cinsine bağlıdır ve matris malzemenin sertliğinden bağımsızdır. Elde edilen karbürlerin aşınma dirençleri çok yüksektir (Aria ve diğ., 1985; Tavakoli ve Mousavi Khoie, 2010). Karbürlerden olan TiC kararlı ve serttir. Sertliği 3200-3800 kg/mm², arasında değişmektedir. Diğer karbürlerin sertlikleri; VC-2900-3200 kg/mm² NbC-1800-2500 kg/mm² ve Cr₂₃C₆-1600-2000 kg/mm² civarındadır (Sarıkaya, 2007). Bundan dolayı bu çalışmada karbürler arasından daha iyi aşınma direnci sağlayacağı öngörüldüğünden TiC oluşturulmuştur.

1.4.1.3. Boro-Titanyumlama

Boro-titanyumlama, borlama ısıl işlemi ile titanyumlama ısıl işlemlerinin birbiri ardına yapılması ile oluşur. Bu yöntemde ilk aşamada yapılan borlama işlemi malzeme yüzeyinde demir borür fazları üretmek amacıyla yapılır. Çünkü ilk aşamada oluşmuş olan demir borür fazları ikinci aşamada bor kaynağı olarak kullanılır. İkinci aşama olan titanyumlama da ise titanyum bazlı kompleks (TiB, TiB₂, TiBCN vb.) fazların oluşumu amaçlanmaktadır. Boro-titanyumlama işlemi sonucunda sadece borlama işlemine göre daha homojen, yoğun ve daha iyi adhezyon gösteren kaplamalar elde edilebilir (Kon ve diğ., 2015; Gunen ve diğ., 2017).

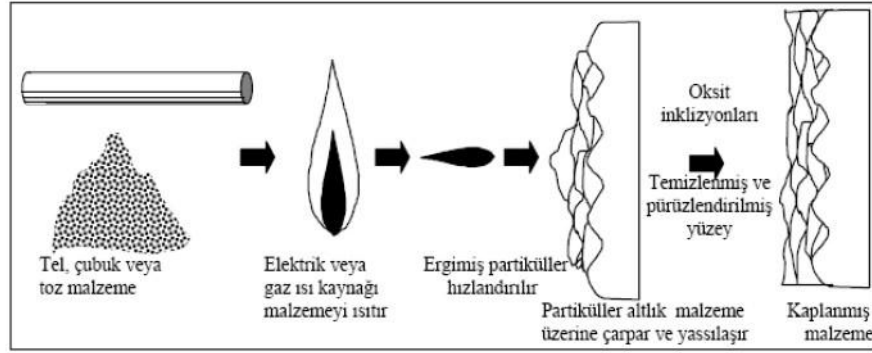
Literatürde ardı ardına uygulanan işlemler (dubleks kaplama) avantajlarının belirtildiği birkaç çalışma mevcuttur. Bunlar: Shan ve diğ. (2012) AISI H13 çeliğini önce karbürleme ve ardından TRD yöntemi ile vanadyum niyonyumlama işlemi uygulamışlardır. Sonuç kısmında TRD prosesi öncesi karbürleme, nitrürleme gibi işlemlerin yüzeydeki arayer konsantrasyonu arttırdığından daha kalın tabakalar elde edilebildiğini raporlamışlardır. Chicco ve diğ., (1999) TRD işlemleri öncesi nitrürleme veya karbonitrürleme işlemlerinin TRD vanadyumlama işleminde daha kalın kaplama tabakalarının oluşumuna imkan verdiği ancak tekli TD işlemlerinde üniform bir kaplama tabakası oluşurken TRD öncesi nitrürleme uygulanan işlemlerde kompleks vanadyum karbonitrür kaplamaların elde edildiğini belirtmişlerdir. En yüksek sertlik değerlerinin ise C bulunan kaplamalarda elde edildiğini belirtmişlerdir. Sen ve diğ., (2008) AISI M2 çeliğini önce 1000 C'de 2 saat süre ile sıvı borlama ardından 1-4 saat sürede TRD yöntemleriyle kaplamışlardır. Kaplama sonucunda kaplama tabakasının pürüzsüz, kompakt ve homojen olduğunu belirtmişlerdir. İşlem sürelerine bağlı olarak 0,97 µm ile 3,25 µm olan niyobyum borür tabakasının 2700 HV sertlik değerlerine ulaşıldığını belirtmişlerdir. Benzer sonuçlar nitrür yerine sert karbürler veya borit oluşturan diğer geçiş elementleri için de beklenebilir.

Tez çalışmasının bir kısmında iki aşamalı (boro-titanyumlama) termo-kimyasal işlem yapılmasının sebebi daha kalın kompozit tabakalarının elde edilebilmesi ve matrisin üstünde borlama sonucu geçiş bölgesi, borür ve nitrür tabakası veya karbonitrür şeklinde yüzeyden matrise doğru azalan sertlikte bir kaplama tabakası elde edilmesidir.

Tek işlem uygulanması durumunda ise kompozit tabakası elde edilebilir fakat hangi fazın kaplama tabakasının neresinde oluşabileceği karmaşık bir şekil olacaktır.

1.5. Termal Spray Kaplamalar

Termal sprey işlemi metalik veya metalik olmayan malzemelerin bir enerji kaynağı vasıtasıyla ısıtılarak gaz fazındaki zerrecikler, eriyik/ yarı eriyik hale getirildikten sonra veya ısı kaynağı kullanmaksızın katı halde daha önceden hazırlanmış altlık yüzeyine atomize jetler ile belirli bir hızla püskürtülerek yapılan kaplama yöntemidir. Püskürtme işlemi sonucunda altlık yüzeyine darbe etkisiyle çarpan tanecikler yapışır (Davis, 2004). Yapışan partiküller esas metal ile aralarındaki ısı transferine bağlı olarak soğuyarak birbirleri ile temas halinde tabakalı bir yapı oluşturur. Oluşan kaplamalar genellikle mekanik bağlanma ve bölgesel kimyasal bağ kuvvetleri şeklinde oluşmuş oksit ve porozite içeriklidir. Ancak, diğer yöntemlere göre hızlı, kolay ve ekonomik kaplamaların üretimine olanak sağlayan yöntemlerden biri olduğu için termal sprey kaplama tekniği 500 yıldan uzun bir süredir mühendislik ve endüstriyel uygulamalarda kullanılmakta ve her geçen gün yeni gelişmeler meydana gelmektedir (URL-2).



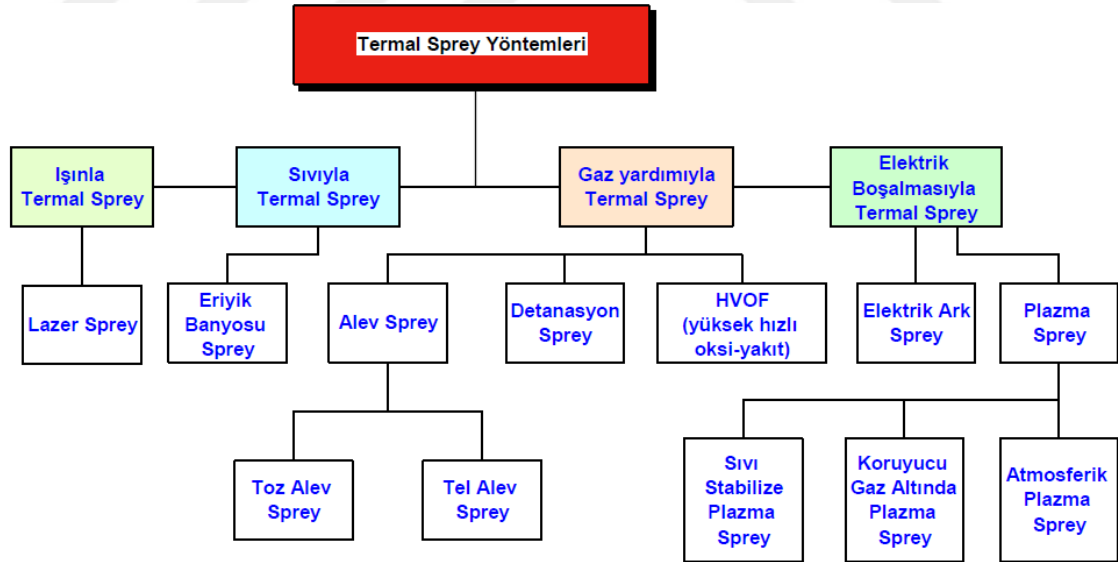
Şekil. 1.14 Termal sprey kaplama yönteminin şematik olarak gösterimi (URL-2)

Termal sprey kaplamalar korozyon, abrazyon, erozyon, kazıma gibi aşınma olaylarını engellemek, oksidasyonu ve sıcak korozyonu önlemek, ısı yalıtımı, elektrik iletimi veya yalıtımı amacıyla birçok alanda kullanılmıştır. Ayrıca yenileme ve onarma, son hale yakın üretim, yenilenebilir kaplama ve dekoratif amaçlarla da kullanıldığı çalışmalar da literatürde bulunmaktadır (Dorfman, 2012). Termal sprey kaplamaların diğer kaplama proseslerine göre üstünlükleri:

- ✓ Çok çeşitli altlık malzemeler üzerine hemen hemen tüm malzemelerin kaplamasının biriktirilebilmesi.
- ✓ Sıcaklık, hız ve atmosferik koşulların çok geniş bir aralıkta ayarlanabilmesi.
- ✓ Altlık malzemenin düşük termal yüke maruz kalması.
- ✓ Bölgesel kaplama imkânı sağlaması.
- ✓ Bazı donanımların hareket edebilir olması.
- ✓ Yüksek biriktirme oranına sahip olması.
- ✓ Kaplamanın altlık malzemeye zarar vermeden kaldırılabilmesi ve yeniden kaplama yapımı imkânının sağlanabilmesi.

Yukarıda anılan avantajlarından dolayı termal sprey kaplamalar, havacılık sektörü, savunma sanayi, otomotiv endüstrisi, enerji üretimi ve iletimi, medikal uygulamalar, denizcilik sektörü, nükleer sanayi, petrokimya sanayi, tekstil, kimya ve kağıt sanayi gibi birçok sektörde uygulama alanı bulmuştur (Meringolo ve Thun, 1983; ASM, 1994) .

Başlıca 5 temel termal sprey kaplama yöntemi ticari olarak kullanılmakta olup ısı kaynaklarına göre termal sprey yöntemleri Şekil 1.15’de gösterilmiştir.



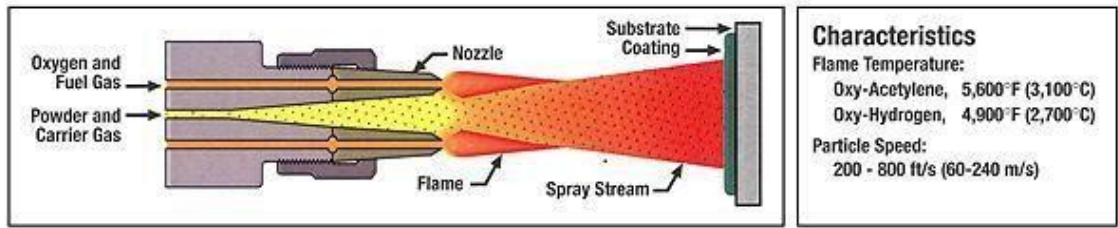
Şekil 1.15. Isı kaynaklarına göre termal sprey kaplama tekniklerinin sınıflandırılması (Bergmann and Vicenzi, 2011)

1.5.1. Alev Sprey Yöntemi

Alev sprej yöntemi Max Ulrich Schoop tarafından patenti alınan en eski termal sprej yöntemidir. Toz alev sprej ve tel alev sprej yöntemleri mevcuttur.

İlk önceleri kalay ve kurşun telleri asetilenin oksijenle yakılarak elde edildiği alevde kaplama yapılırken; daha sonra toz kullanımına başlanmıştır. Alev sprej yönteminde asetilen, propan veya hidrojen, oksijen ile birlikte yakılarak alev elde edilir, düşük basınçlı oksijen yakıt kaplama sistemidir (Sheng ve diğ., 2016; URL-2).

Flame Spray Process



Şekil 1.16. Alev sprej yönteminin şematik gösterimi (URL-2)

Kaplama malzemesi olarak kullanılan tozlar tabancadan çıktığında sıvı-katı, sıvı-gaz, katı-sıvı-katı kısmi faz dönüşümleri sergiler. Bu dönüşümler toz malzemesinin türü ve tane büyüklüğü ile alev sıcaklığına bağlıdır. Kaplamadan istenilen özelliklerin elde edilebilmesi alev sprej kaplama parametrelerinin optimum şekilde ayarlanmasına bağlıdır. Ayrıca kaplama tozlarının tane şekli (küresel, kare vb.) ve tozların kurutma işlemine tabi tutulup tutulmamış olması da önemli bir etkidir (Asi, 2012).

Alev sprej yönteminde oksijen-asetilen alevi (3300 °C) ile toz partiküller iletir ve sıkıştırılmış hava da 200 m/sn hızla altlık malzeme yüzeyine hızla püskürtülmesini sağlar. alev sprej yöntemi plazma ve HVOF gibi yöntemlere nazaran daha düşük sıcaklık ve hızlara sahip olduğundan elde edilen kaplamalar yüksek porozite ve daha düşük adhezyon kuvvetlerine sahip olur. Ancak düşük ergime derecesine sahip oksit seramikler alev sprej yöntemiyle kullanıma daha uygundur (Bach ve diğ., 2006; Çöğür, 2007).

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Literatürde haddelemede kullanılan merdane veya rollerin yüzey özelliklerinin geliştirilmesi üzerine PVD, CVD, plazma, lazer, termal spray vb. yöntemlerle birçok araştırma yapılmıştır (Liang ve diğ. 2000, Abraham ve diğ., 2007; Wang ve diğ., 2009; Skarvelis ve diğ., 2009; Wilhelmsson ve diğ., 2010; Ould ve diğ., 2011; Ould ve diğ., 2013).

Bu araştırmalardan bazıları: Ould ve diğ. (2011) paslanmaz çelik soğuk haddelemesinde kullanılan rolleri üzerine PVD yöntemi ile üretilen TiN, CrN ve TiBN kaplamaların tribolojik özellikleri ve yorulma davranışlarını kaplanmamış roller ile kıyaslamışlardır. TiN ve TiBN kaplamaların mükemmel anti-yapışma (roll yüzeyine metal yapışması) özelliği sergilediklerinden yorulma dirençlerinin çok iyi olduğu 2.2 GPa basınç ve 2.7 milyon döngüye rağmen yüzeyin kendini koruduğunu, CrN tabakasının ise 0.3 milyon döngüde yüzeyden gevrek bir biçimde döküldüğünü raporlamışlardır. Ould ve diğ., (2011) soğuk haddelemede kullanılan yüksek karbon içerikli roller üzerine yaptıkları diğer bir çalışmada ise TiBN en iyi TiN ise zayıf direnç gösterdiğini belirtmişlerdir. Bu durumu haddelenen metal ile rollerin etkileşimi sonucunda farklı kaplama tabakalarının farklı tribolojik özellikler gösterebileceği sonucuna varmışlardır. Abraham ve diğ. (2007) Ti-B-C-N filmleri plazma destekli kimyasal buhar biriktirme metodu ile AISI 304 ve Si yüzey üzerine $TiCl_4$, BCl_3 , CH_4 , Ar, N_2 ve H_2 gaz karışımlarını kullanarak sentezlemişlerdir. Kaplama tabakasının mikro yapı ve mikro sertlik değerlerinin işlem sıcaklığı ve bor miktarından büyük oranda etkilendiğini belirtmişlerdir. Sıcaklık 370 °C'den 570 °C'ye kadar artığında kaplama filminin kristalitesi iyileştirildiğinden kaplama tabakasının sertliği aşamalı olarak 42 GPa kadar artığı, ancak 570 °C'nin üzerinde çevrelenmiş ki sıcaklıklarda ise tane büyümesinden dolayı tekrar azaldığını belirtmişlerdir. Ayrıca Ti-C-N filmin içerisine bor ilavesi ile mikro yapıda iyileşme ve amorf BN fazı tarafından çevrelenmiş Ti(C,N) kristallerinden oluşan TiBCN kompozit kaplamaların oluştuğunu belirtmişlerdir. Bu sayede 21 GPa sertliğindeki Ti-C-N film sertliğinin Ti-B (ağ. %9)-C-N filmde 42 GPa'a kadar yükseldiğini belirtmişlerdir.

Wilhelmsson ve diğ. (2010) magnetron püskürtme yöntemini kullanarak Ti-Fe-C nanokompozit ince film kaplamanın tribolojik özelliklerini araştırmışlar ve bu tabakanın çok iyi bir aşınma direnci sergilediğini vurgulamışlardır. Xibao ve diğ. (2005) plazma transfer ark (PTA) yöntemini kullanarak çelik yüzeyini Ti-Fe-B-C kompozit tabakası ile kaplamışlar ve yüksek sertlik ve çatlamalara karşı dirençli bir kaplamanın meydana geldiğini vurgulamışlardır. Wang ve diğ. (2009) plazma püskürtme yöntemini kullanarak Ti-Fe-C sermet kaplama yapmışlar ve mikroyapı özelliklerini araştırmışlardır. Liang ve arkadaşları, vakum ark plazma yöntemini kullanarak H13 çeliği üzerinde Ti-Fe-C filmi oluşturmuşlar ve mükemmel korozyon direncine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Skarvelis ve arkadaşları, (2009) plazma transfer ark yöntemiyle Fe-Ti(Mo)-C kompozit kaplamalar üzerinde çalışmışlar ve kendinden yağlamalı yüksek aşınma direncine sahip kaplama tabakaları elde etmişlerdir.

PVD ile üretilen kaplamaların optimum kaplama kalınlıklarının WC esaslı malzemeler için 3-6 µm, HSS çelikleri için ise 3 µm olması, bir CVD kaplama prosesi 3 saat ısıtma, 4 saat kaplama ve 7 saat soğutma olmak üzere toplam 14 saat sürmektedir. Kaplama işlemi koruyucu atmosfer ortamında ve vakumda yapılması gibi olumsuzluklar bu kaplama yöntemlerini sınırlamaktadır (Astakhov, 2006; Smith, 2008). Bundan dolayı bu roller özellikle endüstriyel uygulamalarda alev sprej (FS) veya plazma sprej yöntemleri ile yapılmaktadır. Ancak mevcut termal sprej kaplamalarda kaplama tabakası ile altlık arasında kimyasal bağın olmaması kaplamaların adhezyon kuvvetlerini azaltmakta ve çalışma ortamlarındaki sıcaklık farklılıklarından dolayı termal genleşmelerden kaynaklı kaplamalarda kalkmalar meydana gelmektedir (Chaliampalias, 2009; Bergant ve Grum, 2009). Bu olumsuzlukların sonucunda plansız duruşlar meydana gelmektedir. Bundan dolayı tez çalışmasında mevcut kullanımdaki alev sprej kaplamaya alternatif olarak, bu rollerin borlanma, TRD yöntemi ile TiC kaplama ve boro-titanyumlama (borlama+titanyumlama) yöntemleri ile kaplanması ve kaplanmış rollerin yüksek sıcaklık ve korozyon dirençleri incelenerek birbirleri ile kıyaslanması amaçlanmıştır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1 Materyal

Bu tez çalışmasında; Japonya'dan ithal edilen (matris sertlikleri 217 HV, kaplama bölgesi sertlikleri 600-700 HV) ve bölgemizde demir çelik Endüstrisinde faaliyet gösteren işletmelerde kullanılan duşlu masa rolleri (DMR) seçilmiştir. DMR mevcut haliyle alev spray kaplama ile kaplıdır. Söz konusu rollerin matris kısımlarının spektral analizleri Çizelge 3.1 de verilmiş olup literatür incelendiğinde bu rollerin STKM-13A'ya eşdeğer olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 3.1 Deneysel çalışmalarda kullanılacak olan çeliğin kimyasal bileşimi

Malzeme	Mn	C	Si	P	S	Fe
STKM 13A	0.9	0.25	0.35	0.04	0.04	Kalan

3.2. Kaplama Yöntemleri ve Tozlarının Belirlenmesi

Tez çalışmasındaki kaplama işlemleri duşlu masa rollerinin çalışma koşulları olan termo-mekanik etkiler göz önünde bulundurularak alev sprej (mevcut kullanımdaki), borlama, TRD yöntemi ile TiC kaplama ve boro-titanyumlama olarak belirlenmiştir. Alev sprej kaplamalarda ticari Metco 15F tozu, borlamalarda ise Ekabor 2 tozu TRD yönteminde ise Ferro Ti-Fe-C tozu kullanılmıştır. Metco 15F tozu; %17 Cr, %3,5 B, %4 Si, %4 Fe ve kalan Ni içeriğine sahiptir. EKabor II ise %5 B₄C, %5 KBF₄ ve %90 SiC'den oluşmaktadır. TRD'de kullanılan toz harmanı %45 Ti-Fe-C, % 45 Al₂O₃ ve % 10 NH₄Cl'dan oluşacak şekilde hazırlanmıştır.

3.3. Roll Malzemesinin Temini ve Kaplama İşlemi İçin Hazırlanması

Roll malzemeleri daha önce bu takımlarda yaşadıkları sorunlar ve çözüm yöntemleri üzerinde görüşülen bölgede demir çelik sektöründe faaliyet gösteren işletmelerden temin edilmiştir.

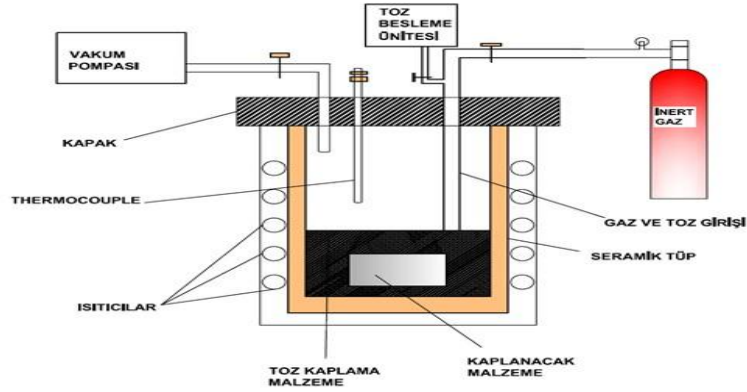
Takımların ağır ve kaba olmaları nedeniyle orta kesitlerinden yüksek sıcaklık aşınma deney testlerine uygun olacak şekilde 60X40X10 ebatında yeteri sayıda numune kesilmiştir. Şekil 3.1. deki rollerde olduğu gibi yayınımsal kaplamaların sağlıklı gerçekleştirilmesi için numunelerin yüzeyi hassas zımparalama ile parlatılarak kaplama işlemi için hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3.1. Duşlu Masa rollerinin görünümü

3.4. TRD İşlemlerinde Kontrollü Atmosfer Ortamının Sağlanması

Deneylerde kullanılacak olan kaplama malzemelerinin bor bileşenleri olması ve borun oksijene karşı affinite olması nedeniyle kaplama işlemi esnasında karşılaşılabilecek oksitlenme gibi etkileri ortadan kaldırmak için deneyler kontrollü atmosfer ortamında yapılmıştır. Deney sistemimizde (Şekil 3.2) kaplama karışım tozu önceden değil sistem vakumlandıktan sonra inert gaz girişiyle birlikte sisteme enjekte edilmiş ve ısıtma işlemi ondan sonra başlamıştır.



Şekil 3.2. İşlem sırasında kullanılacak TRD düzeneği

3.5. Kaplama İşlemlerinin Gerçekleştirilmesi

Alev sprej ile kaplama işlemi öncesi, kaplama tabakasının adhezyonunun artırılması amacıyla numunelerin yüzeyi Al_2O_3 ile kumlama işlemine tabi tutulmuştur. Alev sprej işleminde Metco 5P sprej tabancası kullanılmıştır. İşlem parametreleri literatür değerlendirmeleri sonucunda püskürtme mesafesi 200 mm, toz besleme 10 kg/h ve C_2H_2 gaz akış debisi $0,9 m^3/h$, O_2 akış debisi $1,8 m^3/h$ olarak belirlenmiştir.

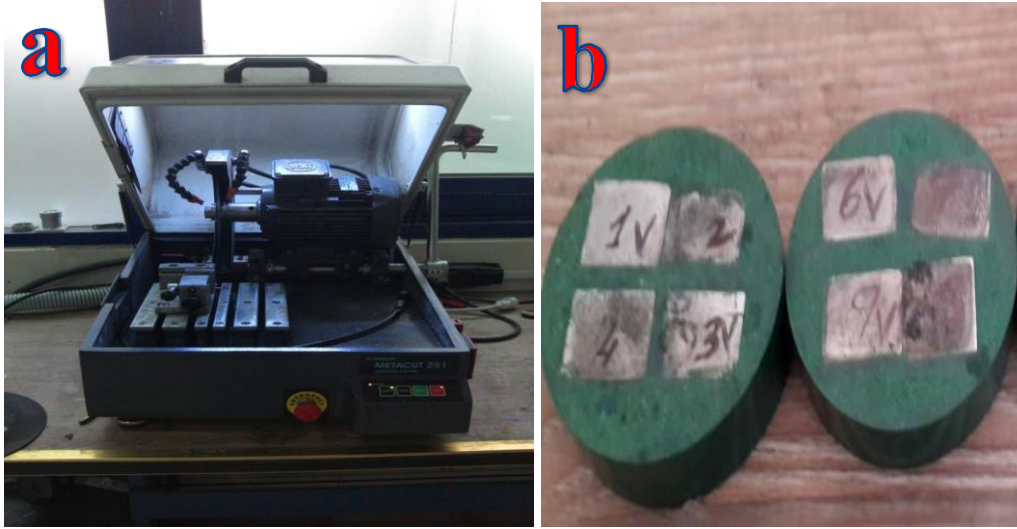
Tüm TRD işlemleri öncesinde numunelerin yüzeyinde kir, yağ, oksit vb. istenmeyen tabakaların kaldırılması amacıyla kumlama sonrasında numuneler 1000'lik SiC zımpara ile parlatılmıştır. Isıl işlemde kullanılan çeliğin östenitleme sıcaklığı gözönünde bulundurularak 1000 °C olarak belirlenmiştir. Borlama ve TiC kaplama işlemleri kalın kaplama tabakaları elde edilmesi amacıyla 5 saat olarak yapılmıştır.

Boro-titanyumlama işlemi borlama işlemi uygulanmış numunenin borlama işleminden sonra ferro- Ti tozu ile 1000 ° C'de 2 saat süre ısıtılmasına tabi tutulması ile gerçekleştirilmiştir.

Kaplama işlemlerinin ardından numunelerin yüzeyindeki kalıntıların giderilmesi amacıyla numunelerin tamamı 100 ° C'deki kaynar suyun içerisine atılmış ve fırçalama tekniği ile giderilmiştir.

3.6. Numune Hazırlama ve Metalografik Muayene

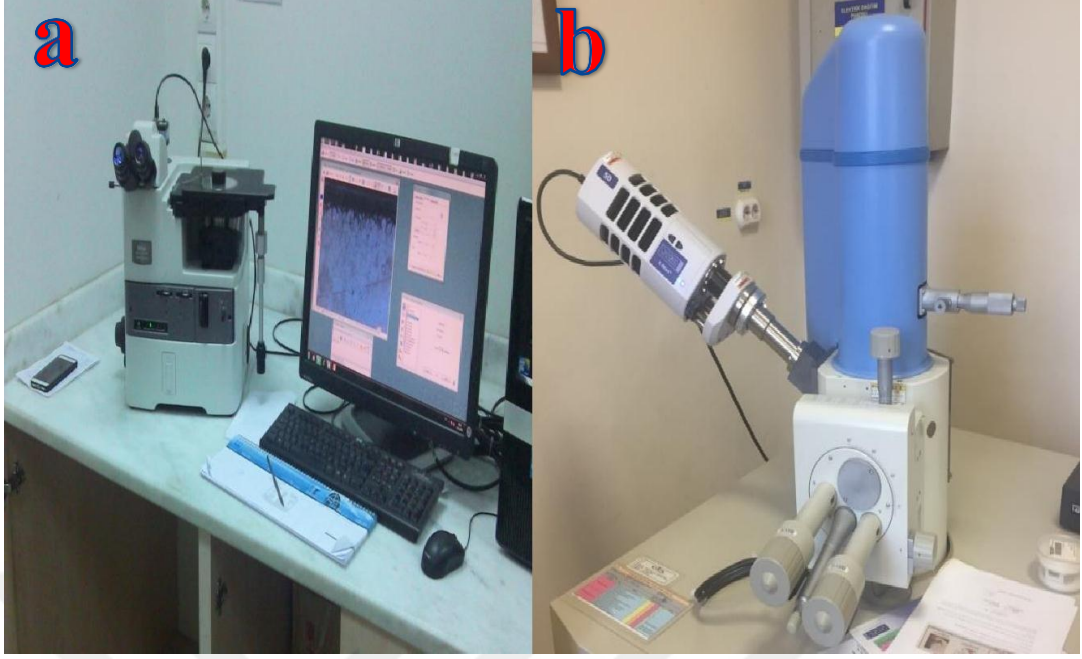
Kaplanmış numunelerin mikro yapı analizleri, sertlik, korozyon aşınma ve X-ışını analizleri için uygun ebatlarda hassas kesme cihazında kesilmiştir. Kesme işleminin ardından numuneler soğuk bakalite alınmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. a) Hassas kesme cihazı b) Soğuk bakalite alınmış numunelerin görünümü

Bakalite alınan numunelerin kesit yüzeyleri 320-1200 arasındaki SiC zımparalar ile zımparalanmış ve ardından 1500 mesh' lik zımparayla parlatılmıştır. Ardından 3 ve 1 mikronluk elmas solüsyonlar kullanılarak hassas parlatılmış ve parlatma işleminden sonra kaplama bölgelerinin ve tane sınırlarının daha net görünmesi amacıyla numuneler %3'lük Nital çözeltisi ile 6-10 sn aralığında dağlanmıştır. Böylece numuneler optik mikroskop ve SEM incelemeleri için hazır hale getirilmiştir.

Optik çalışmalarında Nikon MA 200 ters metal mikroskobu ve Clemex analiz sistemi kullanılmıştır (Şekil 3.4a.). SEM analizleri için ise JEOL JSM-5600 marka SEM cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.4b.). SEM incelemelerinde ayrıca kaplama tabakaları ve ara bölgelerde oluşmuş olan faz ve karbürlerin tespiti için EDS analizleri de yapılmıştır.



Şekil 3.4. a) Nikon MA 200 ters metal mikroskobu b) OXORD X-MAX marka SEM cihazının görünümü

3.7. Kaplama Tabakalarının Sertlik Ölçümlerinin Yapılması

Numunelerin mikrosertlik ölçümleri, Şekil 3.5'de görülen Future Tech FM-700 mikrosertlik cihazı ile elmas piramit uç kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Alev sprej ve Borlama sonucu oluşan tabakalarının sertlik ölçümünde 100 gf yük ve 10 sn süre uygulanmıştır. TiC ve TiB₂ tabakaları ince olduğundan sertlik ölçümleri 5 gf yük ve 10 sn süre parametrelerinde ölçülmüştür.



Şekil 3.5. Future Tech FM-700 Mikrosertlik ölçüm cihazının görüntüsü

Elde edilen tabakaların faz içeriklerine bağlı olarak belirli aralıklarda sertlik değerleri ölçüldüğünden kaplama tabakası kesit yüzeyinden ana malzemeye doğru, her bir numunenin yüzeye eşdeğer uzaklıktaki noktalarından 10'ar adet sertlik ölçümünün aritmetik ortalaması alınmış ve elde edilen bu değer o kaplama tabakasının sertlik değeri olarak verilmiştir.

3.8. XRD Analiz Çalışmaları

Farklı kaplama teknikleri ile kaplanmış numunelerin yüzeyinde oluşan fazların belirlenmesi amacıyla numunelerin yüzeyinden olacak şekilde X-ışını analizi yapılmıştır (Şekil 3.6). XRD analizleri, BRUKER AXS D8 ADVANCE marka cihazda Cu-K- α 'ışını ($\lambda_{Cu}=0,1540$ nm) ve 2θ açısı ile $10-90^\circ$ aralıkları taranarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.6. XRD analiz ünitesinin görünümü

3.9. Yüksek Sıcaklık Aşınma Testinin uygulanması

Farklı yöntemlerle kaplanmış duşlu masa rolleri kuru-kayma ortamındaki aşınma performansları Turkyus marka yüksek sıcaklık ball-on-disk tipi aşınma cihazında gerçekleştirilmiştir. (Şekil 3.7). Aşındırıcı olarak 6 mm çapında WC sinterlenmiş sert bilya kullanılmıştır. Kaplanmış çelik numunelerin yüzeyine 1 ve 3 N'luk yükler uygulanmıştır. Duşlu masa rolleri 450 °C sıcaklığa kadar maruz kaldığından aşınma testleri oda sıcaklığı, 250 ve 450 °C sıcaklıklarda gerçekleştirilmiştir. Kayma hızı olarak 0,3 m/sn lik hız kullanılmıştır. Aşınma yolu mesafesi olarak 250 m'lik yol seçilmiştir.

Yüksek sıcaklık aşınma testlerini gerçekleştirmek için numuneler normal atmosfer şartlarından oda sıcaklığından istenilen sıcaklığa kadar ısıtıldıktan sonra aşınma işlemine geçilmiştir. Deney sonuçlarından elde edilecek verilerin doğruluğunu arttırmak için her bir deney üç kez tekrar edilmiş ve elde edilen değerlerin ortalamaları alınmıştır. Deneyler süresince numunelerin sürtünme katsayılarındaki değişim sürekli olarak kaydedilmiştir. Aşınma deneyleri sonuçlandıktan sonra aşınma yolu üzerinde meydana gelen izlerin kesit yüzeylerinden faydalanılarak optik 3D profilometre ve profilometre yazılım programı vasıtası ile hacim kayıpları hesaplanmıştır. Ayrıca aşınma yüzeylerinde meydana gelen aşınma mekanizmalarının belirlenmesinde ve yüzey morfolojilerinin tespitinde SEM 'den faydalanılmıştır. Aşınma yüzeyi üzerindeki elementlerin kimyasal yapılarının belirlenmesi için EDS analizleri yapılmıştır.



Şekil 3.7. Turkyus yüksek sıcaklık ball-on disk aşınma cihazı

3.10. Korozyon Özelliklerinin Belirlenmesi

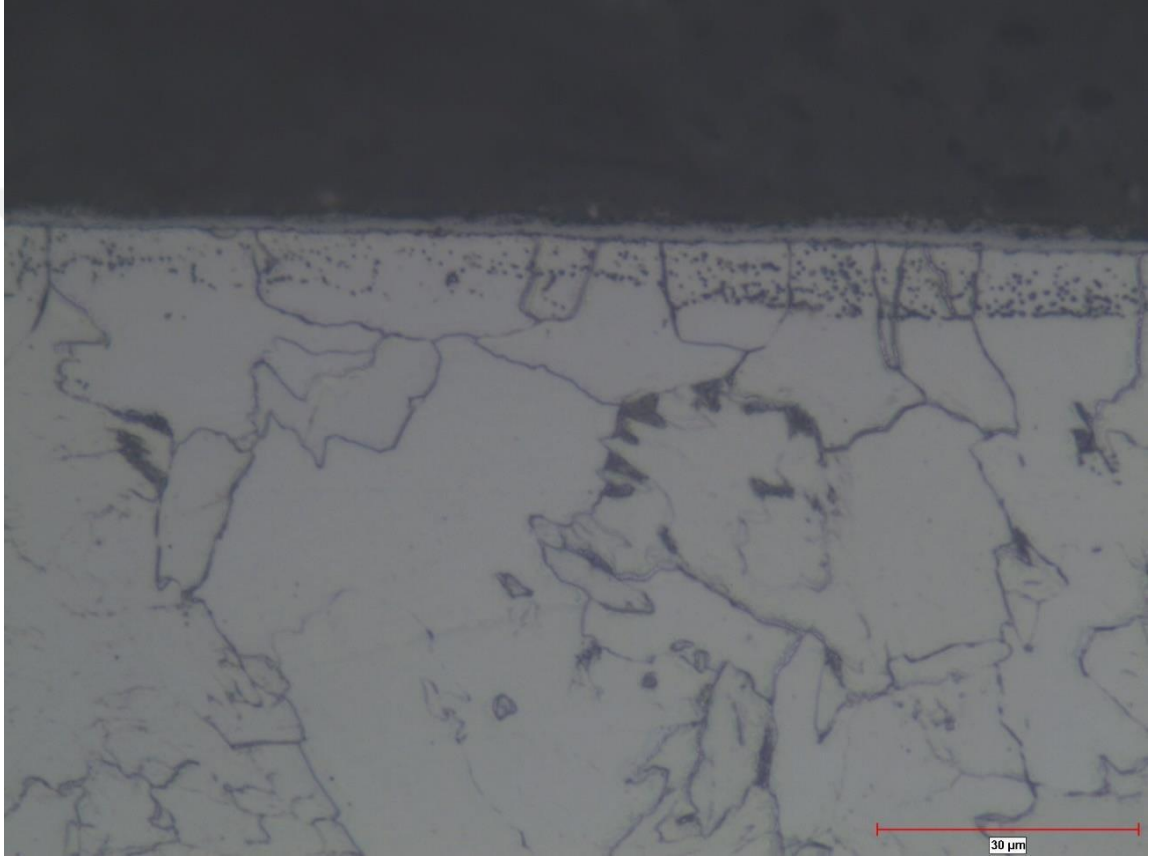
Üretilen kaplamaların korozyon davranışları CHI Instruments 608 E marka korozyon cihazı kullanılarak elektrokimyasal yöntem şeklinde belirlenmiştir.

Elektrokimyasal ölçümler üç elektrot korozyon hücresi şeklinde (referans elektrot ve karşıt elektrot haricinde solüsyon içerisindeki teflon tutucuya yerleştirilen numune çalışma elektrodu) gerçekleştirilmiştir. Korozyon solüsyonu olarak % 3,5 NaCl çözeltisi kullanılmıştır. Deneyler oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Açık devre potansiyeli 60 dk süresince ölçülmüştür. Stabilleşme gözlemlendikten sonra açık devre potansiyeli E_{kor} , zamanın bir fonksiyonu olarak ölçülmüş ve grafiklendirilmiştir.. Potansiyodinamik ölçümler 0,1 mV potansiyel tarama hızında E_{kor} değerinin -250 mV altında ve üstünde olacak şekilde alınmıştır. Her numune için ölçümler üç kez tekrarlanmış ve bu ölçümlerin ortalamaları alınarak korozyon parametreleri çizelge ve grafikler ile gösterilmiştir. Korozyon deneylerinden sonra numunelerin yüzeyleri mekanik olarak temizlenmiş ve SEM görüntüleri ile EDS analizleri alınmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

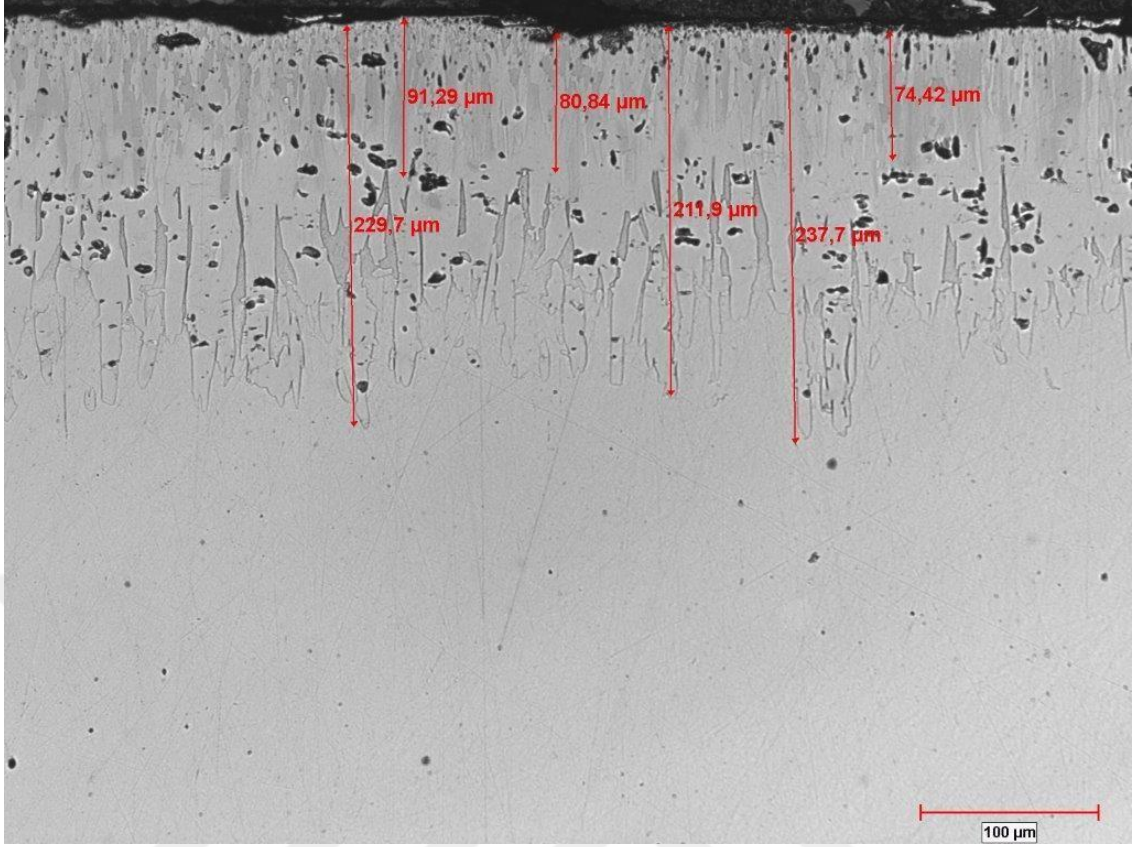
4.1. Metalografi Çalışmaları ve Yüzey Karakterizasyonu

Şekil 4.1- 4.4’de sırasıyla TiC kaplama, borlama, boro-titanyumlama ve alev sprej yöntemleri ile STKM-13A çeliğinin üzerinde oluşturulan kaplama tabakalarının optik mikroyapı resimleri verilmiştir.



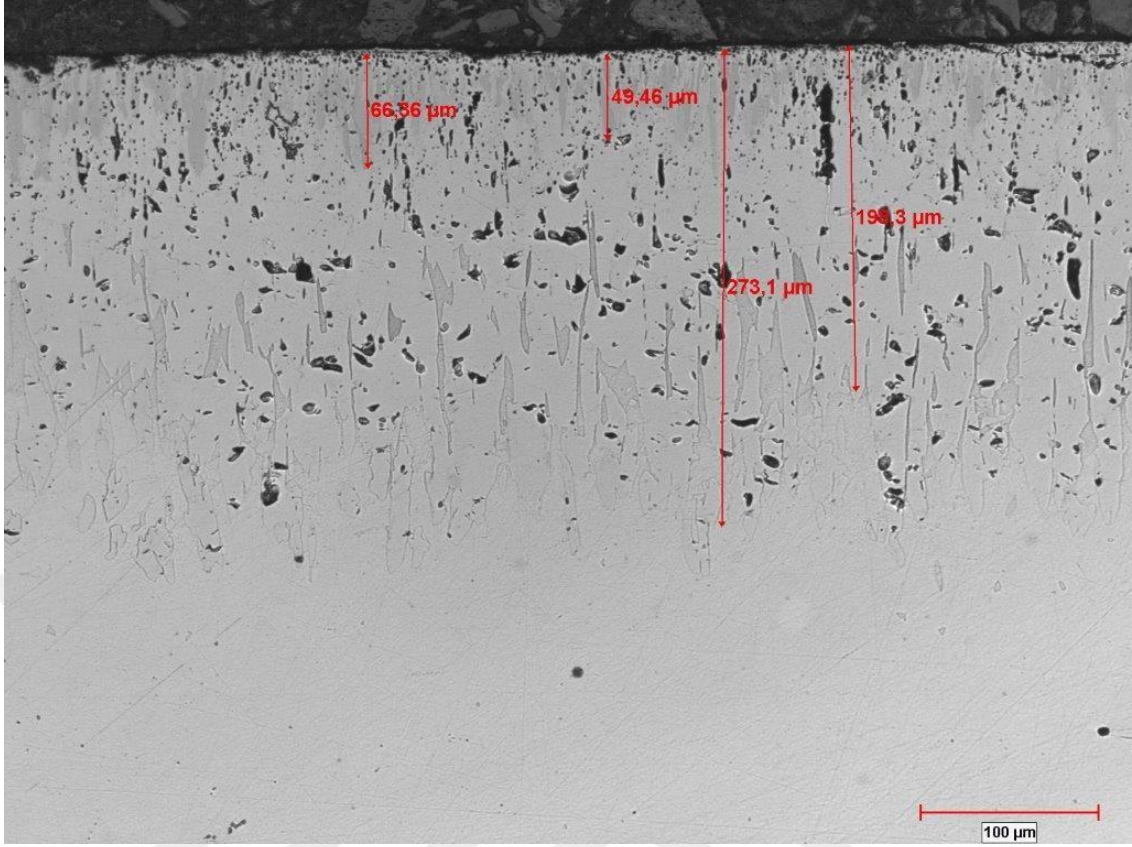
Şekil 4.1. 1000 °C’de 5 saat süre ile TiC kaplama işlemine tabi tutulmuş STKM-13A çeliğinin 500X optik görünümü

Şekil 4.1 incelendiğinde malzemenin yüzeyinde 3,5 µm civarında bir TiC kaplama tabakasının oluştuğu ve altında bir 15-20 µm aralığında bir difüzyon bölgesinin oluştuğu görülmektedir.



Şekil 4.2. 1000 °C’de 5 saat süre ile EKabor II tozu ile borlama işlemine tabi tutulmuş STKM-13A çeliğinin 200X optik görünümü

Şekil 4.2. incelendiğinde ise 200 µm’yi aşan testere dişi görünüme sahip bir borür tabakası görülmüştür. Dişli yapı kaplama tabakası ile altlık malzeme arasındaki adhezyon kuvvetini artırdığından endüstriyel uygulamalar için tercih edilen bir yapı olup düşük karbonlu veya az alaşımlı çeliklerde rastlanan bir yapıdır (Matuschka, 1980; Sinha, 1991). Oluşan tabakanın morfolojisi incelendiğinde ise çift fazlı (FeB+Fe₂B) bir tabakanın oluşumu söz konusudur. FeB/Fe₂B oranı 0,45-0,5 aralığında olduğu tespit edilmiştir. Kaplama tabakasının altındaki difüzyon bölgesi mikro yapı resimlerinde belirgin olarak gözlemlenmemiştir. Ancak yüzeyden matrise doğru yapılan sertlik ölçümlerinde kaplama tabakasının altında 200 µm’yi aşan bir difüzyon bölgesi tespit edilmiştir. Daha önceki literatür çalışmalarında belirtilen yüzeydeki koyu bölgeler FeB, açık bölgeler ise Fe₂B fazlarının birbirinden belirgin şekilde ayrıldıkları bu çalışmada da gözlemlenmiştir (Campos-Silva ve diğ., 2007; Çürük ve diğ., 2016).

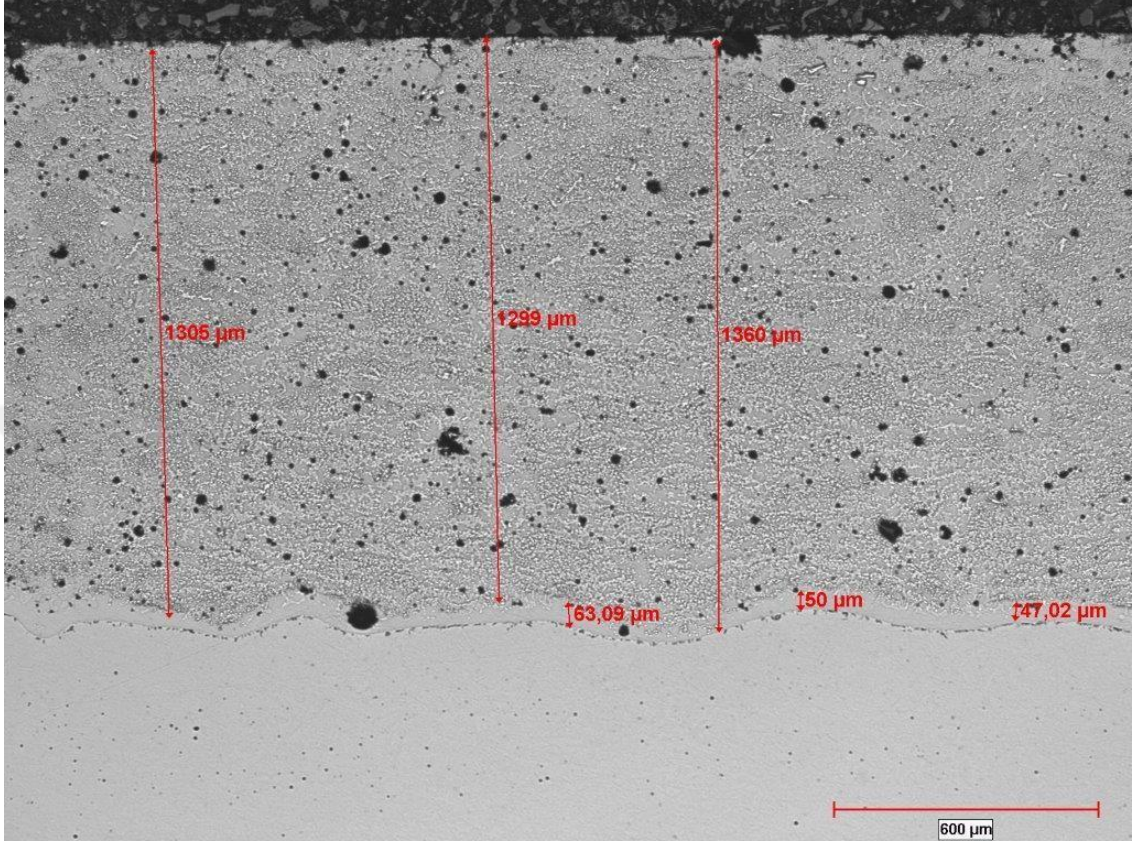


Şekil 4.3. 1000 °C’de 5 saat süre ile EKabor II tozu ile borlama ve ardından 1000 C’de 2 saat süre ile Ti-Fe-C tozu ile Ti-C kaplama işlemine tabi tutulan kaplamanın 200X optik görünümü.

Borlama işleminin ardından titanyumlama işlemine tabi tutulan numunede borlamaya göre daha kalın bir kaplama tabakası elde edilmiştir. Ancak elde edilen TiB_2 tabakası optik resimlerinde net bir şekilde görülmemiştir. Bu tabaka SEM görüntüleri ve XRD analizleri ile belirlenmiştir. Elde edilen kaplama tabakası incelendiğinde FeB fazının bir kısmının borlama işleminin ardından uygulanan titanyumlama işlemi sonucunda Fe_2B ’ye dönüştüğü gözlemlenmiştir. Çünkü borlama işlemi sonrası yüksek sıcaklıkta uygulanan titanyumlama işlemi sonucunda yüzeyde FeB (%16,23 B) ile bileşik oluşturmuş şekildeki B, daha derinlere difüz olduğundan FeB Fe_2B ’ye (%8,93 B) dönüşür.

Endüstriyel uygulamalarda çift fazlı (FeB+ Fe_2B) yapıya nazaran tek faz yapı (Fe $_2$ B fazı) tercih edildiğinden borlama ısı işlemi sonrası homojenleştirme tavı uygulanarak çift fazlı yapının tek fazlı yapıya dönüştürüldüğü çalışmalar mevcuttur (Campos-silva ve diğ., 2011; Muhammad, 2013; Campos-silva ve diğ., 2007).

Titanyumlama işlemi sayesinde FeB/Fe₂B oranı 0,25-30 aralığına kadar düşürülmüştür. Ayrıca boro titanyumlama işlemi sonucunda porozitede bir miktar azalma meydana gelmiştir.

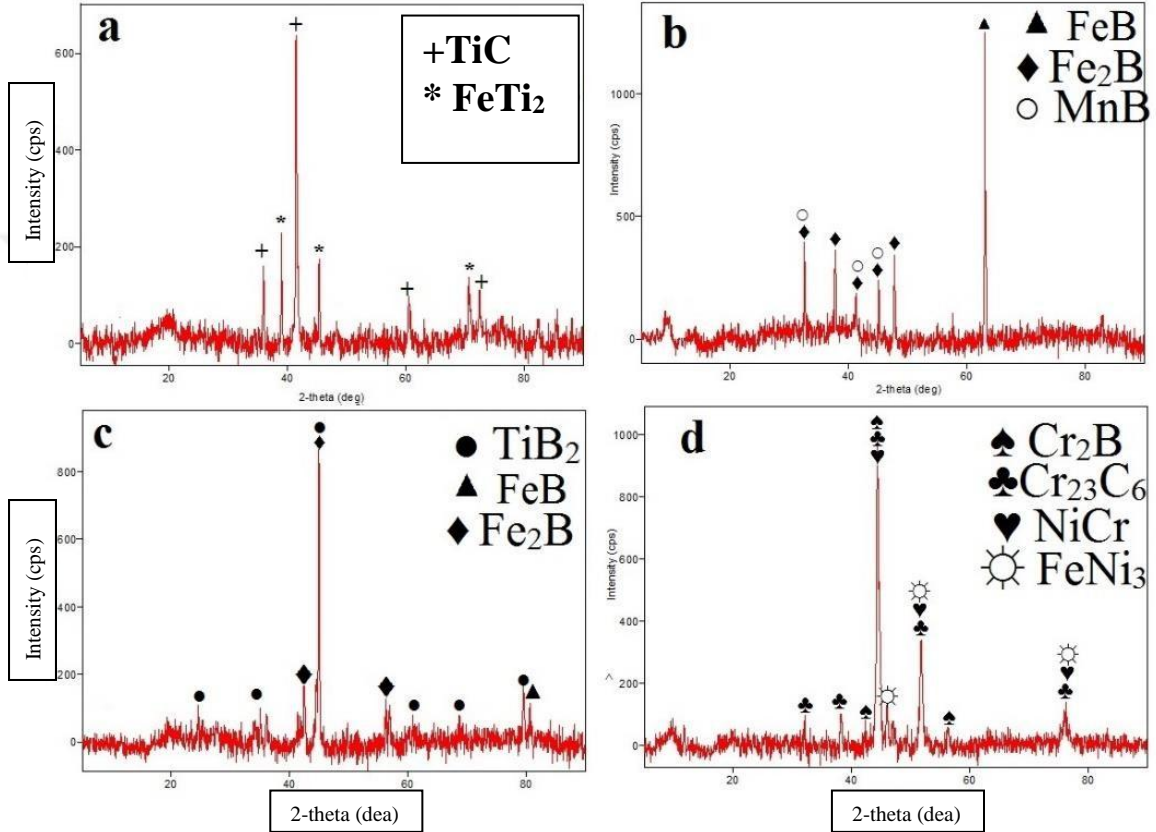


Şekil 4.4. Alev sprej yöntemi ile oluşturulan kaplamaların 100X optik görünümü.

Alev sprej yöntemi ile elde edilen kaplamanın mikro yapı görünümü incelendiğinde ise diğer yöntemlere göre çok daha kalın kaplama tabakasının (1300 µm'yi aşan) elde edildiği gözlemlenmiştir. Ancak elde edilen kaplama tabakasında gözenekli yapı dikkat çekmektedir. Bu durum vakum altında gerçekleştirilmeyen termal sprej kaplamaların karakteristik özelliğidir (Chaliampalias, 2009; Bergant ve Grum, 2009). Bu gözeneklilik sertlik değerlerinin daha düşük olmasına, korozyon ve aşınma olaylarının başlangıcına neden olan yerlerdir.

4.2. XRD ve EDS Analizleri

Farklı yüzey modifikasyon teknikleri sonucunda yüzeyde oluşan kaplamaların faz içeriklerinin tespiti amacıyla yapılan XRD analizleri Şekil 4.5'de EDS analizleri ise Şekil 4.6- Şekil 4.9 aralığında gösterilmiştir.

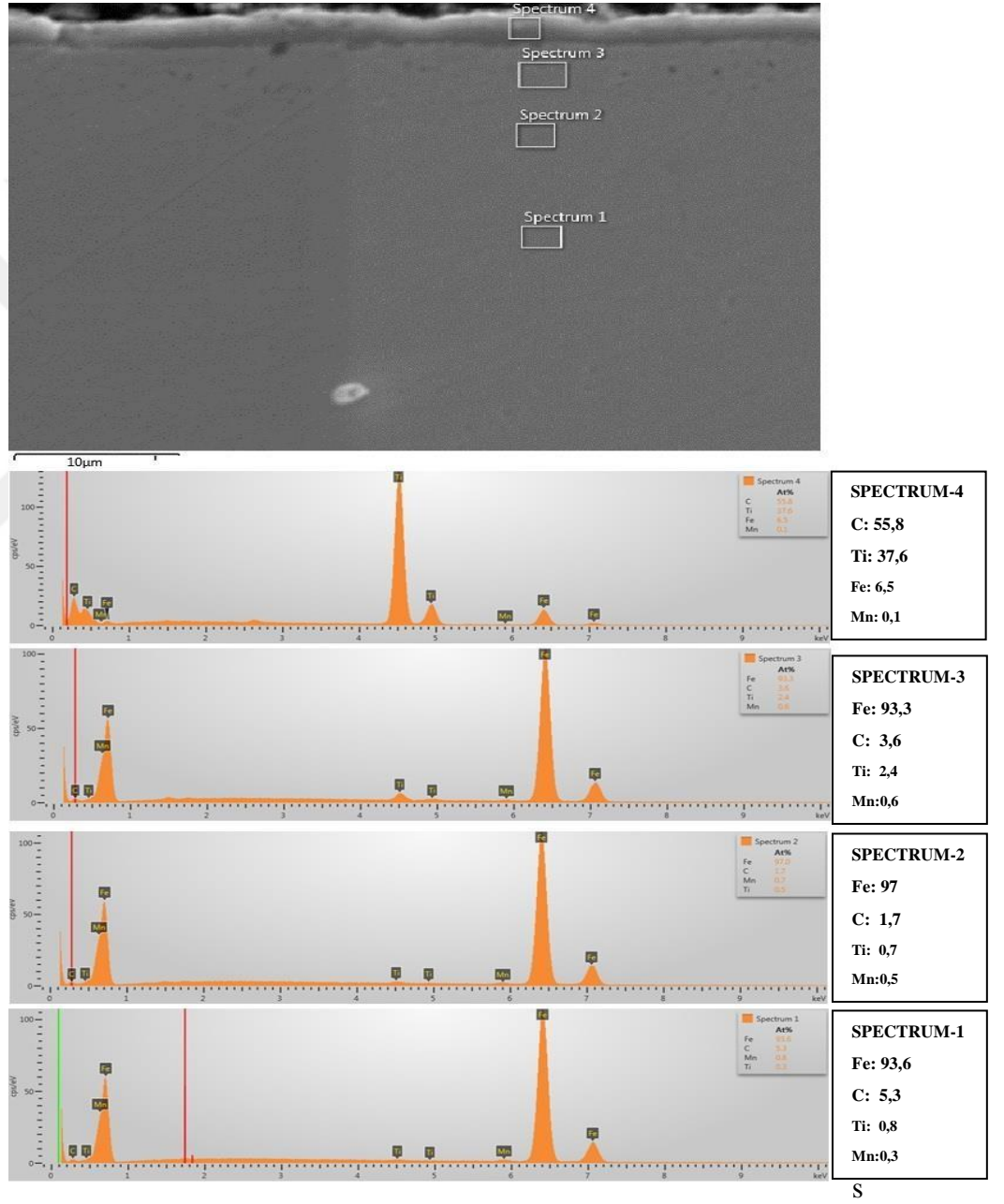


Şekil 4.5. a) TiC kaplama, b) borlama c) boro-titanyumlama d) alev sprey kaplama işlemi uygulanmış STKM-13A malzemesi üzerinde oluşan kaplamaların XRD analizleri (Gunen ve diğ., 2017)

Şekil 4.5a incelendiğinde TRD işlemi sonucunda TiC ve FeTi₂ fazlarının oluştuğu görülmüştür. Oysa literatürde %1,5 C içeriğinin altındaki çeliklerde TiC fazının oluşmadığı belirtilmiştir. TiC fazının oluşumu ayrıca EDS analizleri ile de desteklenmiştir (Şekil 4.6). Borlama işlemine tabi tutulan numunenin XRD analizi incelendiğinde ise FeB, Fe₂B ve MnB fazlarının oluştuğu tespit edilmiş olup yapılmış olan düşük alaşımlı çeliklerin borlama çalışmaları ile uyumludur (Şekil 4.5b).

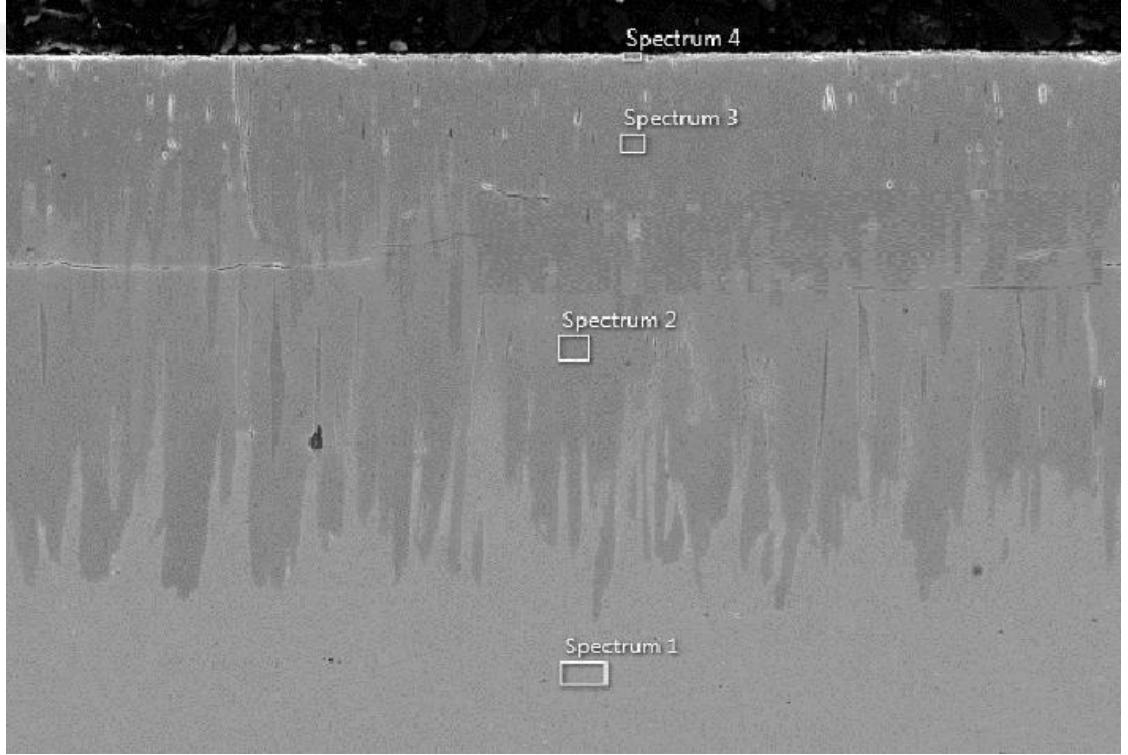
Boro-titanyumlama işlemi uygulanan çeliğin XRD analizinde ise optik resimlerinde tam belirgin olmayan TiB_2 fazına ilaveten FeB ve Fe_2B fazlarının oluştuğu tespit edilmiştir (şekil 4.5c). Alev sprej uygulanan numunenin XRD analizi incelendiğinde ise Cr_2B , $Cr_{23}C_6$, $FeNi_3$ ve NiCr fazlarının oluştuğu görülmektedir.

Bu durum kaplama maddesindeki B (ağ. %3,5) içeriği düşük olsa da faz oluşumları üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. Elde edilen fazlar sertlik üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.

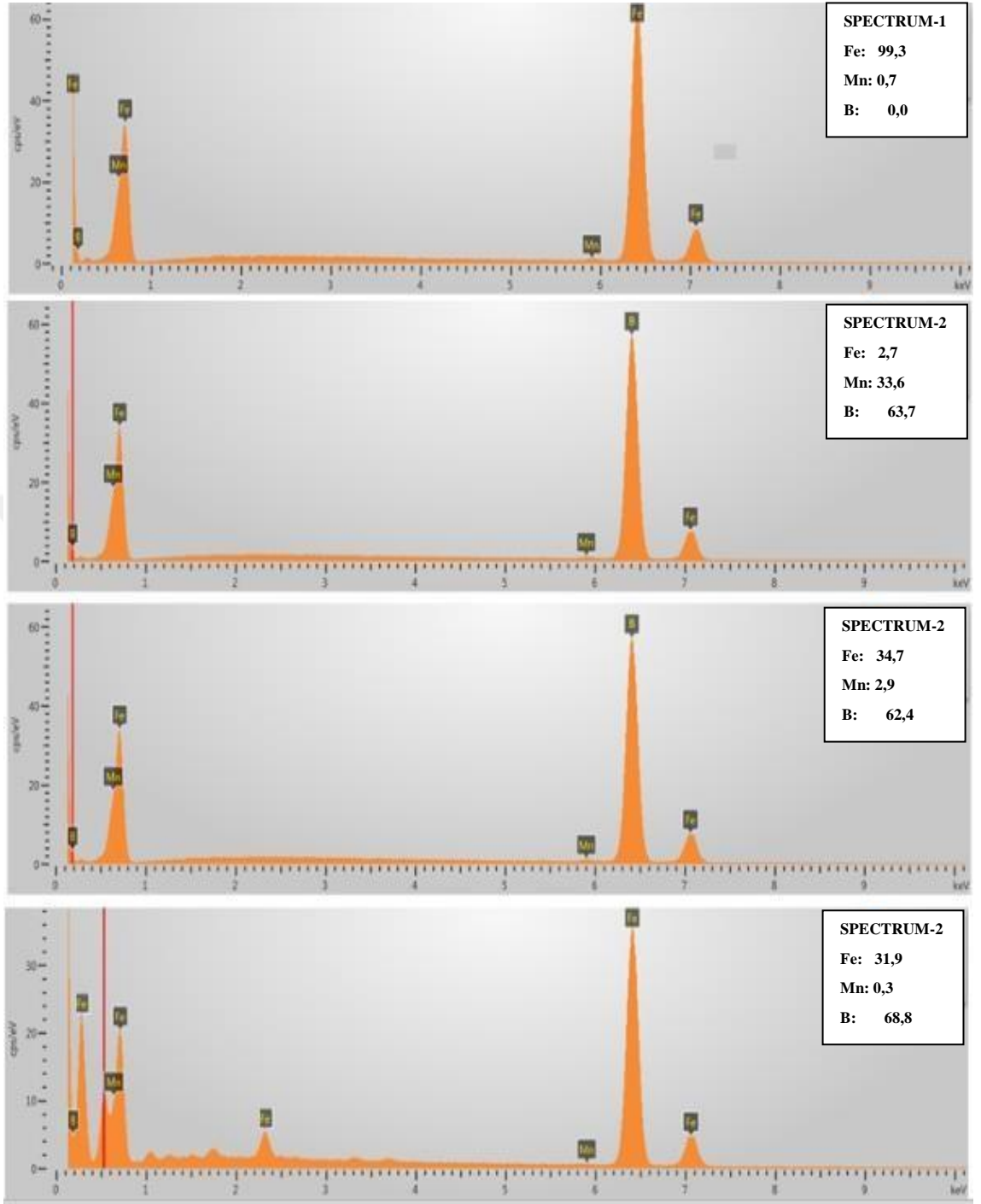


Şekil 4.6. TiC kaplama uygulanmış STKM-13A çeliğinin SEM görünümü ve bölgesel EDS analizi

Şekil 4.6. incelendiğinde 1000 C’de Ti-Fe-C tozları ile 1000 C’de TRD işlemine tabi tutulan numunede optik resimlerde belirgin olarak görülmeyen TiC tabakasının yüzeyde homojen, porozite içermediği ve yüzey boyunca sürekli olduğu belirlenmiştir. Bu tabakadan (Spectrum 4) alınan EDS analizinde ise atomik olarak %58,8 C, %37,6 Ti, %6,5 Fe ve %0,1 Mn içeriğine sahip olduğu ve bu oranın XRD analizlerinde tespit edilen TiC kaplamamın oluştuğunu destekler niteliktedir. Geçiş bölgesi analizinde ise (Spectrum 3) bu oranlar atomik olarak %93,3 Fe, %3,6 C, 2,4 Ti, ve %0,6 Mn olarak tespit edilmiştir. Matris kısmından alınan EDS analizlerinde ise Ti ve C oranlarının azaldığı tespit edilmiştir.

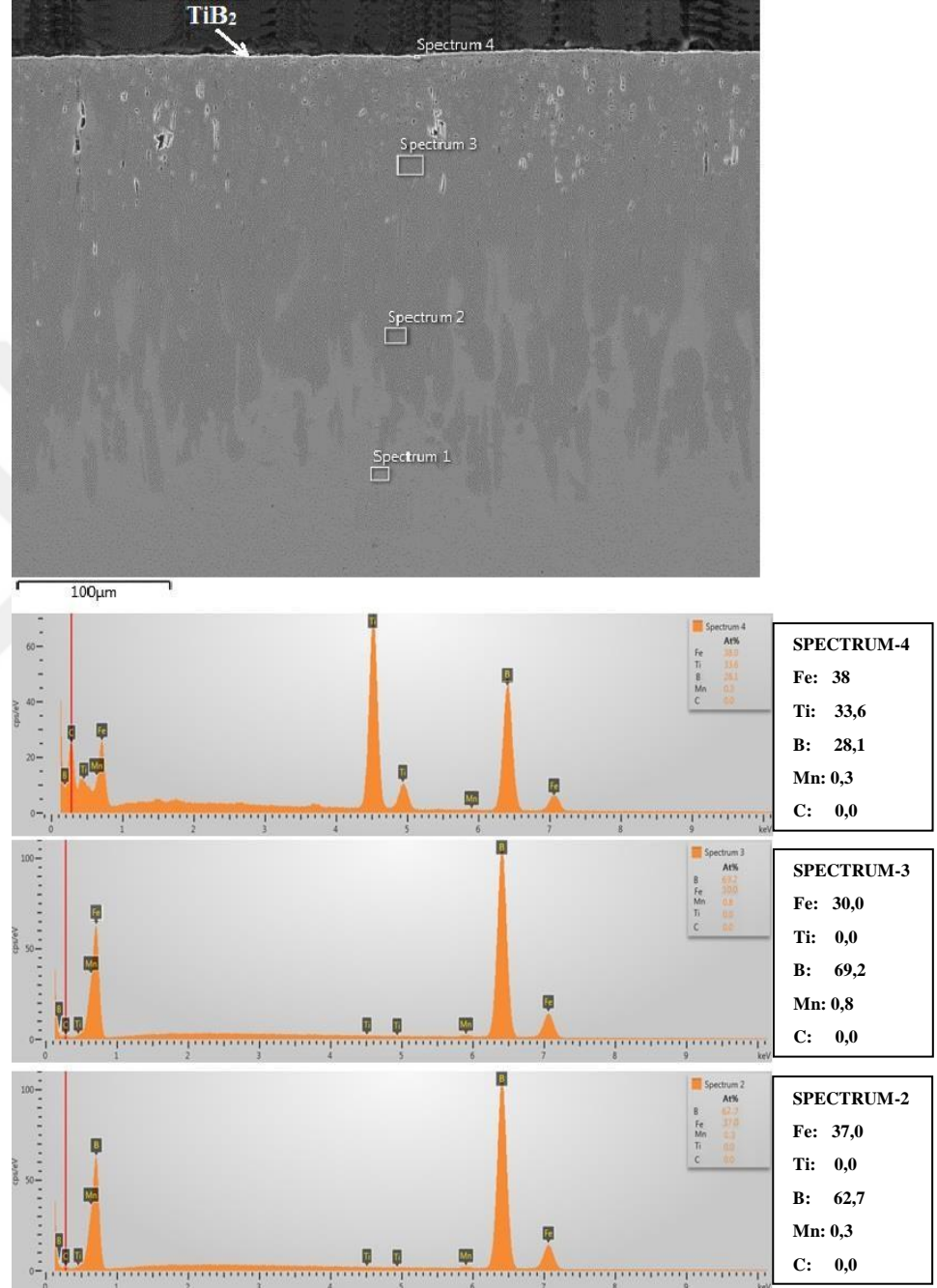


Şekil 4.7. Borlama işlemi uygulanmış STKM-13A çeliğinin SEM görünümü ve bölgesel EDS analizi



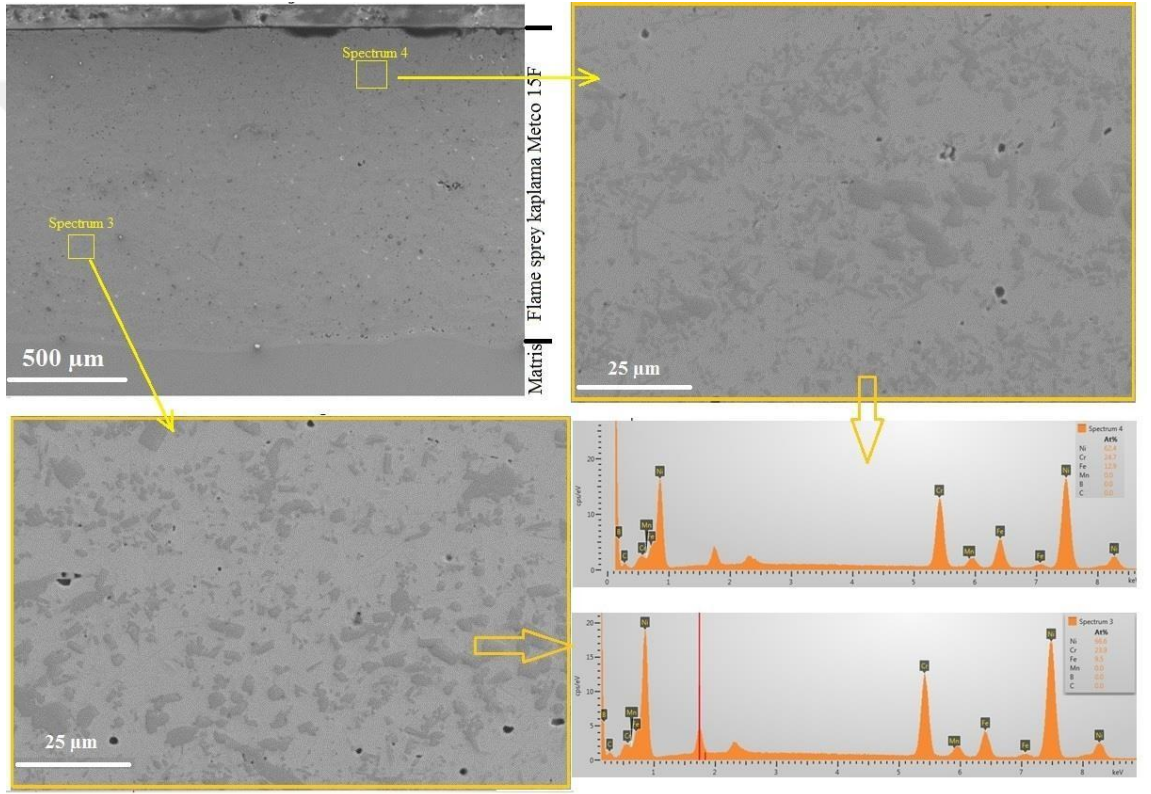
Şekil 4.7. Borlama işlemi uygulanmış STKM-13A çeliğinin SEM görünümü ve bölgesel EDS analizi

Borlama tabakası bölgelerinden (Spectrum 1, Spectrum 2, Spectrum 3) alınan EDS analizlerinden borür tabakalarının oluşumu için gerekli olan FeB (ağ.%16,23) ve Fe₂B (ağ. %8,97) oluşumunun çok daha üstünde bor oranı tespit edilmiştir. Matris bölgesinde ise hiç bor oranı tespit edilmemiştir.



Şekil 4.8. Boro-titanyumlama işlemi uygulanmış STKM-13A çeliğinin SEM görünümü ve bölgesel EDS analizi

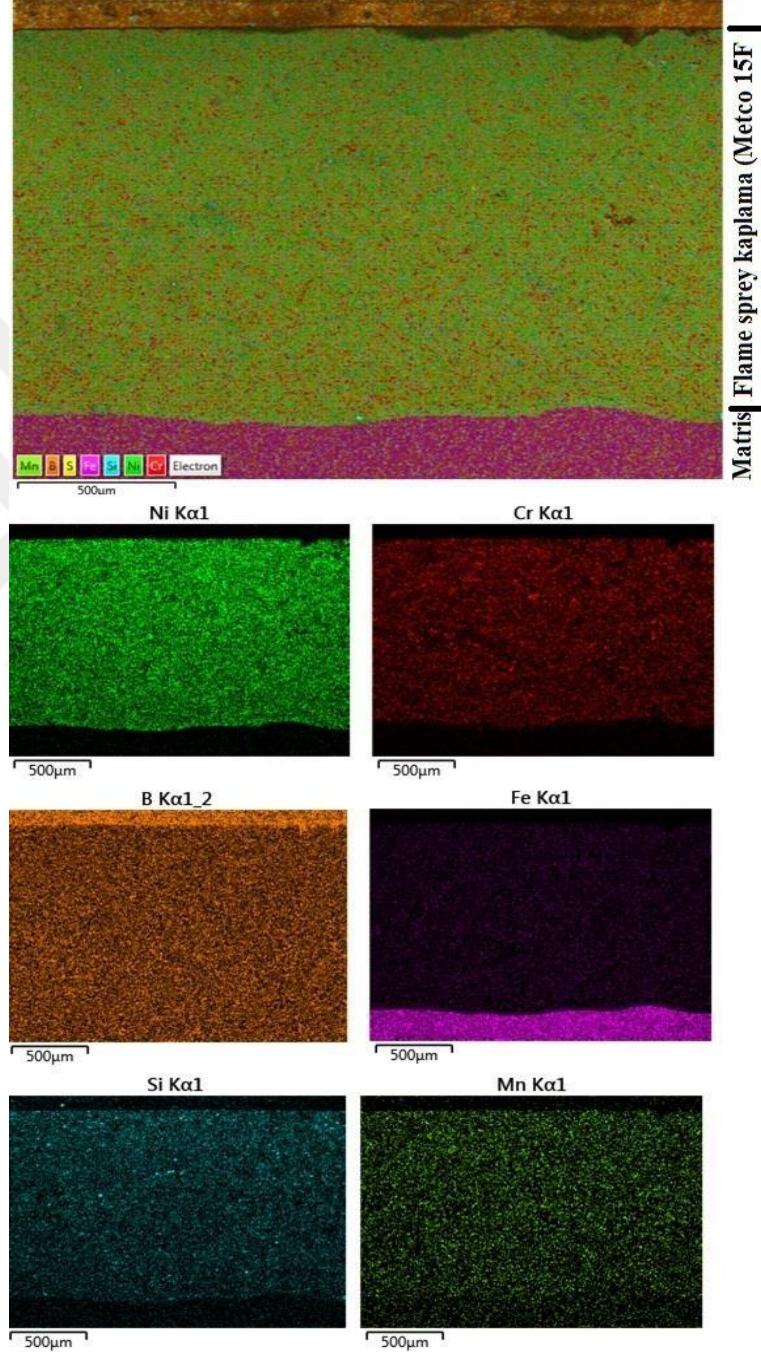
Optik resimlerinde borlama tabakasının üzerinde net bir şekilde görünmeyen ancak XRD analizlerinde tespit edilen TiB_2 fazının yüzeyde olduğu net bir şekilde görülmektedir. TiB_2 bölgesinden alınan (Spectrum 4) EDS analizinde de atomik olarak %38 Fe, %33,6 Ti, %28,1 B ve %0,3 oranında Mn tespit edilmiş olup elde edilen Ti ve B oranları TiB_2 için yeterli düzeydedir. TiB_2 tabakasının altından borlama tabakasından (Spectrum 3 ve Spectrum 2) alınan EDS analizlerinde ise atomik olarak %60'ın üzerinde B tespit edilmiş olup bu bölgede herhangi bir Ti oranına rastlanmamıştır. Matris bölgesinden alınan Spectrum 1'de Fe ve Mn haricinde herhangi bir element tespit edilememiştir.



Şekil 4.9. Alev sprej işlemi uygulanmış STKM-13A çeliğinin SEM görünümü ve bölgesel EDS analizi

Alev sprej işlemi uygulanmış STKM-13A çeliğinin yüzeyinde kullanılan kaplama tozuna bağlı olarak Ni, Cr, ve Fe'den oluştuğu gözlemlenmiştir. Kaplama tabakasının yüzey ve iç kısımlarındaki elementlerin oranlarının birbirine yakın oranlarda olduğu tespit edilmiştir. Ancak B ve Si oranları kaplama tozunda düşük oranda olduğundan tespit edilmemiştir.

B ve Si'nin dağılımının tespiti amacıyla alev sprej kaplamaya ayrıca EDS haritalama yapılmış olup B'un kaplama tabakasının üst kısmında yoğunlaştığı saptanmış iken Si homojen bir dağılım sergilediği görülmüştür (Şekil 4.10). Ayrıca alev sprej kaplamanın genel olarak homojen bir dağılım sergilediği görülmüştür.



Şekil 4.10. Alev sprej işlemi uygulanmış STKM-13A çeliğinin EDS haritalama görünümü

4.3. Kaplama Tabakası Kalınlıkları ve Mikrosertlik Sonuçları

Çizelge 4.1.'de STKM-13A çeliğine uygulanan kaplama işlemleri sonucu elde edilen kaplama tabakası kalınlıkları ve kaplama tabakalarında elde edilen maksimum mikro sertlik değerleri verilmiştir. Tabaka kalınlıkları ve mikro sertlik değerleri her bir numune üzerinden alınan 10 ölçümün aritmetik ortalaması alınarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.1. Dört farklı kaplama işlemine tabi tutulan STKM-13A çeliğinin kaplama tabakası kalınlık, sertlik ve yüzey pürüzlülüğü değerleri

Uygulanan Kaplama	Kaplama tabakası kalınlığı (μm)	Micro-sertlik (HV)	Ra (μm)	Rz (μm)
TiC kaplama	5,0	3179 (HV _{0,05})	0,40 \pm 0.05	1,30
Borlama	225,6	1743 (HV _{0,1})	1,08 \pm 0.15	3,25
Boro-titanyumlama	268,1	2388 (HV _{0,1})	2,21 \pm 0.2	6,65
Alev sprej	1321,3	851 (HV _{0,1})	3,15 \pm 0.3	14,90
Ticari STKM-13A çeliği	133 (HV _{0,1})	0,95 \pm 0.1	2,50

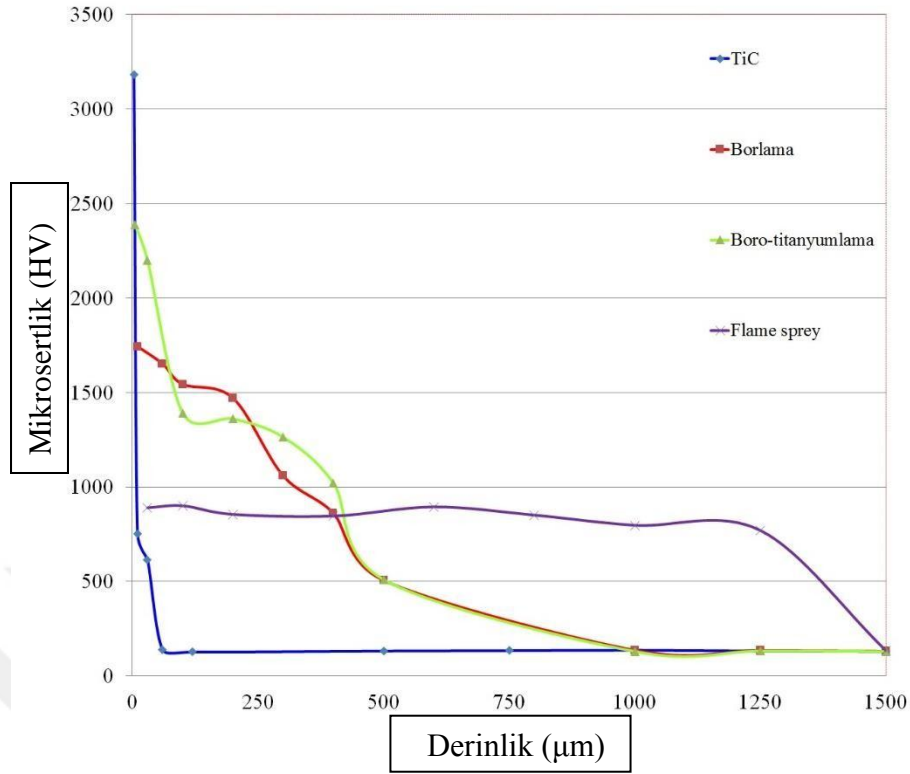
Çizelge 4.1'de görüldüğü üzere en yüksek tabaka kalınlığı alev sprej ile elde edilmiş iken en düşük kaplama kalınlığı TiC kaplama yöntemi ile elde edilmiştir. Borlama ve boro-titanyumlama uygulanan numunelerin tabaka kalınlıkları gözönünde bulundurulduğunda literatürdeki borlama çalışmalarına göre kalın borür tabakaları elde edilmiştir. Bu durum altlık olarak kullanılan çeliğin düşük C ve alaşım elementleri içeriklerine bağlanabilir. Çünkü C ve alaşım elementleri sahip oldukları atomik yapıdan dolayı tane sınırlarında bulunarak bor'un iç kısma difüzyonunu engeller.

Ayrıca boro titanyumlama işlemi ile 268,1 µm kaplama tabakası elde edilmiş olması, sadece titanyumlamada elde edilen 5 µm ve sadece borlama ile elde edilen 225,6 µm'den nin toplamından yüksek olması TRD işlemi sırasında borür fazlarının içerisindeki bor'un malzemenin içerisine doğru difüze olmalarının da katkıda bulunduğu açıktır. Bu durum borlama işlemi sonrası TRD işlemi uygulanan kaplamalardaki FeB fazı kalınlıklarının sadece borlama uygulanmış numunelerde FeB fazı kalınlığından daha düşük olmasını açıklamıştır.

Kaplamaların yüzeyinden ölçülen pürüzlülük değerlerine göre TiC kaplama haricindeki tüm kaplamalar yüzey pürüzlülük değerlerini artırmıştır. Kaplama tabakası kalınlığının artışı ile yüzey pürüzlülüğünün arttığı tespit edilmiştir. TiC kaplamada pürüzlülük değerinin azalması numune hazırlık aşamasında kesme ve parlatma işlemi sonucunda numunelerin yüzey pürüzlülüğü eşik değerin üzerinde olduğunu göstermektedir. Bu durum Şahin (2009) tarafından borlanmış AISI 1020, AISI 1040 ve AISI 2714 çeliklerinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde çalışılmış ve maddenin yüzey pürüzlülüğü eşik pürüzlülük değerinden üzerinde olması durumunda borlama işlemi sonucu yüzey pürüzlülüğünün azalacağını belirtmiştir (Şahin, 2009).

Elde edilen sertlik değerleri değerlendirildiğinde çizelge 4.1'deki değerler o numunede ölçülen maksimum sertlik değerleridir. Ancak difüzyon kontrollü kaplamalarda sertlik kaplama tabakasının tamamında aynı değerde olmadığından (yüzeyden matrise doğru azaldığından) kaplama tabakalarının sertlik grafiği Şekil 4.11'de gösterilmiştir.

Sertlik için ise artış söz konusu değildir hatta bazı numunelerde sertlik düşüşleri tespit edilmiştir. Bu duruma borca zengin fazların başka elementlerle farklı fazlar oluşturarak fazların bor içeriğinin azalmasına atfedilebilir. Numunelerin sertlik dağılımları Şekil 7.4'de görüldüğü üzere kaplama tabakasından matrise doğru düşüş şeklindedir. Ancak uzun süre ile borlanan numunelerdeki difüzyon bölgesi daha geniş olmuş ve bu bölgelerin sertlikleri daha yüksek şekilde ölçülmüştür.



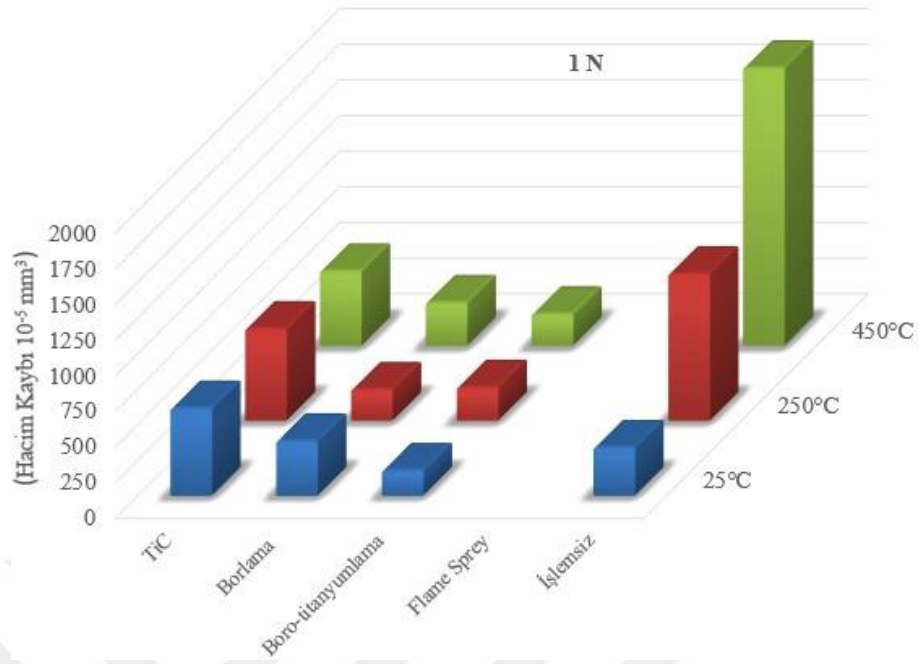
Şekil 4.11. Farklı kaplama işlemlerine tabi tutulan STKM-13A çeliğinin kaplama bölgesinden matrise doğru sertlik dağılımının gösterimi.

Mikrosertlik ölçümleri sonucunda difüzyonel kaplamalarda sertlik kaplama tabakasından yüzeye doğru azalırken alev sprej kaplamada kaplama tabakasından alınan sertlik değerleri birbirine yakın olup kaplama tabakasının altındaki bölgede ise difüzyon bölgesi oluşmamış olup doğrudan esas malzemeye geçiş vardır. Boro-titanyumlama uygulanan numunenin 50-200 µm aralığındaki sertlik değerleri sadece borlama işlemi uygulanmış numunenin 50-200 µm aralığındaki sertlik değerlerinden daha düşük olarak ölçülmüştür. Bu durum FeB tabakasının bir kısmının Fe₂B tabakasına dönüştüğü tezini destekler niteliktedir. Ancak uzun borotitanyumlama uygulanan numunenin difüzyon bölgesi daha geniş olmuş ve bu bölgenin sertlik değerleri daha yüksek olarak ölçülmüştür. Öte yandan, ticari STKM-13A çeliğinin 130 HV sertlik değerine sahip olduğu göz önünde bulundurulduğunda sertlik değeri TiC kaplama, Borlama, Boro-titanyumlama ve alev sprej yöntemlerinde vasıtasıyla sırasıyla 24, 13, 18 ve 6,5 kat artırılmıştır. Sertlik değerleri ile yüksek aşınma direnci sağlandığı bir çok çalışmada rapor edilmiştir. Ancak, aşınma elastite modülü, tokluk, sürtünme katsayısı, yüzey pürüzlülüğü gibi bir çok parametreye bağlı olduğu unutulmamalıdır.

4.4. Elde Edilen Kaplamaların Yüksek Sıcaklık Aşınma Dirençleri

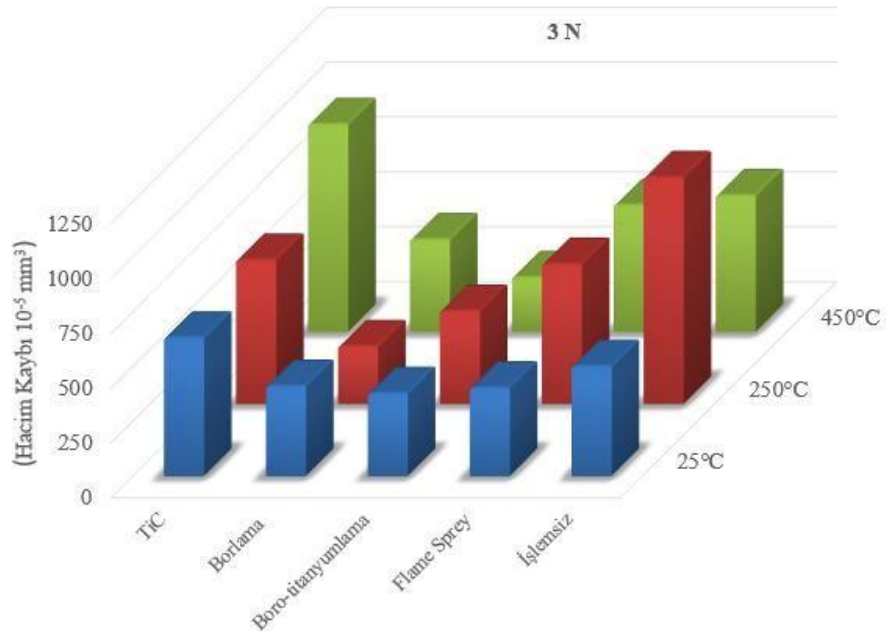
Bu çalışmada, Bölüm 3.1’de kimyasal analizi verilmiş olan ve duşlu masa rollerinde kullanılan işlemsiz STKM-13A çeliği ve kaplama işlemine tabi tutulan (TiC kaplama, borlama, boro-titanyumlama ve alev sprey) STKM-13A çeliğinin yüksek sıcaklık kuru kayma aşınma davranışları incelenmiştir. 40X40X5 boyutunda hazırlanan numunelerin aşınma deneyleri 1 ve 3 N yükler altında, duşlu masa rollerinin çalışma koşulları gözününde bulundurularak oda sıcaklığı, 250°C ve 450 °C sıcaklıklarda ball on disk aşınma cihazında gerçekleştirilmiştir.

Adhesiv aşınma diğer adıyla kuru-kayma aşınması, nispi hareket halinde olan etkileşimli iki yüzey arasında lokal bölgelerde meydana gelen soğuk kaynama ve daha sonrasında bu kaynak bağlarının cisimlerin hareketi sonucunda tekrar kopmasıdır. Kopan bu partiküller sistemin birer elemanı olup ya kendisinden daha yumuşak olan yüzeylerden birisine yapışır (batma veya gömülme şeklinde) veya sistemden aşınma partikülü olarak atılırlar. Adhesiv etkileşim sonucunda meydana gelen bu partiküllerin kimyasal yapıları ve mekanik özellikleri değişime uğradığı için tutunduğu yüzeylerde aşınmayı engelleyici rol oynadıkları gibi tam tersi bir etkide gösterebilirler (Güven ve diğ. 2017). Adhesiv aşınmada numuneye, karşı malzemeye, ortama ve deney şartlarına bağlı olarak birçok parametre etkin rol oynamaktadır.



Şekil 4.12. 1 N yük; oda sıcaklığı, 250°C ve 450 °C’de gerçekleştirilen adhezyon aşınma testleri sonucunda numunelerdeki hacim kayıpları grafiksel gösterimi

Şekil 4.12’de 1 N yük altında ve farklı sıcaklıklarda (25 °C , 250 °C, 450 °C) gerçekleştirilen adhezyon deneyleri sonucunda numunelere ait hacim kaybı değerleri sırasıyla verilmiştir. Oda sıcaklığında yapılan deneyler sonucunda elde edilen hacim kaybı değerleri incelendiğinde en düşük hacim kayıplarının bu sıcaklık değerinde olduğu anlaşılmaktadır. Ancak 450 °C’de gerçekleştirilen deneylerde numunelerin bir kısmında hacim kayıplarında tekrar düşüş olduğu görülmektedir. Numuneler için bir genelleme yapıldığında 250 °C sıcaklıkta gerçekleştirilen aşınma deneyi şartlarında, borlanmış numune haricindeki numuneler oda sıcaklığına göre daha fazla hacim kaybına uğradığını söylemek mümkündür.



Şekil 4.13. 3 N yük; 25 °C sıcaklığı, 250 °C ve 450 °C’de gerçekleştirilen adhezyon aşınma testleri sonucunda numunelerdeki hacim kayıpları grafiksel gösterimi

Şekil 4.13’de ise 3 N yük altında oda sıcaklığı, 250°C ve 450 °C’de gerçekleştirilen adhezyon deneyleri sonucunda numunelere ait hacim kaybı değerleri sırasıyla verilmiştir. Grafikten de anlaşılacağı üzere artan yüke bağlı olarak numunelerde hacimsel aşınma miktarı artmıştır (Şekil 4.12 ve Şekil 4.13). Uygulanan yüke bağlı olarak numunelerde meydana gelen hacim kaybı yorumlanacak olursa; aşındırıcı olarak kullanılan bilya üzerine yük uygulandığı zaman alt yüzey üzerindeki en büyük gerilme etkileşim dairesinin merkezinde (bilya-numune temas noktası) oluşacaktır.

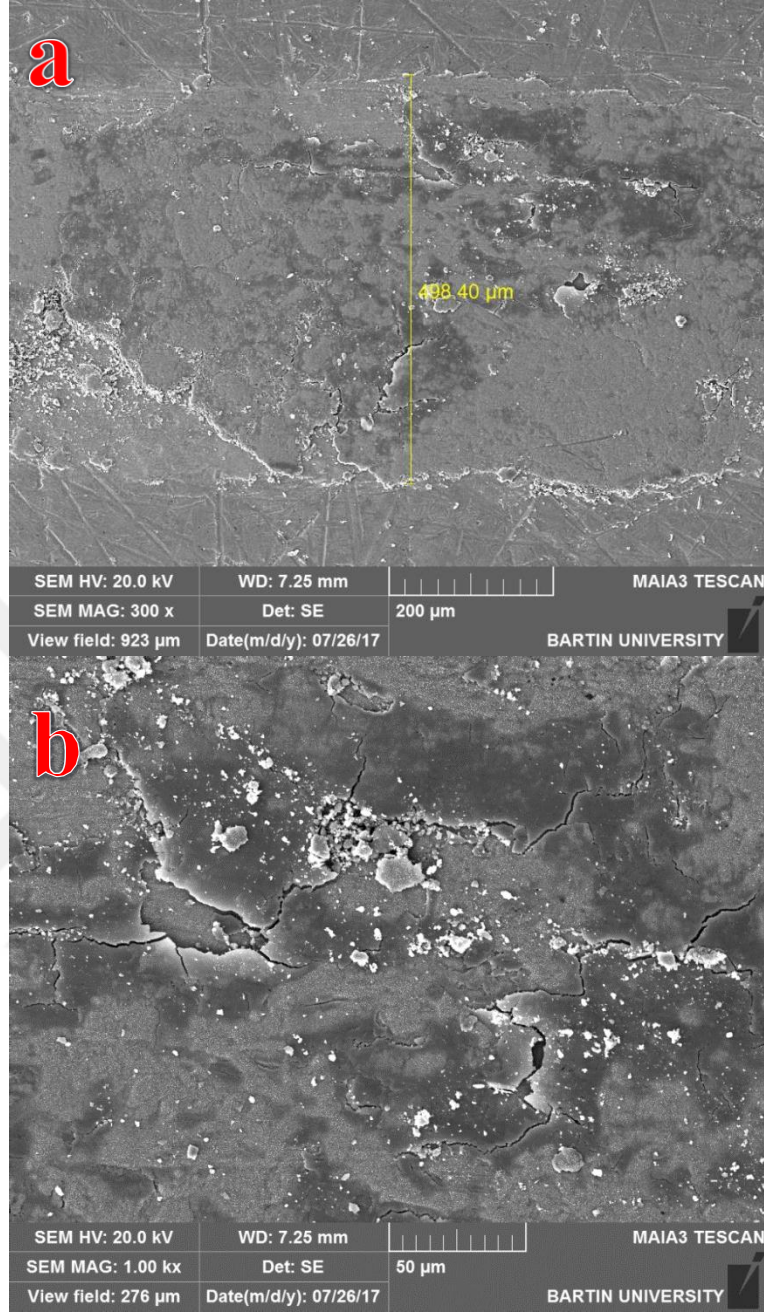
Etkileşim bölgesinde meydana gelen ortalama basınç $w/\pi.a^2$ formülü ile orantılı olacaktır. Burada w uygulanan yük, a ise etkileşim alanının yarıçapıdır. Hem etkileşim hem de bu yüzey altındaki bölgelerde artan yük ile birlikte maksimum basma gerilmesi ve bilyanın kayma kuvvetinin etkisiyle teğetsel kayma gerilmeleri meydana gelecektir. Gerek matris gerekse kaplama bölgesinin plastik deformasyona uğramasında bu gerilmeler etkili olacaktır. Ayrıca artan yüke bağlı olarak adhesif aşınma mekanizmasının temelini oluşturan soğuk kayma mekanizması daha aktif olarak meydana gelecektir.

Bu durum ise daha fazla oranda aşınma partikülünün oluşmasına sebebiyet verecektir. Çok daha yüksek yüklerde ise daha yüksek oranlarda oluşacak kayma gerilmeleri plastik akışı hızlandıracaktır.

Ayrıca artan yüke bağlı olarak basma gerilimi değerleri artacak bu ise yüzey bölgesinde çatlak çekirdeklenmelerine ve kaplamanın kırılarak dökülmesine sebebiyet verecektir. Literatürde kaplama yüzeyinden aşınma etkisi ile kopan partiküllerin sistemde abraziv aşındırıcı olarak iş göreceği de belirtilmektedir (Ageorges ve Ctibor, 2008).

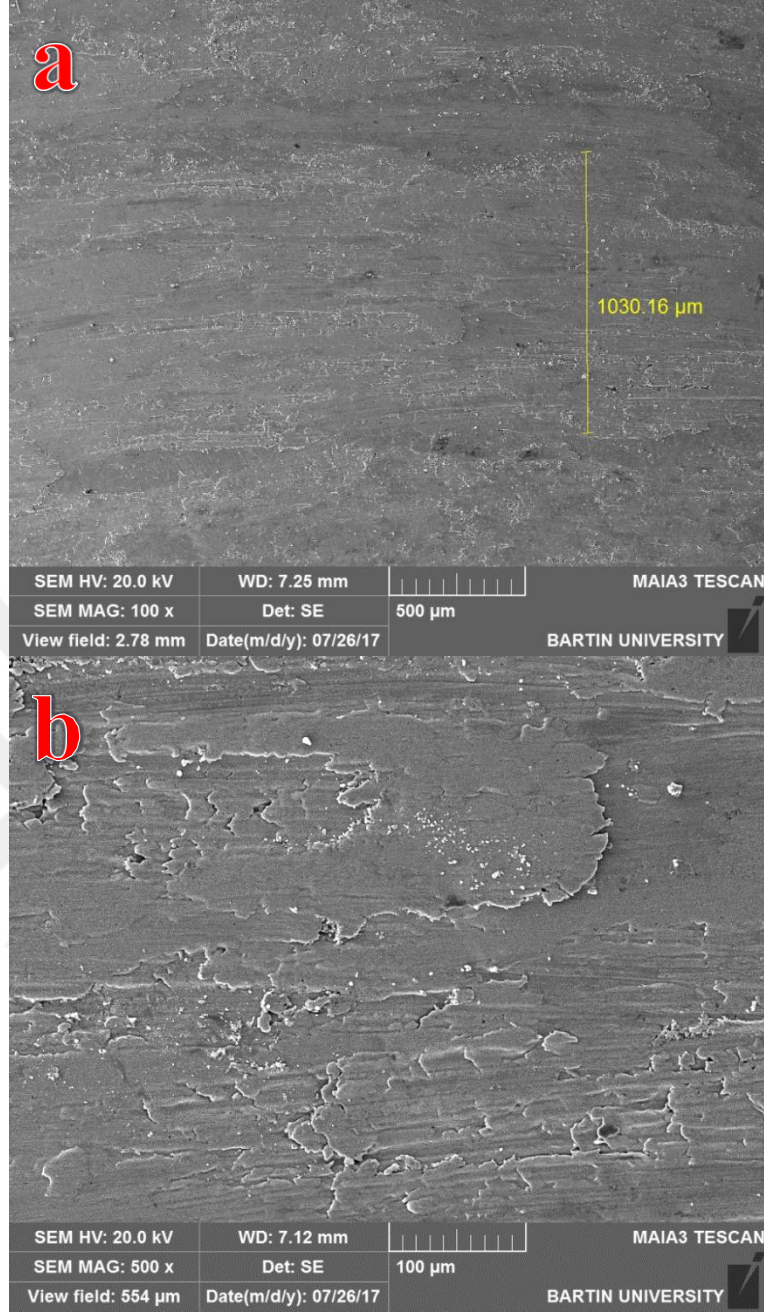
Ancak yükün artması her zaman aşınma hacimlerinin aynı oranda artacağı anlamına gelmemektedir. Bu durum konu ile alakadar çalışma yapan bilim adamları tarafından yüksek yüklerin sebep olduğu bir yoğunlaştırma işlemi (densification process) ile açıklanmaktadır (Betancourt-Dougherty ve Smith, 1998). Yoğunlaştırma işlemi neticesinde malzeme yüzeyinde meydana gelen gözenek ve çatlaklar basma yükleri altında kapanmaktadır. Bu işlem mikron seviyesinde oluşan aşınma partiküllerinin yük ve basınç altında bu boşluklara dolması ile açıklanabilir. Böylece daha yoğun ve daha sert bir yapıya sahip bir kaplama tabakası oluşacağı için meydana gelen aşınma oranı düşmektedir. Artan yük ile birlikte meydana gelen metalik malzemelerdeki pekleşme ve pekleşmeden dolayı meydana gelen sertleşme aşınma direncini yükseltici yönde etki göstermektedir (Betancourt-Dougherty ve Smith, 1998). Yine aşınma direncinin artmasına katkı sağlayan ve kuru-kayma aşınması esnasında ortaya çıkan artan yük ile de bağlantısı olan yüzeyde oluşan koruyucu oksit tabakasıdır (Güven ve diğ., 2017). Temas halindeki yüzeylerin öncelikle pürüzler vasıtası ile etkileşimde olduğu ve bu pürüzlerin küçük alana sahip temas tepelerinde ani bir sıcaklık artışına yol açtığı bilinmektedir (Archard, 1953; Woydt ve Habig, 1989). Bu ani sıcaklık artışı ise oksitlenmeyi hızlandırıcı etki göstermektedir.

Metal ve kaplamaların tribolojik özelliklerinin belirlenmesinde önemli hususlardan bir diğeri de aşınma sonrası numunelerin yüzeylerinde oluşan izlerin karakterize edilmesidir. Değişik koşullardaki aşınma deneylerinden sonra yüzeylerdeki izlerin yorumlanması, malzemelerin aşınma davranışları hakkında fikir edinilmesine yol açabilmektedir. Aşınma deneyine tabi tutulan numunelerin yüzeyleri taramalı elektron mikroskopunda (SEM) incelenmiştir ve Şekil 4.14 ile Şekil 4.20 arasında yorumlanmıştır.



Şekil 4.14. İşlemsiz STKM-13A çeliğinin 3 N yük ve oda sıcaklığında kuru-kayma aşınma deney sonrası SEM yüzey görünümü

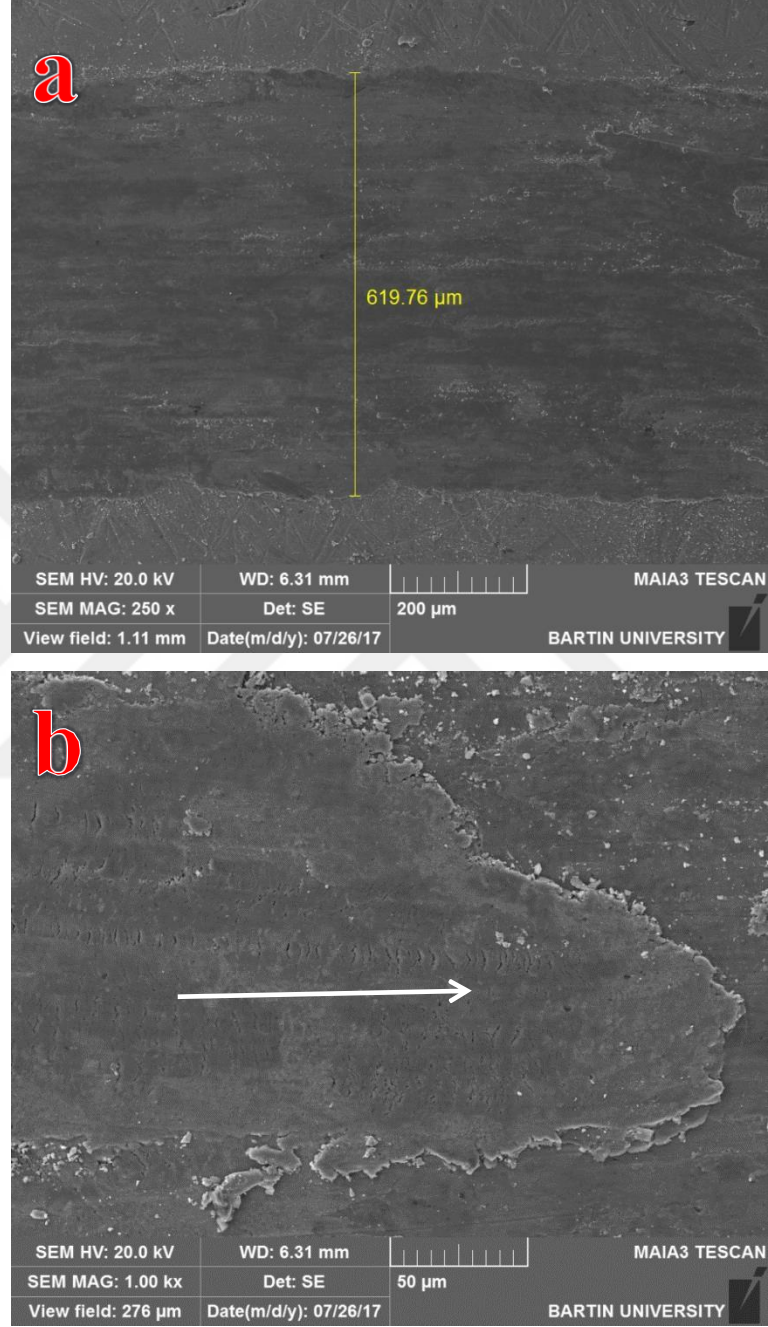
Şekil 4.14’de 3 N yük altında ve oda sıcaklığında kuru-kayma işlemine tabi tutulan matris malzemenin iki farklı büyüklükte SEM aşınma yüzey fotoğrafları incelendiğinde her iki fotoğrafta da aşınma yolu üzerindeki koyu renkli bölgeler dikkat çekmektedir. Malzemede meydana gelen çatlamların da bu bölgeler çevresinde veya içerisinde gerçekleştiği görülmektedir.



Şekil 4.15. İşlemsiz STKM-13A çeliğinin 3 N yük ve 250°C sıcaklıkta kuru-kayma aşınma deney sonrası SEM yüzey görünümü

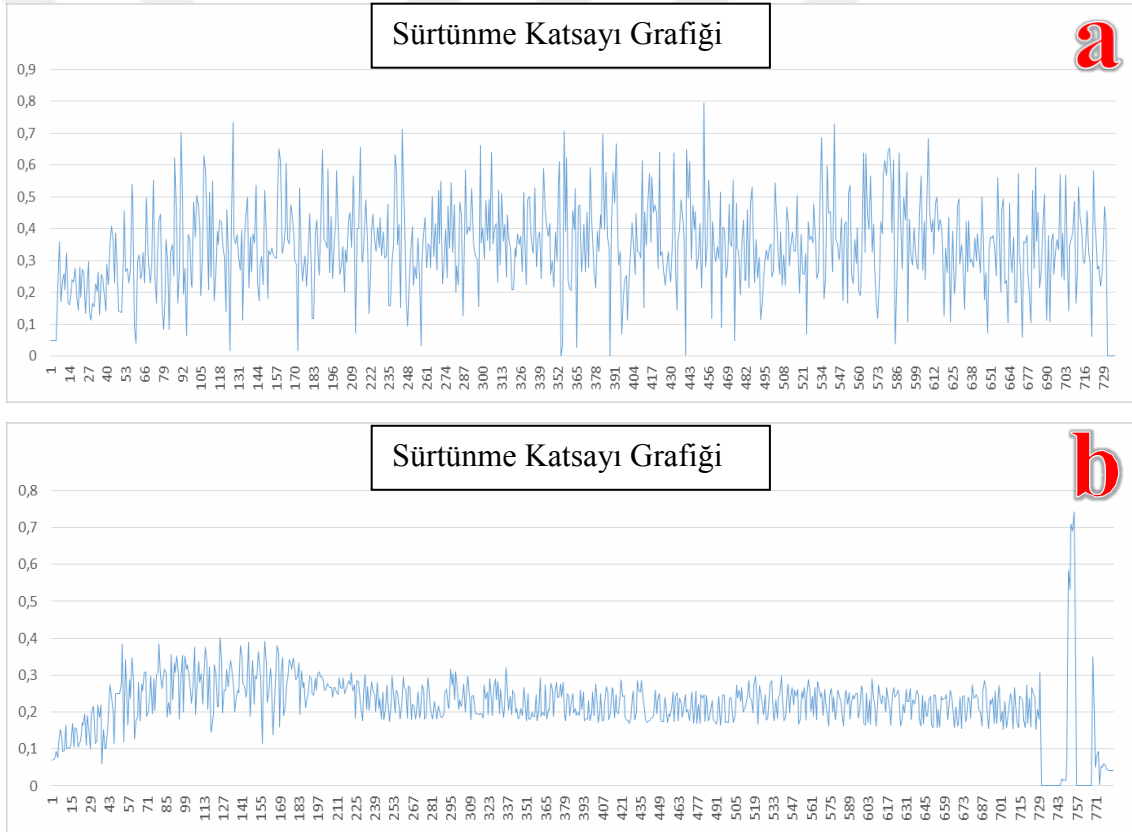
Şekil 4.15 incelendiğinde 250 °C’de gerçekleştirilen aşınma iz genişliğinin oda sıcaklığında gerçekleştirilen aşınma izine göre daha fazla iz genişliği meydana gelmiştir. Ancak aşınma yüzeyi üzerinde kontrast farkı olmadığı yani yüzeyin her tarafının aynı renkte olduğu yine SEM fotoğrafları üzerinde görülmektedir.

Buradan yüzeyin her tarafının benzer şekilde ısının etkisi ile oksitlendiği ancak bu oksit tabakasının kırılkan bir karakteristiğe sahip olduğu yüksek aşınma oranından anlaşılmaktadır.



Şekil 4.16. İşlemsiz STKM-13A çeliğinin 3 N yük ve 450°C sıcaklıkta kuru-kayma aşınma deney sonrası SEM yüzey görünümü a) 250X b) 1000X

Şekil 4.16 incelendiğinde aşınma yüzeyinin tek bir kontrasta sahip olduğu diğer iki aşınma yüzeyinden de daha koyu renkli olduğu ve aşınma yol çizgi genişliğinin 250°C'ye göre tekrar daraldığı görülmektedir. Bu durum yüzeyde meydana gelen oksit tabakasının yüzeyde yağlayıcı etki göstermesi sonucu aşınma dirençlerini olumlu yönde etkilediği ileri sürülebilir. Ayrıca Şekil 4.16b de malzemenin aşınma mekanizmasının gerilmeli yükler altında aşınma yönünde ekstrüze olarak yüzeyden parça koptuğunu söylemek mümkündür. Yine aynı şekil (Şekil 4.16b) üzerinde malzeme yüzeyinde normal ve teğetsel yüklere bağlı olarak meydana gelen basma ve çekme kuvvetlerinin sonucunda oluşan gerilmelerin meydana getirdiği mikro çatlamlar görülmektedir. Ayrıca diğer sıcaklıklarda da görülen ve daha öncede bahsedildiği gibi aşınma yüzeyine yapışan mikron seviyesindeki aşınma partiküllerinin varlığı söz konusudur.



Şekil 4.17. İşlemsiz STKM-13A çeliğinin 3 N yük altındaki a) oda sıcaklığı b) 450°C'de aşınma deneyi sırasında elde edilen sürtünme katsayısı grafikleri

Yukarıdaki sürtünme katsayısı grafikleri matris numune üzerinden oda sıcaklığı ve 450 °C sıcaklıklarda yapılan testlerde elde edilmiştir. Oda sıcaklığında elde edilen verilerde piklerin zaman aralığına bağlı aşağı yukarı hareketini görmek mümkündür.

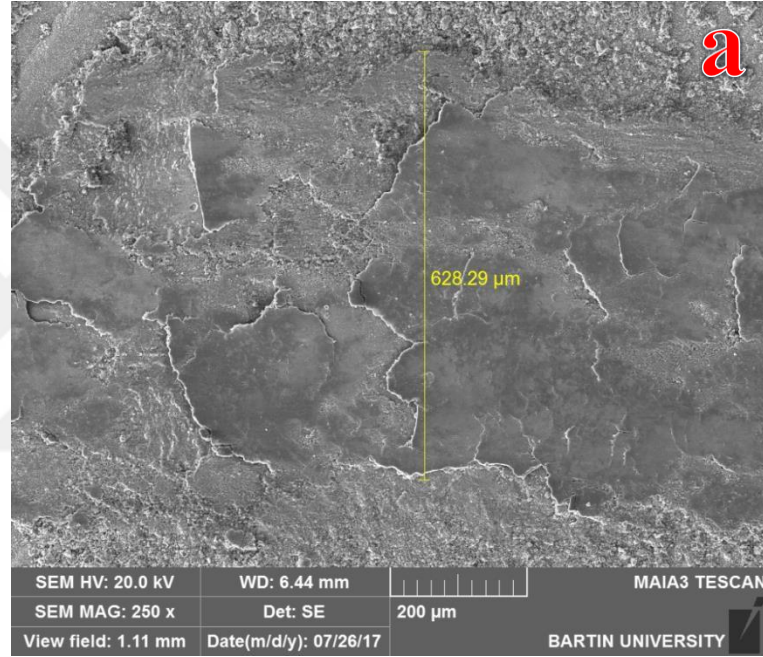
Numunenin aşınma yüzey fotoğrafı incelenirse (şekil 4.14b) delaminasyon sonucu meydana gelen dökülmeler sürtünme katsayısında bu dalgalanmalara sebebiyet vermiştir. Matrisin 450 °C'deki sürtünme katsayı grafiği incelenirse 100 saniye aralığına kadar sürekli bir artış, yüzeydeki pürüzlerin temizlenmesi 100-211 saniyeler arası stabilleşme, oksit tabakasının oluşmaya başlaması ve bundan sonra sürtünme katsayısı değerinin biraz daha düşerek stabil kaldığı görülmektedir. Bu durum ise oksitlerin kararlılığının artması ile açıklanabilir.

Aşınma kompleks bir sistem fonksiyonudur. Malzemelerin aşınması; kontak geometrileri, yüzey pürüzlüğü, mikroyapısal özelliklere, tane boyutuna, kırılma tokluğuna, hıza, yüke, sıcaklığa, süreye, çevreye ve yağlama koşullarına bağlıdır (Woydt ve Habig, 1989). Kaplama esaslı malzemelerin termal aşınmaları alanındaki çalışmalar son yılların popüler konularındandır. Bunun bir sebebinin yüksek sıcaklıklarda seramik malzemelerin kimyasal kararlılığını koruması oluştururken diğer sebeplerini; yüksek sıcaklıklarda malzemelerin aşınma davranışlarının değişmesi ve seramik esaslı malzemelerin katı yağlayıcı gibi etki göstererek sürtünme kuvvetlerini azaltan oksit tabakaları oluşturmasıdır. Yüksek sıcaklıklarda aşındırılan numunelerin yüzeyinde meydana gelen ve yağlayıcı etki gösteren bu oksit fazına Magnetli fazıda denmektedir. Bu fazın oluşmasında olası elementler W, Mo, Ti and V olarak gösterilmektedir (Skopp ve diğ. 1995).

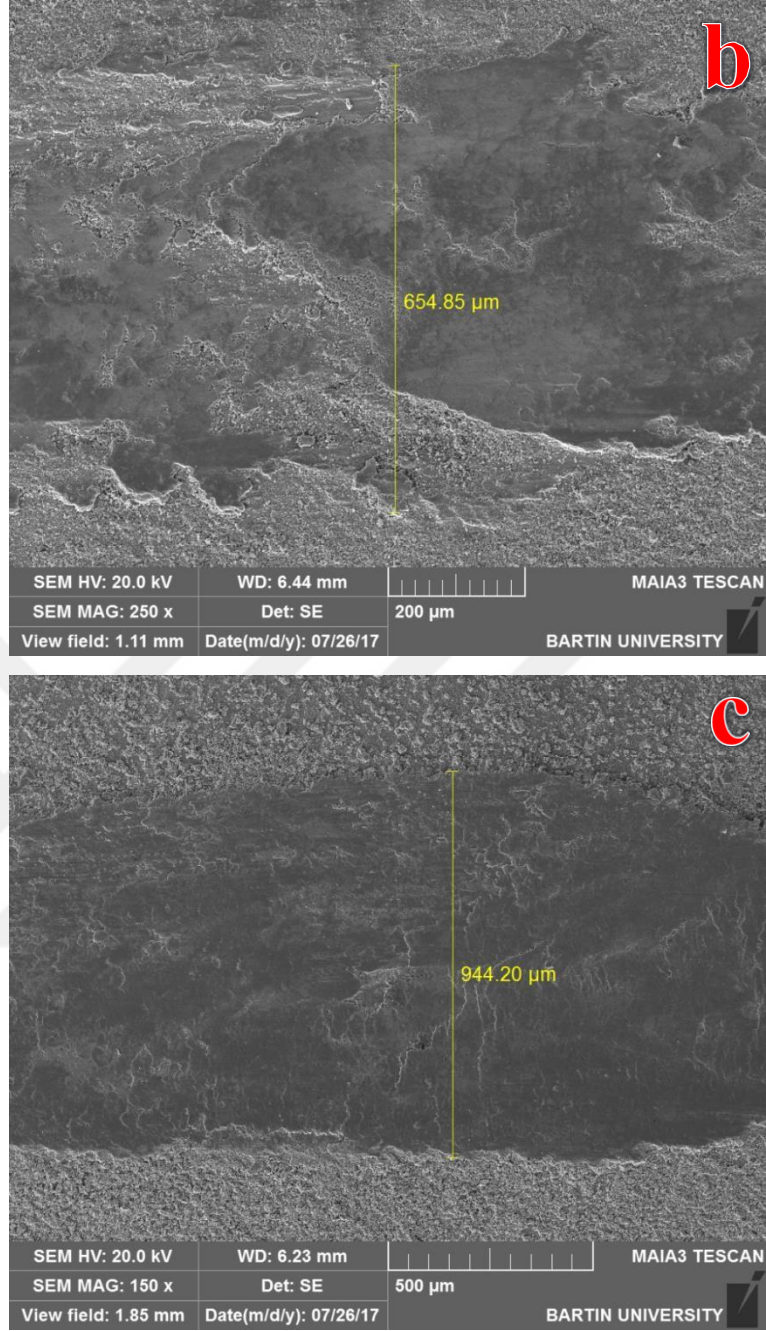
Malzeme yüzeyine uygulanan mekanik kuvvet malzemenin kırılma tokluğun geçtiği zaman malzemedeki hasar meydana gelir. Malzemenin kırılma tokluğu; kompozisyon, tane sınırı enerjisi, tane kırılma enerjisi, malzemedeki hatalar ve makinalama yada üretimden gelen kalıntı gerilmeleri gibi birçok etkenden meydana gelebilir. Yumuşak etkileşim şartlarında mikroskobik etkileşim gerilimi kırılma tokluğunun altında kalır. Ancak pürüzler üzerine gelen gerilim kırılma tokluğunu aşacağı için lokal kırılmalar meydana gelir. Bu durum tane sınırlarında çatlak oluşumuna ve tanelerin dökülmesine sebep olur.

Ayrıca yüksek kayma hızlarında numune yüzeyinde meydana gelen farklı termal gerilmeleri de hesaba katmak gereklidir (Kim ve diğ., 1984; Kim ve diğ., 1986).

Kuru kayma (adhezyon) aşınması genel anlamda etkileşimli iki yüzey arasında lokal bölgelerde meydana gelen soğuk kaynama ve daha sonrasında bu kaynak bağlarının kopmasıdır. Bu esnada meydana gelen aşınma partikülleri geçici veya kalıcı olarak yüzeylerden birisine yapışırlar. Adhesiv aşınmada farklı parametreler etkin rol oynamaktadır. Örneğin Rabinowicz'e göre pürüzlerin sertliği malzemenin hacim sertliğinden çok daha önemlidir. Çünkü gerçek alandaki etkileşim pürüzler vasıtasıyla meydana gelmektedir (Rabinowicz, 1965). Archard'ın adhesiv aşınma teorisinde ise aşınma hacmi; kayma hızı, normal yük ve malzeme sertliğinin bir fonksiyonu olarak meydana gelmektedir (Archard, 1953; Archard ve Hirst, 1956).



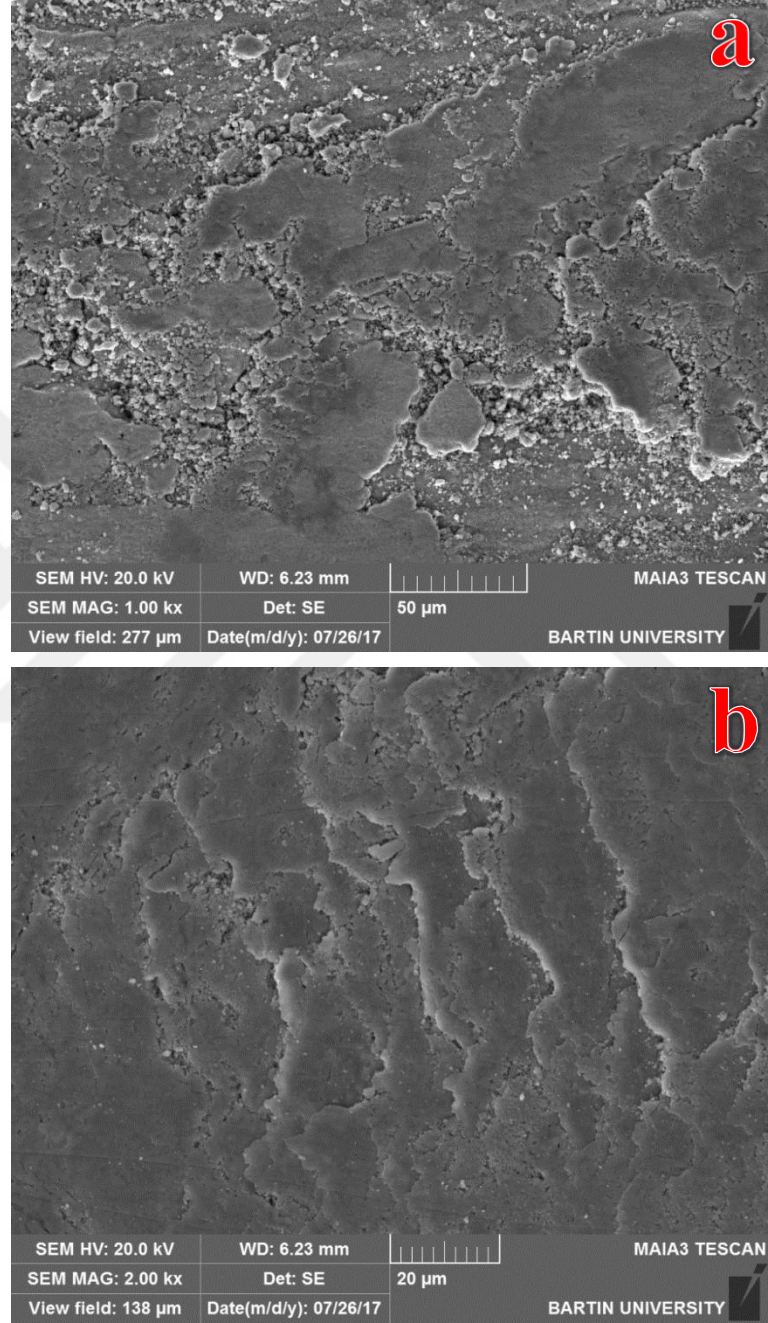
Şekil 4.18. TRD yöntemi ile TiC kaplanmış STKM-13A çeliğinin 3 N yük a) 25 °C b) 250 °C, c) 450 °C SEM yüzey görüntüleri



Şekil 4.18. TRD yöntemi ile TiC kaplanmış STKM-13A çeliğinin 3N yük a)) 25 °C b) 250 °C c) 450 °C SEM yüzey görüntüleri

TiC kaplanmış numuneler matris ve alev sprej kaplamanın tersine sıcaklığın artışı ile aşınma yol izlerinde artış tespit edilmiştir. Bu artış kaplama tabakasının 5 μm civarında olmasından dolayı yüzeyden kalktığı ve dökülen bu kaplama tabakasının bilya ile matris arasında aşındırıcı rol oynadığı ileri sürülebilir.

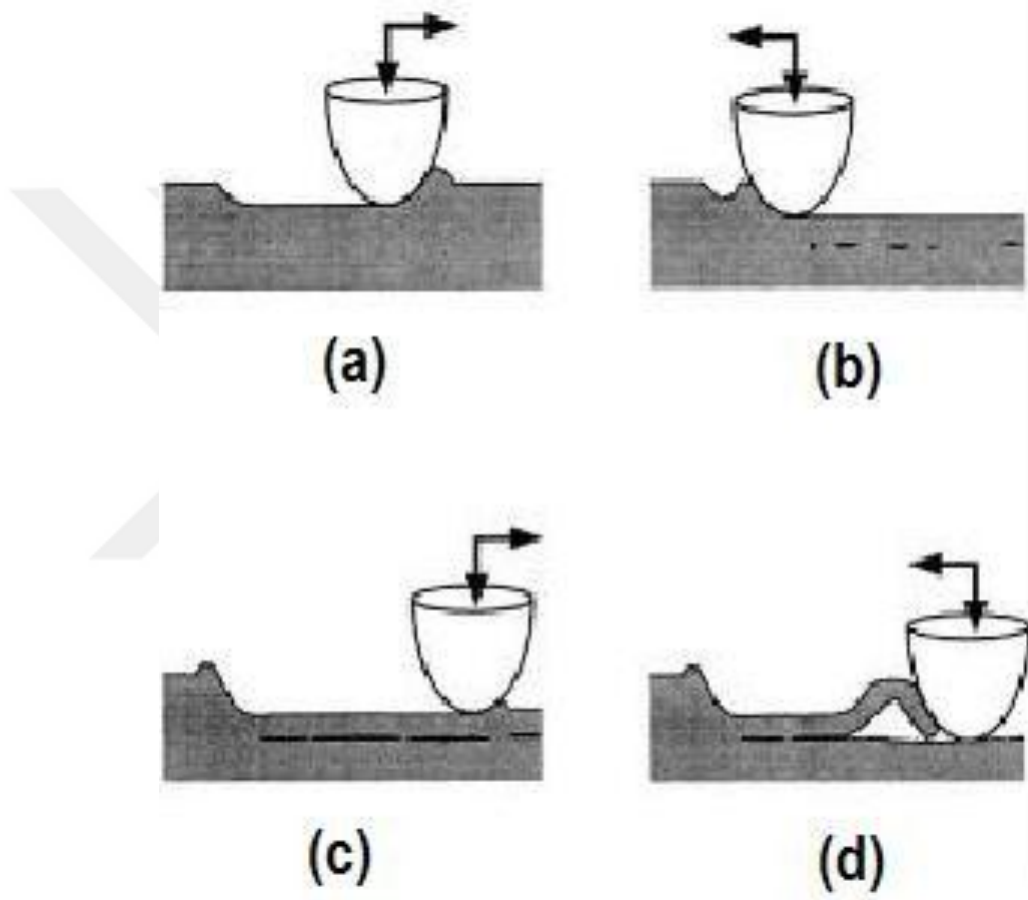
Aşınma tipinin belirlenmesi için bu numuneden 1000X ve 2500X büyütmelerde resimler alınmış ayrıca aşınmış yüzeyin EDS analizi yapılmıştır (Şekil 4.19 ve Şekil 4.21).



Şekil 4.19. TRD yöntemi ile TiC kaplanmış STKM-13A çeliğinin 3 N yük a) 250 °C b) 450 °C büyütmedeki SEM görüntüleri

Şekil 4.19 incelendiğinde deleminasyon tipi aşınmanın baskın aşınma mekanizması olduğu görülmektedir. Deleminasyon tipi aşınma mekanizması Kato ve diğ., (1997) tarafından a) yüzeyde plastik deformasyonun oluşumu, b) aşınma yüzeyi altında çatlakların çekirdeklenmesi,

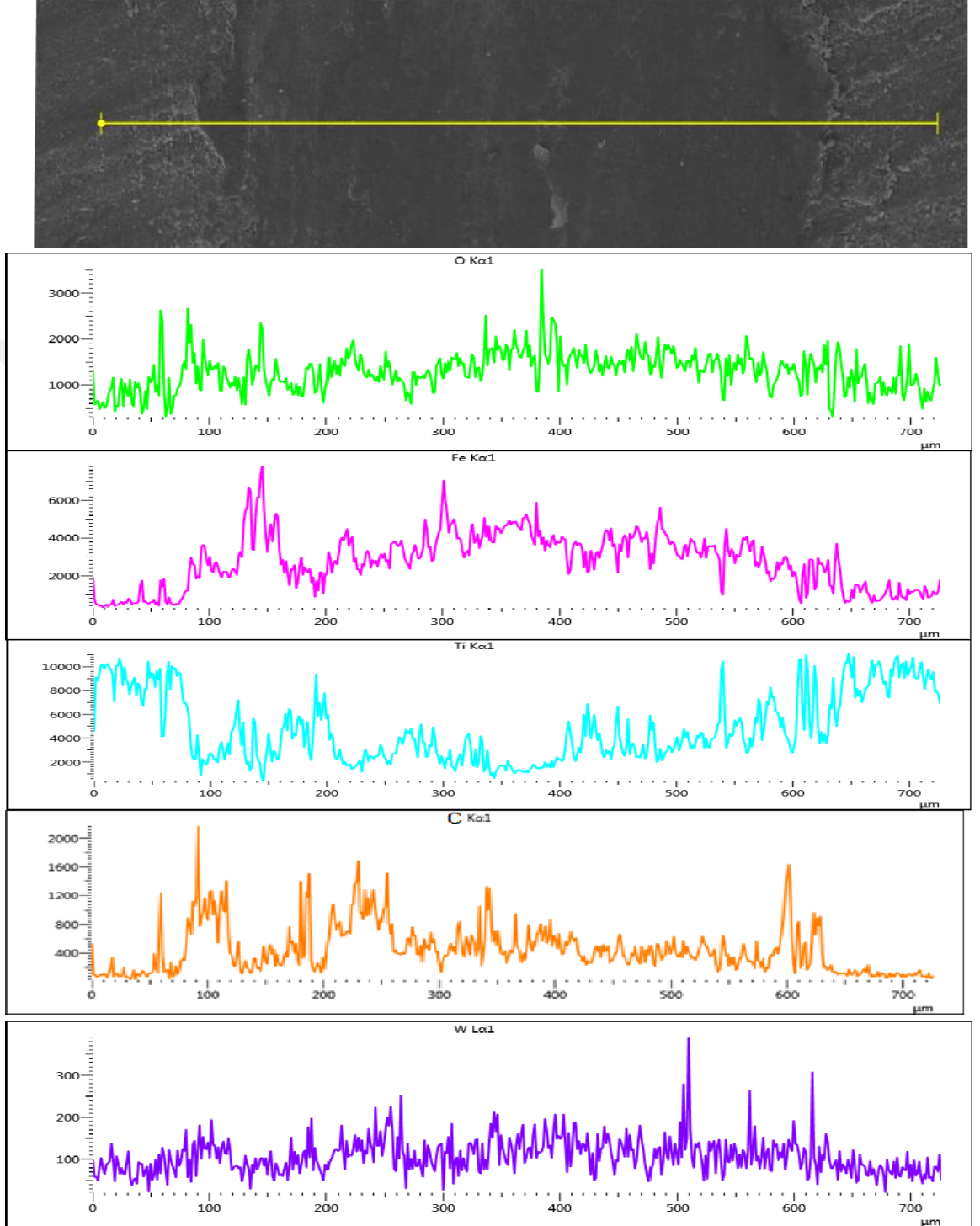
c) çekirdeklenen bu çatlakların yanındaki çatlak ile birleşerek yayılması ve d) laminant formunda oluşan bu aşınma atıklarının yüzeyden ayrılması şeklinde açıklanmıştır (Şekil 4.20).



Şekil 4.20. Delaminasyon tipi aşınmanın oluşum mekanizması (Kato ve diğ., 1999)

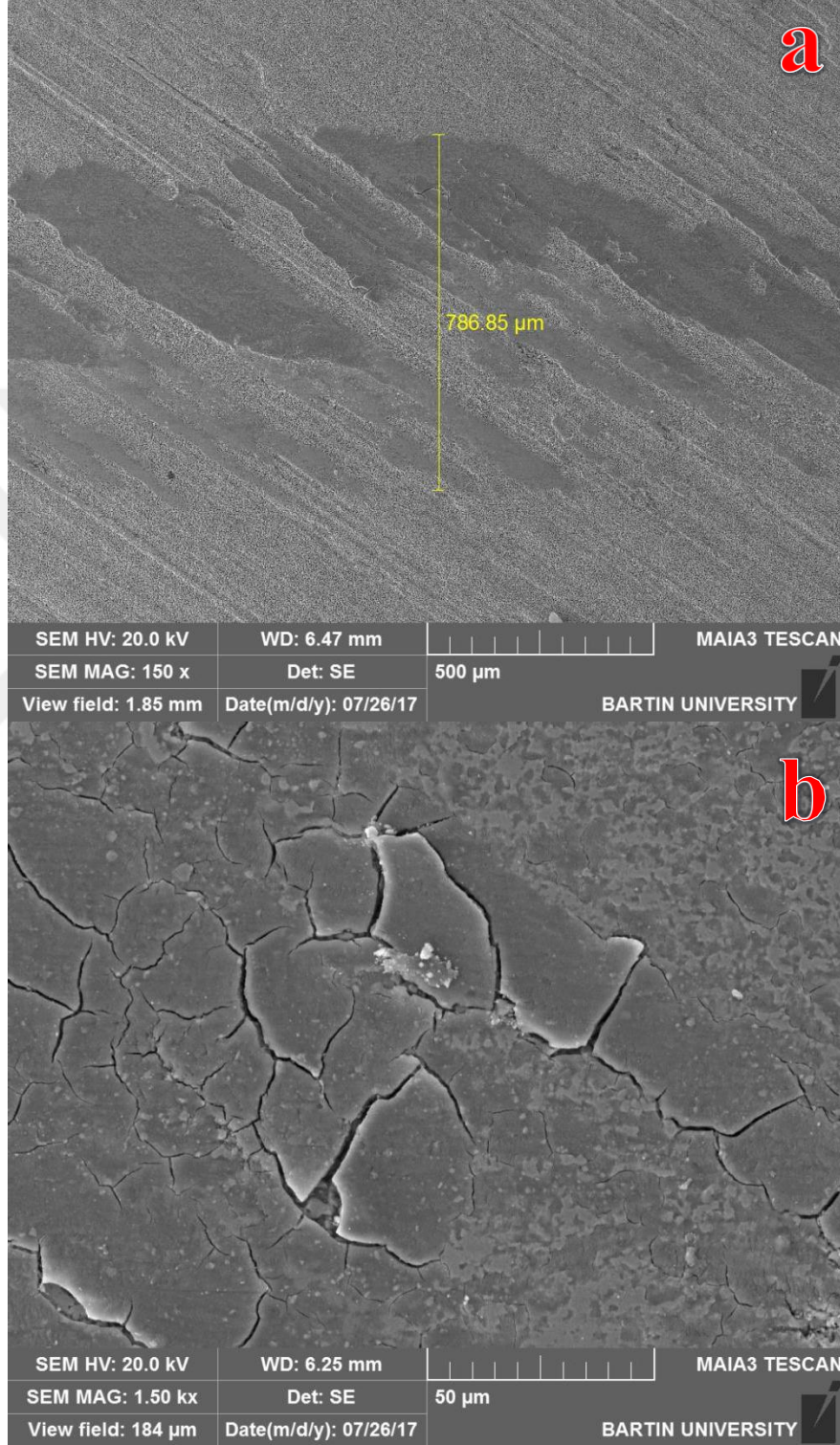
Ayrıca aşındırılmış TiC kaplı numunenin aşınma yolu üzerinden alınan EDS analizinde yüzeyde oksijen elementinin varlığı ile birlikte ferrit oranının yüksek olması yüzeyde oksit tabakasının oluştuğuna Ti elementinin düşmesi ise aşındırma işlemi sonucunda kaplama tabakasının kalktığı ve matrise ulaşıldığına işaret etmektedir (Şekil 4.21). Ayrıca yüzeyde W elementinin varlığı aşındırıcı bilyadan karşı yüzeye malzeme transfer olduğunu bunun ise yüksek sıcaklığa bağlı olduğunu söylemek mümkündür.

Bu durum TiC kaplama tabakasının yüzey sertliği en yüksek olsa da kaplama kalınlığının yetersizliği aşınma direncinde olumsuz etki göstermiştir.



Şekil 4.21. 3 N luk yük ve 450 °C sıcaklıkta yapılan kuru-kayma deney sonrasında aşınma yüzeyinden alınan EDS analizi.

Şekil 4.22-4.24’de borlama işlemi uygulanmış numunelerin aşınma işlemi sonra aşınmış yüzeylerin SEM resimleri verilmiştir.

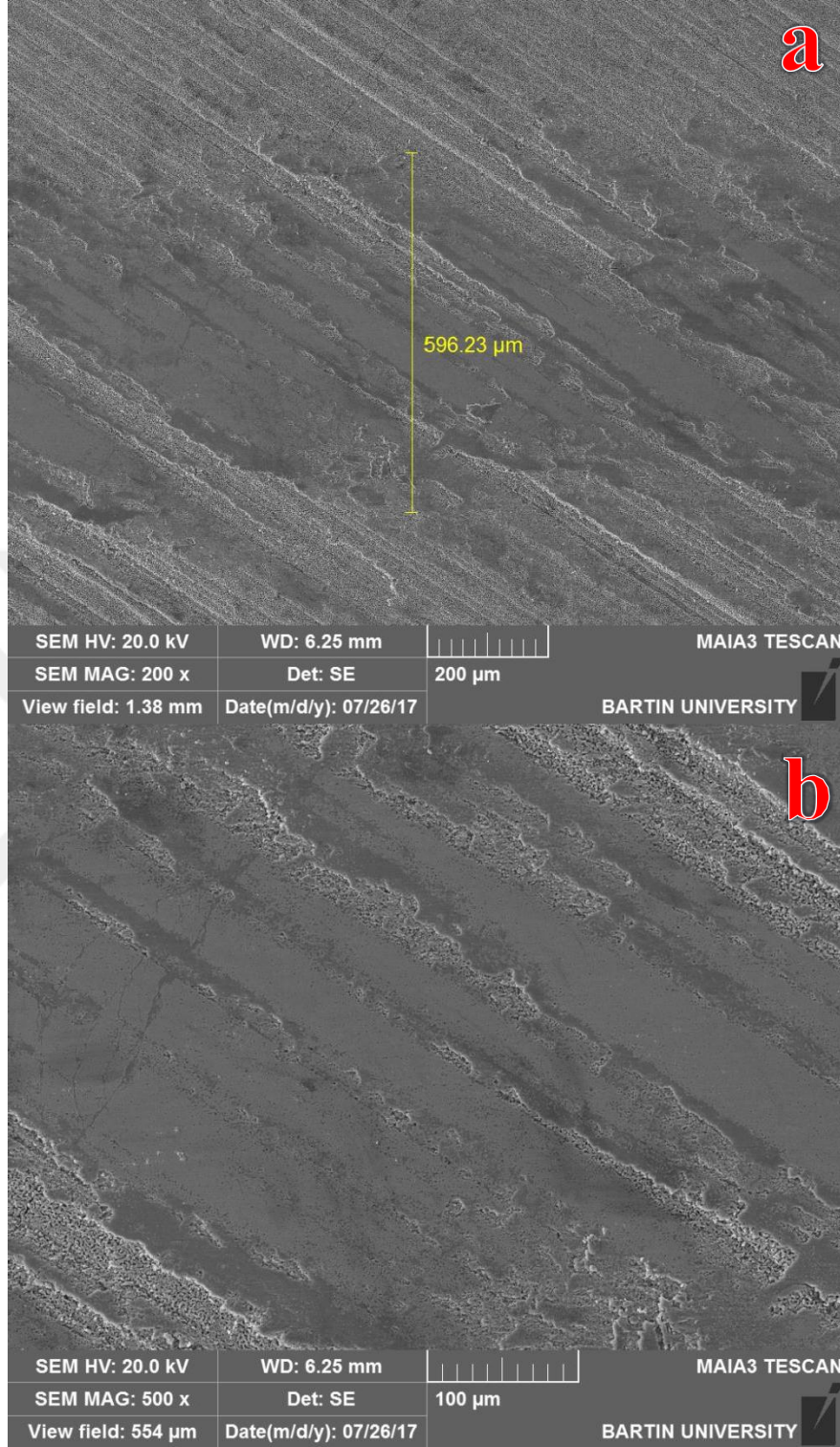


Şekil 4.22. Borlama işlemine tabi tutulan STKM-13A çeliğinin 3 N yük ve oda sıcaklığında kuru-kayma aşınma deney sonrası SEM yüzey görünümü

a



Şekil 4.23. Borlama işlemine tabi tutulan STKM-13A çeliğinin 3 N yük ve 250 °C sıcaklığında kuru-kayma aşınma deney sonrası SEM yüzey görünümü

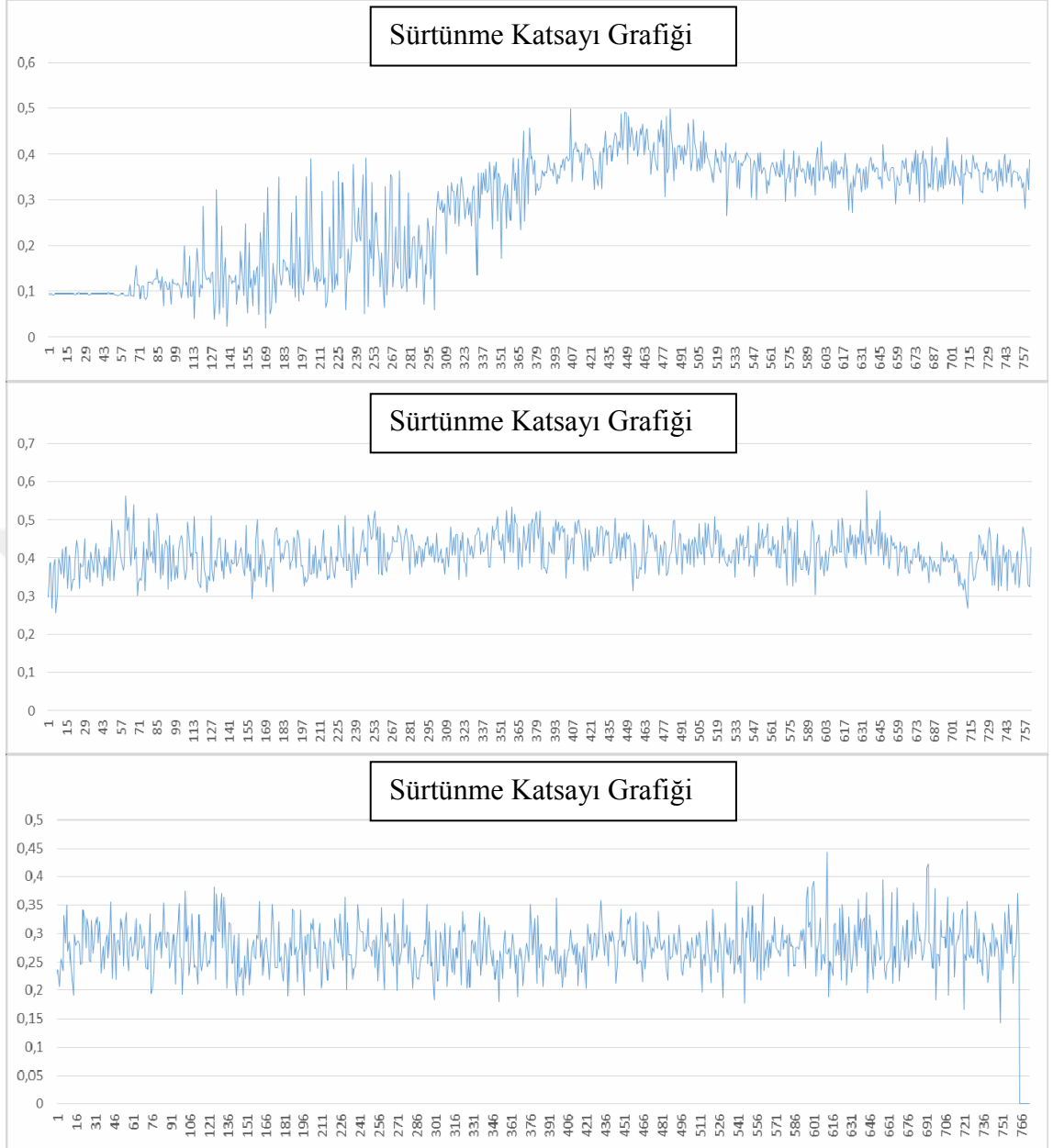


Şekil 4.24. Borlama işlemine tabi tutulan STKM-13A çeliğinin 3 N yük ve 450 °C sıcaklığında kuru-kayma aşınma deney sonrası SEM yüzey görünümü

Borlanmış numunelerin aşınma izi çizgilerinden görüldüğü üzere en yüksek aşınma direnci oda sıcaklığında aşındırılan numunede meydana gelmiştir.

Aşınma deney sıcaklığının 250°C'ye çıkarılması ile aşınma iz genişliğinde bir miktar azalma meydana gelmiştir. Sıcaklığın 450°C'ye çıkarılması ile aşınma iz genişliği 250°C'ye göre bir miktar artmış ancak oda sıcaklığındaki aşınma izinden daha az olarak gerçekleşmiştir. 250 ve 450 °C'deki aşınma yüzeyleri (Şekil 4.24b ve Şekil 4.25b) incelendiğinde pürüzsüz bir yüzeyin varlığı görülmektedir. Boro-titanyumlanmış numunelerde ayrıntılı olarak tarif edilen oksit içerikli bu sır (glazed layer) tabaka numunelerin aşınma dirençlerini yüksek sıcaklıklarda olumlu yönde etkilemiştir (Günen ve diğ., 2017).

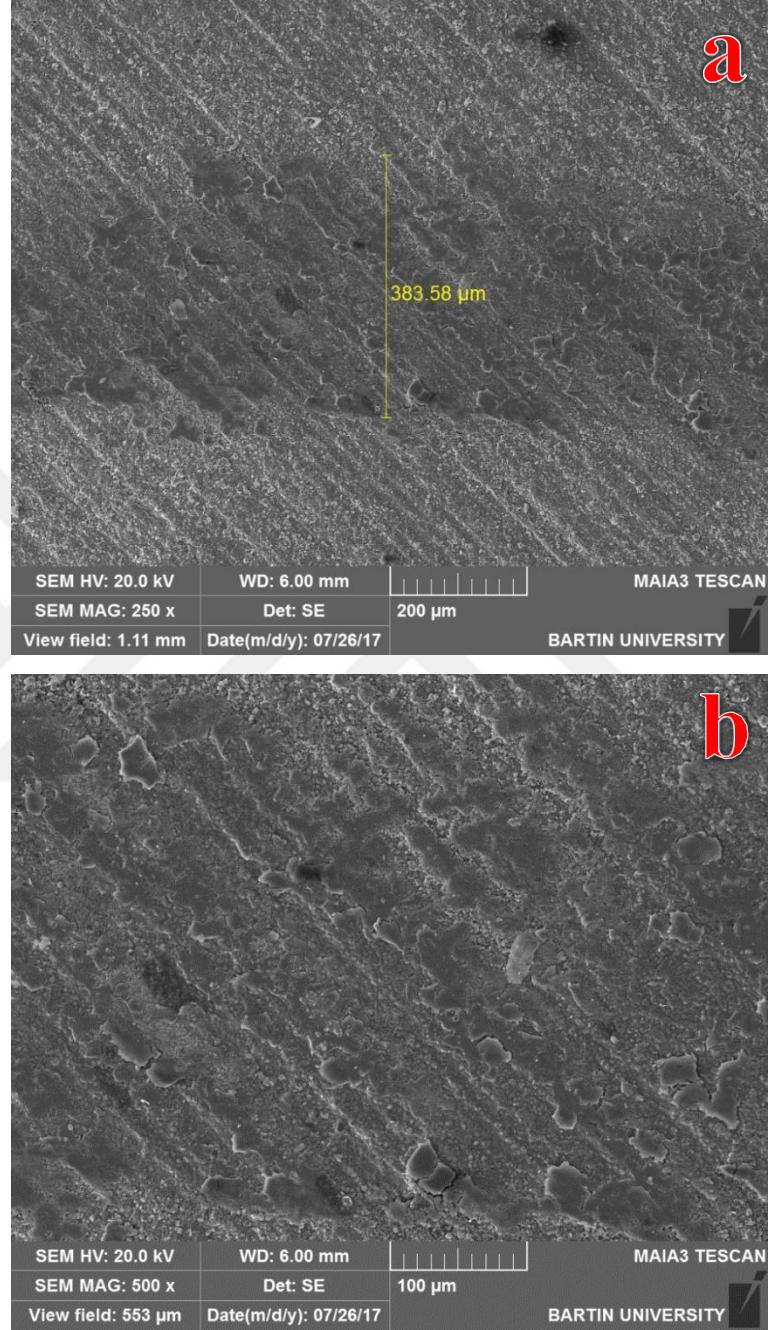
Borlanmış numuneler boro-titanyumlanmış numunelerden sonra en iyi aşınma direncini göstermiştir. Borlanmış numunelerin aşınma mekanizmaları incelendiğinde oda sıcaklığında yorulmaya bağlı aşınma mekanizması görülmüştür. Yorulma aşınması, dişli çarklar, rulmanlı yataklar ve kam mekanizmaları gibi birbirleriyle sürekli temas halinde olan yüzeylerde yaygın olarak görülen bir aşınma türüdür. Bu tür makine elemanlarında temas alanları çok küçük olduğundan temas yüzeylerinde Hertz basınçları oluşmaktadır. Bu basınçların etkisinde yüzeyin hemen altında kayma gerilmeleri meydana gelmektedir. Kayma gerilmelerinin maksimum olduğu noktada plastik deformasyon oluşmakta ve bu deformasyon zamanla yüzeye ilerleyerek yüzeyde çukurcuklar meydana gelmektedir.



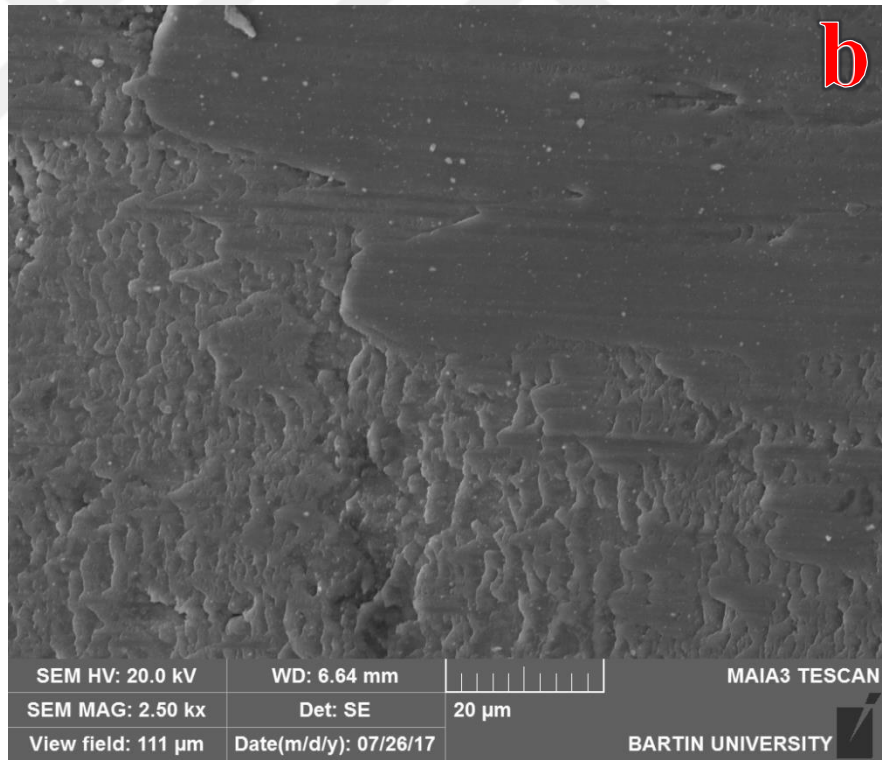
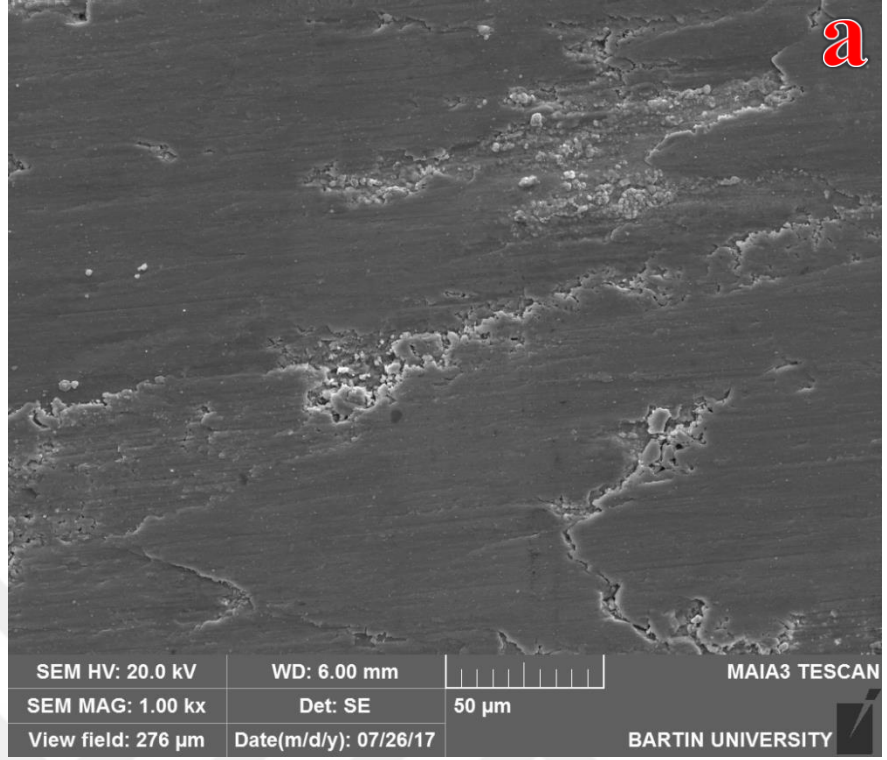
Şekil 4.25. Borlanmış STKM-13A çeliğinin 3 N yük altındaki a) oda sıcaklığı b) 250°C c) 450°C’de aşınma deneyi sırasında elde edilen sürtünme katsayısı grafikleri

Borlanmış numunelerin sürtünme katsayısı grafikleri incelendiğinde oda sıcaklığında elde edilen verilerde 450 sn kadar zamanla bir artış gözlemlenmiş ardından bir düşüş eğilimi söz konusudur. 250°C ve 450°C sıcaklıklarda ise daha stabil bir grafik sergilemişlerdir. Bu durum oksit tabakasının aşınma deneyi başlangıcında oluştuğu ve kırılmayarak kararlılık gösterdiğini göstermektedir. Bu durum aşınma işleminin 250 ve 450 °C sıcaklığındaki aşınma hacimlerinin kayıplarının daha az olduğunu göstermektedir.

Şekil 4.26-4.28’de boro-titanyumlama işleminden sonra farklı sıcaklıklarda aşındırma işlemine tabi tutulan numune yüzeylerinden alınan SEM aşınma iz fotoğrafları verilmiştir.

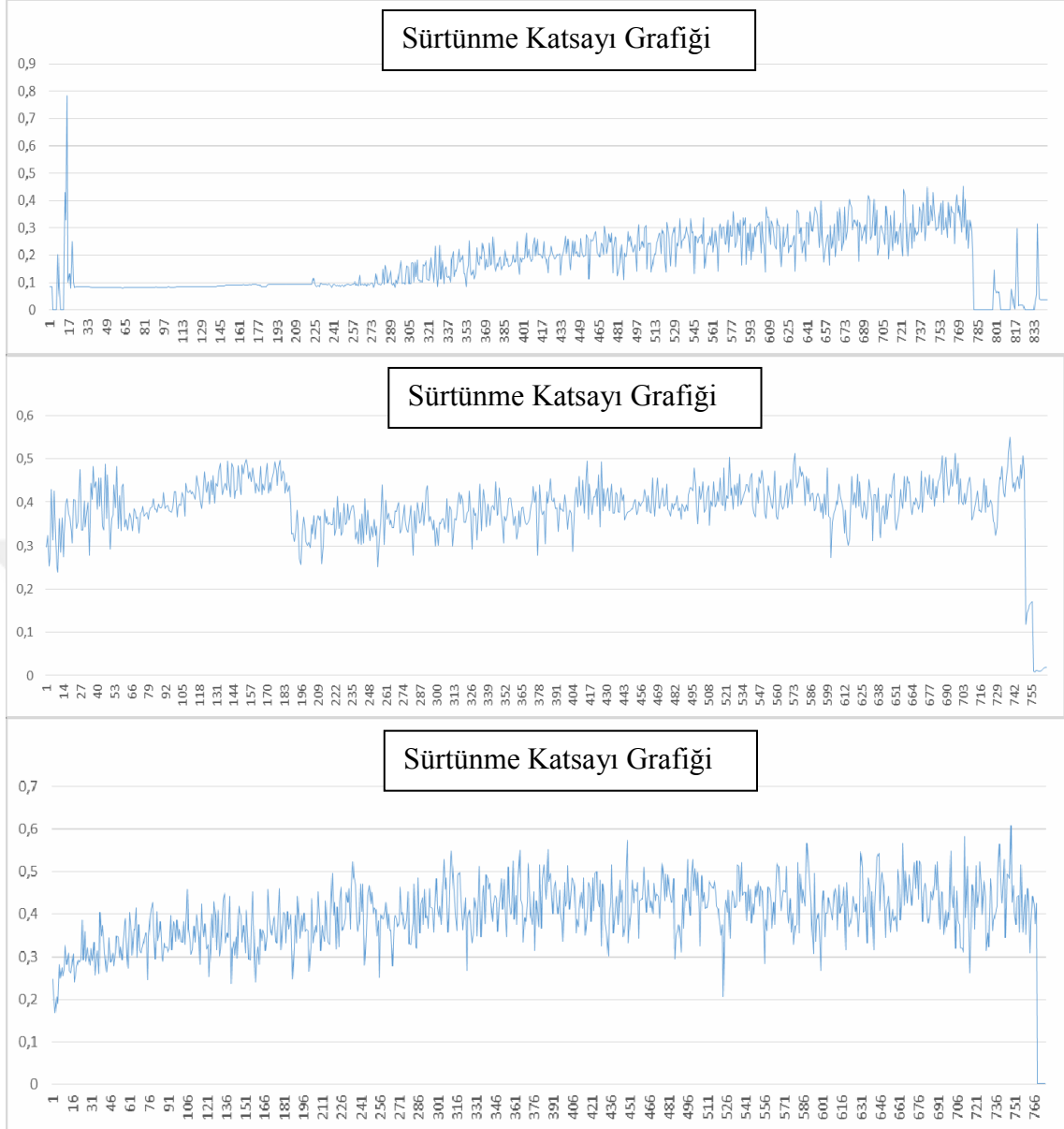


Şekil 4.26. Boro-titanyumlama işlemine tabi tutulan STKM-13A çeliğinin 3 N yük ve oda sıcaklığında kuru-kayma aşınma deney sonrası SEM yüzey görünümü



Şekil 4.27. Boro-titanyumlama işlemine tabi tutulan STKM-13A çeliğinin 3 N yük ve a) 250 °C sıcaklıkta b) 450 °C sıcaklıkta aşınmış yüzeylerin SEM görünümü

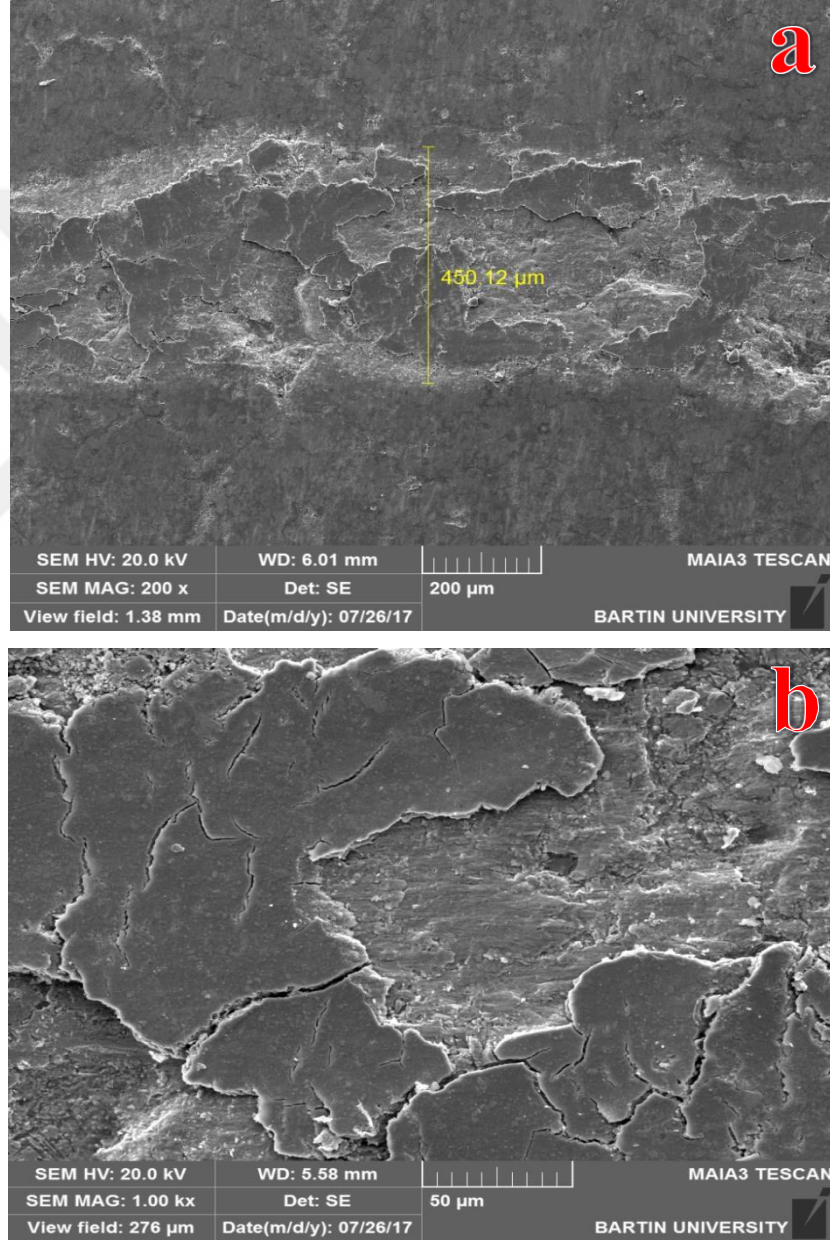
Tüm numuneler içerisinde en iyi aşınma direnci boro-titanyumlanmış numunelerde elde edilmiştir. Boro-titanyumlama işlemine tabi tutulan numunelerin aşınma dirençlerinin yüksek olma sebebi şu şekilde açıklanabilir. Borlama işleminin ardından titanyumlama işlemi uygulanması ile yüzeyde borlama işlemi ile elde edilen sertlik değerinden çok daha yüksek bir tabakanın elde edilmesi (çizelge 4.1) ve borlama ısıl işlemindeki porozite ve çatlakların yapılan ikinci ısıl işlemle azaltılması (Şekil 4.7 ve Şekil 4.8) ve borlama tabakasının iç kısımlara doğru difüzyonu ile daha kalın bir kaplama tabakası elde edilmesine bağlanabilir (Şekil 4.2 ve Şekil 4.3). Sıcaklık artışı ile aşınma hacmi 250 °C’de önce bir miktar artmış ancak 450 °C’de ise tekrar azalmıştır. Bu durum (glazed layer) sır tabaka ile örtüşmektedir. Bu sır tabakası literatürde bu şekilde açıklanmaktadır. (Stott, 1998). Aşındırma işleminin başlaması ve devam eden prosese bağlı olarak oksitlenerek yüzeyden kopan aşınma partiküllerinin oranı belli bir değere ulaşır ‘glazed layer’ olarak tarif edilen sır tabakası numune yüzeyinde bu oksit tabakaları tarafından oluşturulmaya başlar. Bu oluşum mikron seviyesinde kırılarak yüzeyde toplanan aşınma partiküllerinin tekrar eden yük ve nominal baskıların altında bir sinterleme reaksiyonuna bağlı olarak meydana gelmektedir. Aşınma yüzeyinde meydana gelen bu sır tabakası yüksek sıcaklıklarda katı yağlayıcı etkisi oluşturmaktadır. Katı yağlayıcı etkisi ise numunenin aşınmasında önemli etkiye sahip olan kesme kuvvetlerinin azalmasında önemli bir etki oluşturmaktadır (Inman ve diğ., 2006). Benzer durum tüm numunelerde görülmesine rağmen en yoğun şekilde boro-titanyumlama işlemine tabi tutulan numunelerde görülmüştür. Aşınma mekanizması olarak oda sıcaklığında delaminasyon, 250 °C sıcaklıklarda ekstrüzyona bağlı çatlamlar ve adhezyon 450 °C ise aşınma izi yönüne dik şekilde yorulmaya bağlı gelişen yığılma çatlamları söylenebilir.



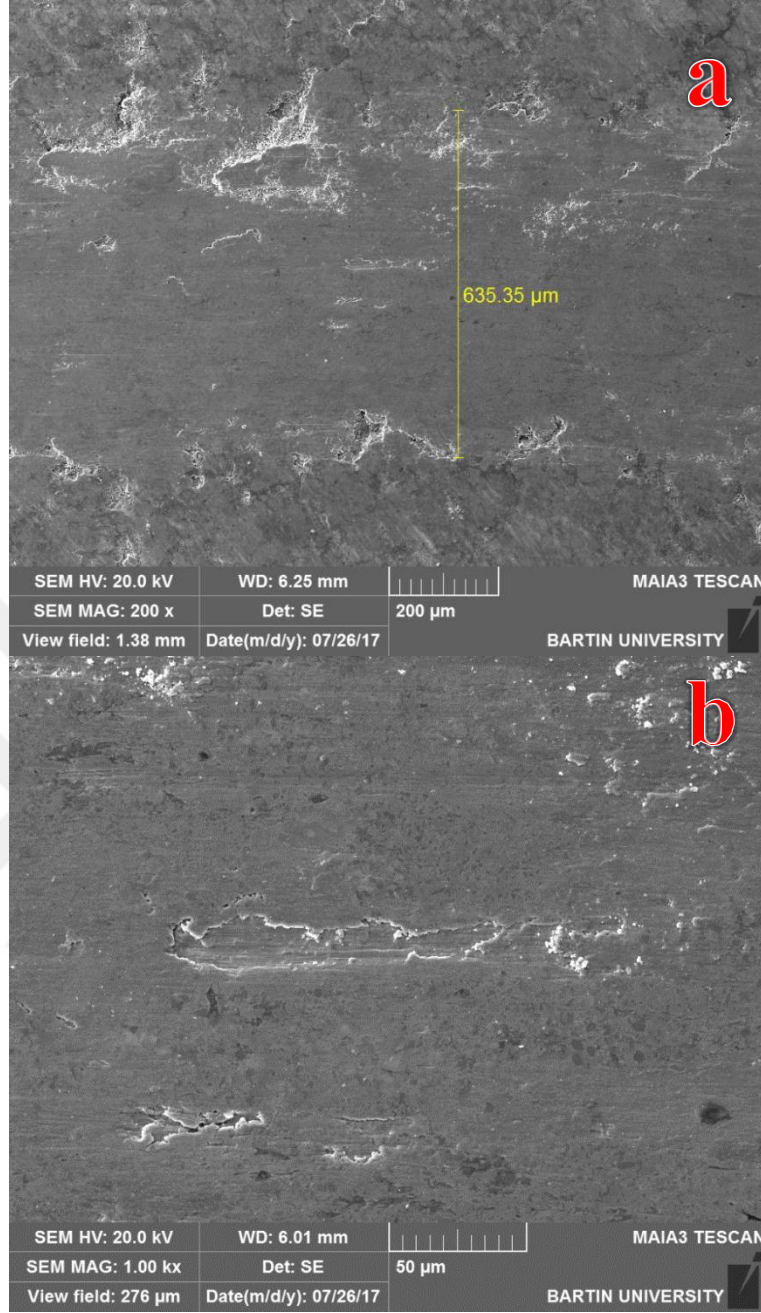
Şekil 4.28. Boro-titanyumlama işlemine tabi tutulan 3 N yük altındaki a) oda sıcaklığı b) 250°C c) 450°C’de aşınma deneyi sırasında elde edilen sürtünme katsayısı grafikleri

Boro-titanyumlama uygulanan numunelerin sürtünme katsayısı grafikleri incelediğinde oda sıcaklığındaki numunede 20. sn’ye ye kadar yüzey pürüzlüklerinin giderildiği bu yüzey pürüzlülük giderildikten sonra TiB_2 tabakasında çok düşük sürtünme katsayısı elde edilmiştir. 250 sn’den sonra TiB_2 tabakasının aşınmaya başladığı görülmektedir. Bu süreden sonra sürtünme katsayısı grafiğinde bir artış eğilimi göstermiştir. 250°C ve 450°C’deki deneylerde daha yüksek sürtünme katsayısı elde edildiği grafiklerden görülmektedir.

Şekil 4.29. 3 N yük altında ve oda sıcaklığında de kuru-kayma işlemine tabi tutulan ve matris malzemenin üzerine yaklaşık 1300 µm kalınlıkta alev sprej kaplama yöntemi ile kaplanan numune yüzeyinin aşındırma işlemi sonrasında iki farklı büyüklükte SEM aşınma yüzey fotoğrafı verilmiştir. Kaplama tabakasının pul pul yüzeyden döküldüğü her iki SEM fotoğrafından da görülmektedir. Bu dökülmelerin meydana gelmesi delemantasyon tipi aşınma mekanizmasının sistemde hüküm sürdüğü anlamına gelmektedir.

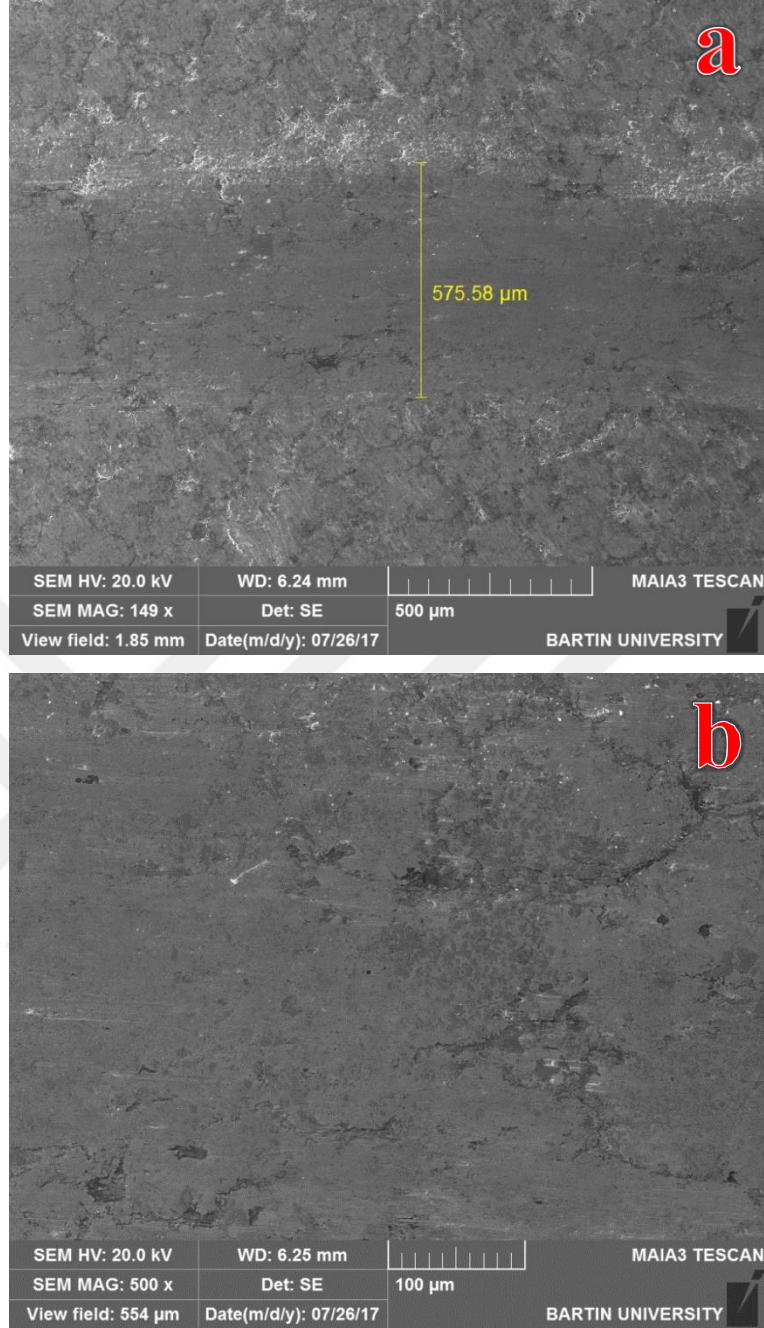


Şekil 4.29. Alev sprej kaplanmış STKM-13A çeliğinin 3 N yük ve oda sıcaklığında kuru-kayma aşınma deney sonrası SEM yüzey görünümü



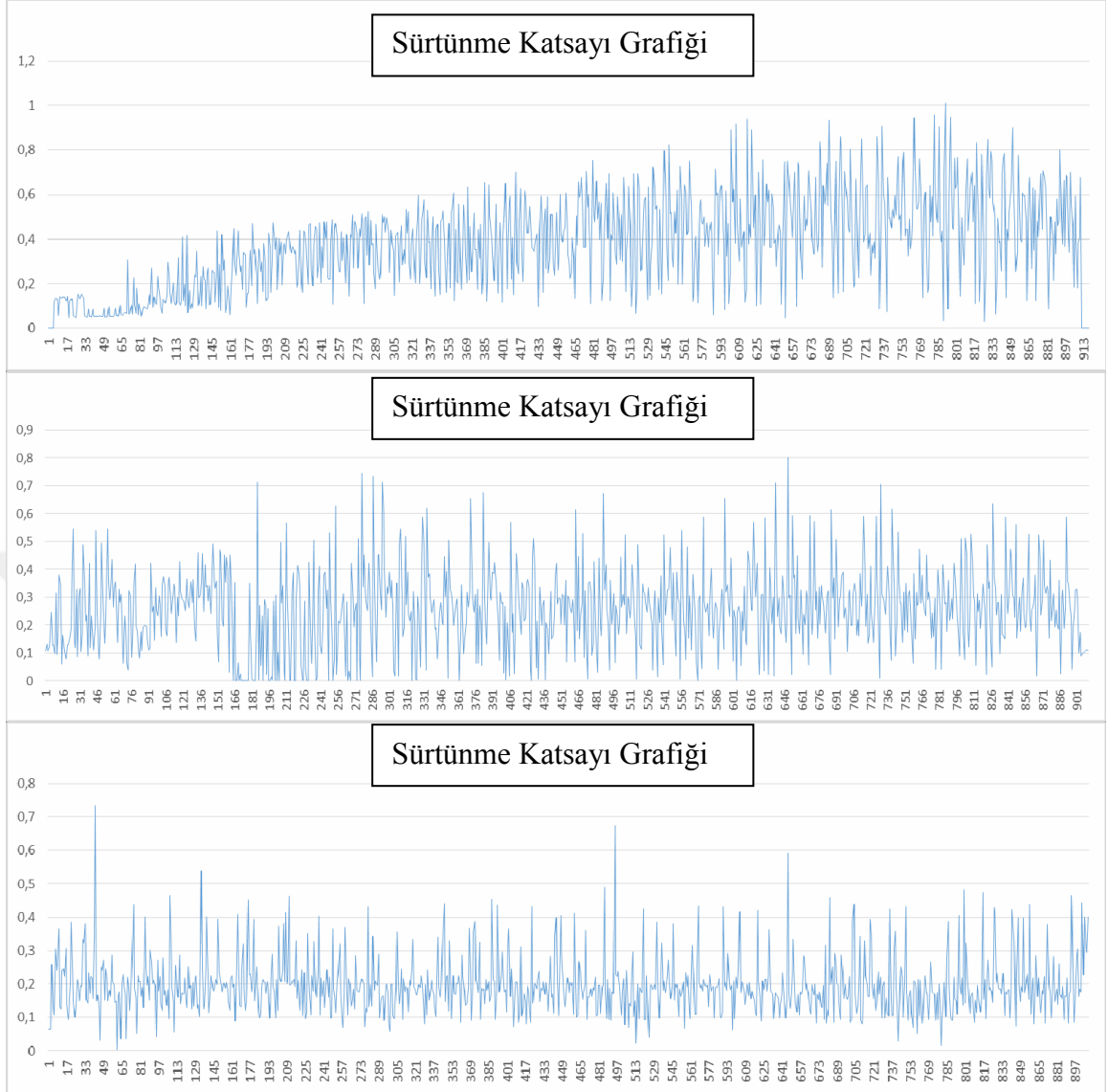
Şekil 4.30. Alev sprej yöntemi ile kaplanmış STKM-13A çeliğinin 3 N yük ve 250 °C’de kuru-kayma aşınma deney sonrası SEM yüzey görünümü

Şekil 4.30 incelendiğinde, aşınmış bölgede pürüzsüz bir yüzeyin oluştuğu, sadece mikro ölçekte kısa boyutlu çizilmelerin meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca oda sıcaklığı ve 250°C’deki deneylerde bir önceki işlemsiz STKM-13A numunesinde olduğu gibi aşınma yüzey iz genişliği aralarında iki kata yakın bir fark oluşmamıştır.



Şekil 4.31. Alev sprej yöntemi ile kaplanmış STKM-13A çeliğinin 3 N yük ve 450 °C’de kuru-kayma aşınma deney sonrası SEM yüzey görünümü

Şekil 4.31. incelendiğinde aşınma iz genişliğinin işlemsiz numunede olduğu gibi 250°C’ye göre tekrar düştüğü ve yüzeyin tamamen oksitlenerek koruyucu bir tabaka oluşturduğu görülmüştür.



Şekil 4.32. Alev sprey ile kaplanmış numunenin 3 N yük altındaki a) oda sıcaklığı b) 250°C c) 450°C’de aşınma deneyi sırasında elde edilen sürtünme katsayısı grafikleri

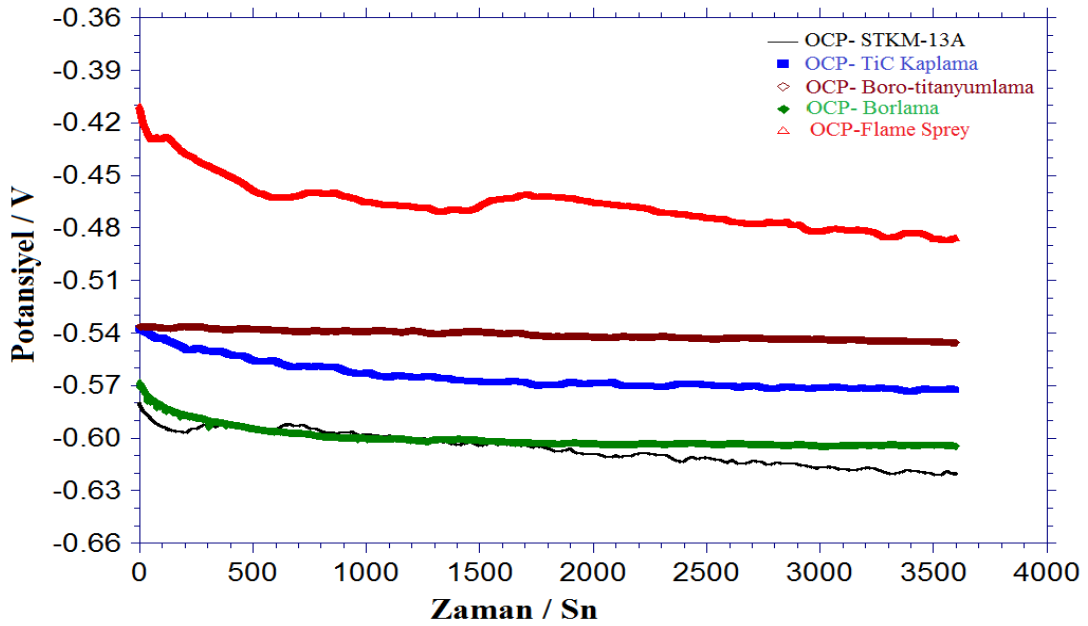
Şekil 4.32 incelendiğinde oda sıcaklığında elde edilen verilerde piklerin zaman aralığına bağlı olarak artış eğilimi göstermiştir. Bu durum zamanla deleminasyona bağlı olarak oluşan aşınma atıklarının yüzeyden ayrılmasına atfedilebilir. Numunenin 450 °C ki sürtünme katsayısı grafiği (Şekil 4.32c) hem daha düşük bir sürtünme katsayısı değerinde hem de tam bir stabil bir şekilde oluşmuştur. Bu durum Şekil 4.31’deki pürüzsüz bir yüzeyin varlığı ile desteklenmiştir.

4.5. Elde Edilen Kaplamaların Korozyon Performansları

TiC kaplama, borlama, boro-titanyumlama ve alev sprej ile elde edilmiş kaplamalar ve herhangi bir işleme tabi tutulmayan STKM-13A çeliğinin korozyon performanslarının belirlenmesi ve birbirleriyle kıyaslanması amacıyla kaplamaların açık devre potansiyel ölçümü ve potansiyodinamik polarizasyon eğrisi ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Duşlu masa rollerinin çalışma koşulları simüle edildiğinden çözelti olarak her iki testte %3,5'lük NaCl çözeltisi kullanılmıştır.

4.5.1. Açık Devre Potansiyeli Ölçümleri

Bir iyonik çözeltide ölçülen açık devre potansiyeli anodik ve katodik tepkimelerin bir denge potansiyelidir. Dolayısıyla açık devre potansiyeli sistem için yükseltgenme/indirgenme olaylarını göstermektedir. Çözeltinin korozif özellik taşıması durumunda ölçülen açık devre potansiyeli korozyon potansiyeli olarak kabul edilebilir (Ünal, 2017). Açık devre potansiyeli daha pozitif tarafta olan numunenin diğerlerine göre korozyon direncinin daha iyi olduğu söylenebilir. Şekil 4.33 ağı. % 3,5 NaCl çözeltisi içerisinde 1 saat boyunca 4 farklı yöntem ile üretilen kaplamaların ve işlemsiz STKM-13A çeliğinin açık devre potansiyellerini göstermektedir.



Şekil 4.33. Korozyon testine tabi tutulan numunelerin açık devre potansiyel eğrileri

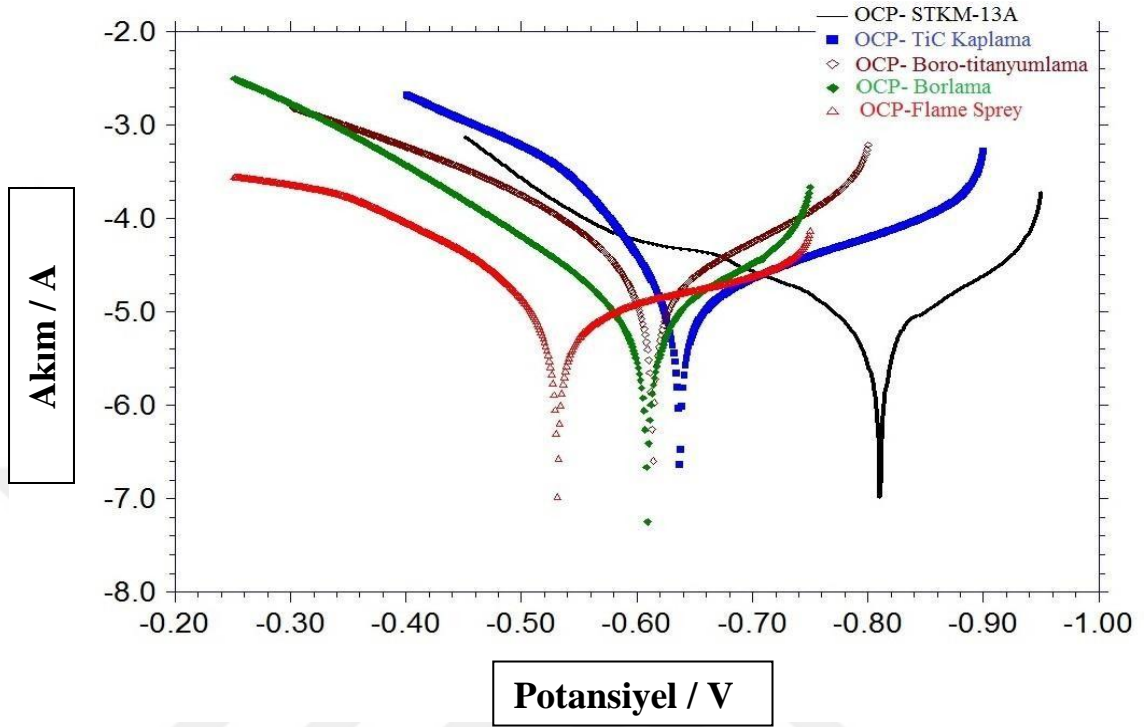
Şekil 4.33 incelendiğinde STKM-13A çeliğinin açık devre potansiyeli negatif tarafın en uç kısmındadır. Dolayısıyla korozyon direnci birbirlerine göre farklılıklar arz etse de tüm kaplama yöntemleri STKM-13A çeliğinin korozyon direncini artmıştır. Kaplanmış numuneler arasında en iyi dayanım alev sprej kaplama ile elde edilmiş iken en düşük dayanım borlanmış numunede elde edilmiştir. Borlanmış numunenin korozyon direncinin düşük olması bu numunenin SEM resiminde de (Şekil 4.7) görülen FeB ve Fe₂B fazları arasında termal genişlemeye bağlı olarak oluşan enine çatlaklardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Çünkü borür tabakalarının korozyon direnci büyük oranda kaplamadaki gözeneklerin ve mikro çatlakların oranına bağlıdır (Campos vd, 2007, Jiang vd., 2011, Kayalı ve Anatürk, 2013; Erdogan ve Guneş, 2015).

Boro-titanyumlanmış numunenin korozyon direncinin sadece borlanmışa göre artışı; FeB ve Fe₂B tabakaları arasındaki enine çatlakların boro-titanyumla işlemi ile giderilmiş olması (Şekil 4.8) hem de daha az gözenekli bir tabaka elde edilmiş olmasına atfedilebilir. Boro-titanyumlanmış numunede dikkat çeken diğer bir husus ise açık devre potansiyeli başlangıcı ve bitişi arasında en stabil olan numunedir. Bu durum yapılan ikinci ısıt (titanyumlama) işlemin çatlak, porozite, gözeneklilik vb. yüzey kusurlarını giderdiğini göstermektedir. Açık devre potansiyelleri değerlendirildiğinde alev sprej ile elde edilen kaplamanın en iyi korozyon direncine sahip olabileceği değerlendirilebilir. Bu durum alev sprej yönteminde kullanılan kaplama toz içeriğinin yüksek miktarda Ni ve Cr içermesinden kaynaklanmaktadır. Çünkü Ni ve Cr elementleri Fe, B ve C'dan daha iyi korozyon direncine sahiptir. Hatta çeliklerin korozyon dirençlerini artırmak amacıyla alaşım elementi olarak çeliklere ilave edildiği birçok çalışmada rapor edilmiştir (Singhal, 1977; Uzun, 2002; Kabadayı, 2013). Ancak, alev sprej kaplamanın açık devre potansiyelinin zamana göre en fazla negatif yönde bir seyir izlemesi ise bu kaplamaların bir karakteristiği olan gözeneklilik ve porozite ile ilgili olduğu düşünülmektedir (Şekil 4.4 ve Çizelge 4.1).

4.5.2. Potansiyodinamik Polarizasyon Test Ölçümleri

Potansiyodinamik polarizasyon ölçümleri % 3,5'luk NaCl içeren bir çözelti içerisinde, açık devre potansiyelinin 250 mV altı ile 250 mV üstü aralığında 0,1 mV/s

tarama hızıyla gerçekleştirilmiştir. İşlemsiz STKM-13A çeliği ve 4 farklı kaplama işlemi sonrası elde edilen kaplamaların Tafel eğrileri Şekil 4.38'de verilmiştir.



Şekil 4.34. Korozyon testine tabi tutulan numunelerin Tafel eğrileri

Bu eğrilerdeki verilerden elde edilen Ekor (korozyon potansiyelleri), Ikor (korozyon akımları) ve korozyon hızı değerleri ile numunelerin korozyon direnci üç farklı kategoride incelenmiştir.

Çizelge 4.2. Farklı kaplama işlemlerine tabi tutulan numunelerin Tafel ekstrapolasyon yöntemiyle belirlenmiş korozyon verileri

Numune	E _{kor.} (V)	I _{kor.} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	Korozyon hızı (mil/year)
TiC Kaplama	-0,637	17,31	$2,423. 10^{-3}$
Borlama	-0,609	86,27	$2,800. 10^{-3}$
Borotitanyumlama	-0,614	25,46	$2,198. 10^{-3}$
Alev Sprey	-0,531	17,01	$1,552. 10^{-3}$
STKM-13A	-0,810	98,26	$9,489. 10^{-3}$

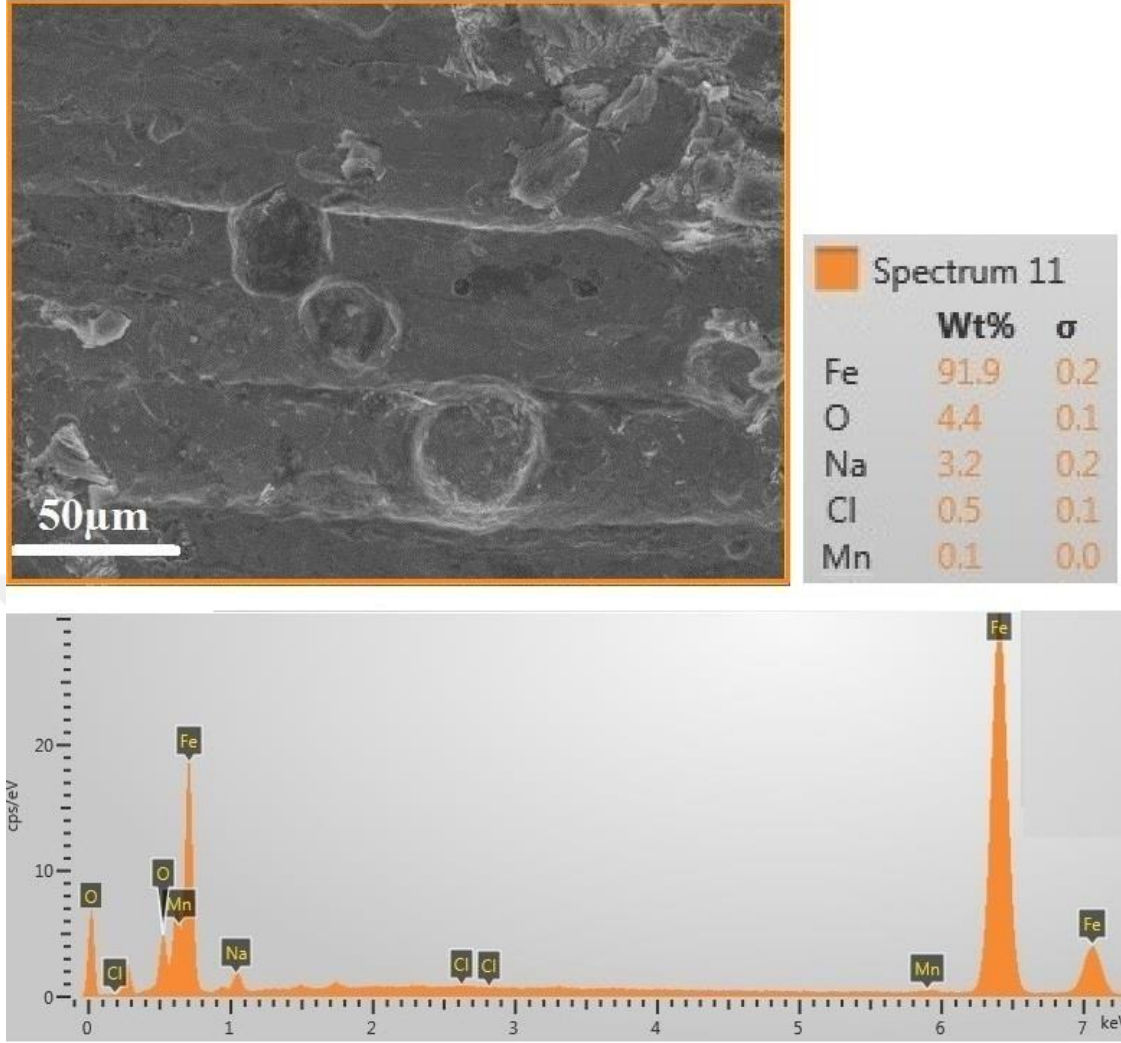
Çizelge 4.2'de Tafel ekstrapolasyon yöntemiyle belirlenen korozyon verileri toplu olarak verilmiştir.

Korozyon deneyine tabi tutulan numunelerin korozyon akım yoğunluğu (I_{kor}) değerleri 17,01-98,26 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ aralığında ölçülmüştür. Kaplanmış numunelerin korozyon akım yoğunlukları STKM-13A çeliğinden daha düşük çıkmış olup sırasıyla alev sprej, TiC kaplama, Boro-titanyumlama ve borlama şeklinde sıralanmıştır. Korozyon potansiyel (E_{kor}) değerleri ise -0,531 ile -0,810 V aralığında ölçülmüştür. Kaplanmış numunelerin korozyon potansiyeli en düşükten en yükseğe alev sprej, borlama, boro-titanyumlama ve TiC kaplama şeklinde sıralanmıştır. Borlanmış numunenin sıralamasındaki değişiklik Tafel eğrisinin (Şekil 4.34) son kısmında görüldüğü üzere pozitif doğru kaymasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu durum korozyon işlemi sırasında yüzeyde meydana gelen oksit tabakasının koruyucu özellik sağladığı ileri sürülebilir.

Şekil 4.34'de korozyon potansiyel değişimi grafik olarak sunulmuştur. Korozyon potansiyelinin daha pozitif tarafta olması malzemenin korozyona daha dirençli olduğu anlamına gelmektedir. Şekil 4.38 incelendiğinde en iyi korozyon direncinin alev sprej kaplamada elde edildiği söylenebilir. Borlama ve boro-titanyumlama ile elde edilen kaplamaların korozyon potansiyelleri birbirine yakındır ancak alev sprej kaplamaya göre daha kötüdür. TiC kaplama ise kaplanmış numuneler arasında en kötü korozyon direncine sahip olsa da numunenin korozyon direnci STKM-13A çeliğinden daha iyidir.

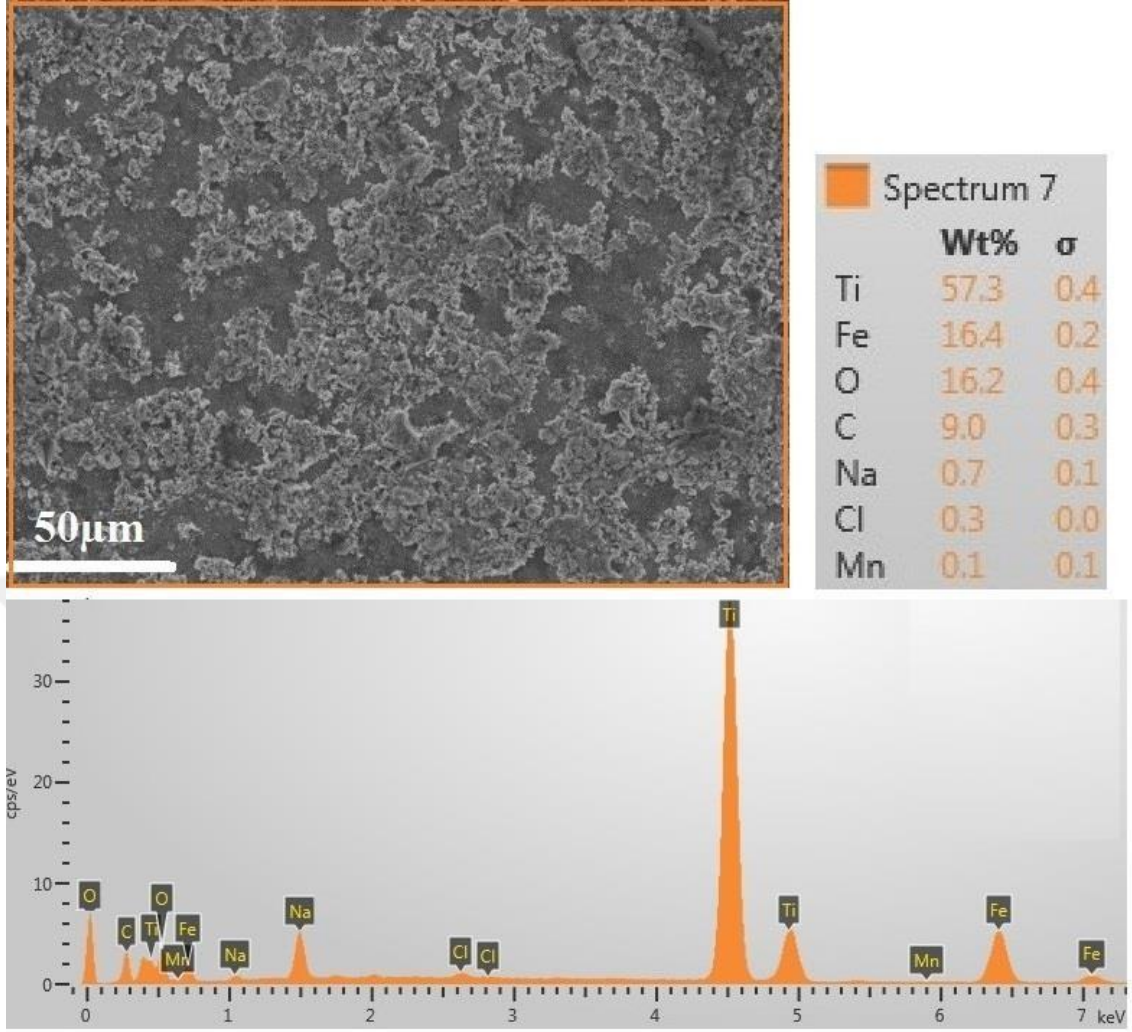
4.5.3. Korozyon Deneyine Tabi Tutulmuş Numunelerin SEM ve EDS Analizleri

Elektrokimyasal korozyon testine tabi tutulan 4 farklı yöntem ile kaplanmış ve kaplanmamış STKM-13A çeliğinin %3,5 NaCl çözeltisinde korozyon testi sonrası SEM görüntüleri ve EDS analizleri Şekil 4.32-4.36 'de verilmiştir.



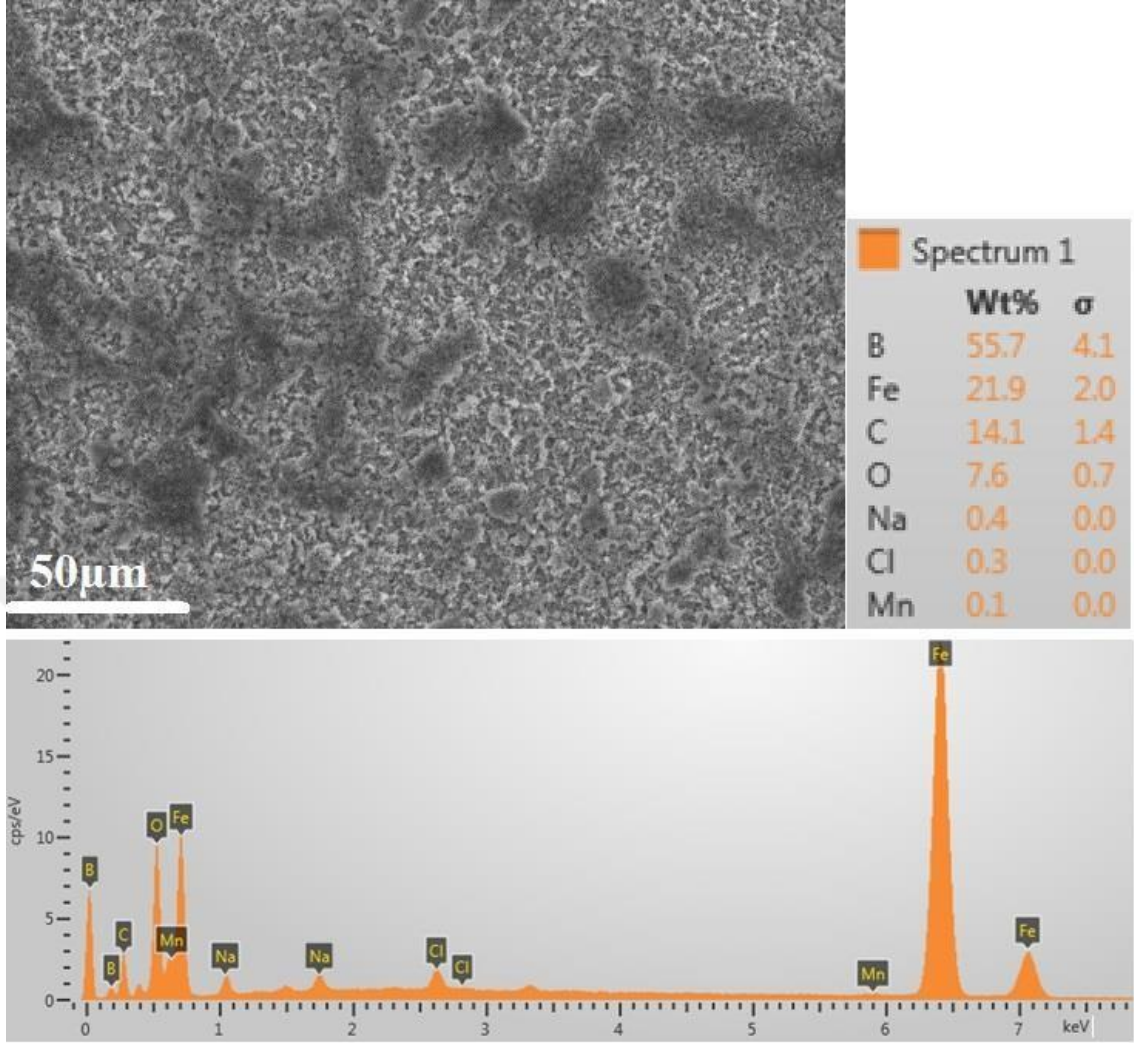
Şekil 4.35 Korozyon deneyine tabi tutulmuş işlemsiz STKM-13A çeliğinin SEM görünümü ve EDS analizi

Şekil 4.35 incelendiğinde İşlemsiz STKM-13A çeliğinin yüzeyinde Fe, O, Mn, Na⁺ ve Cl⁻ iyonlarının var olduğu gözlenmiştir. EDS analizlerinde en yüksek Fe ve O₂ bulunmuş olması oksijen ve demir iyonları Fe₂O₃'i oluşturduğu söylenebilir. Yüzeyde oluşmuş olan Fe₂O₃ tabakası korozyon direnci Cr ve Ni içerikli tabakalara göre daha düşüktür.



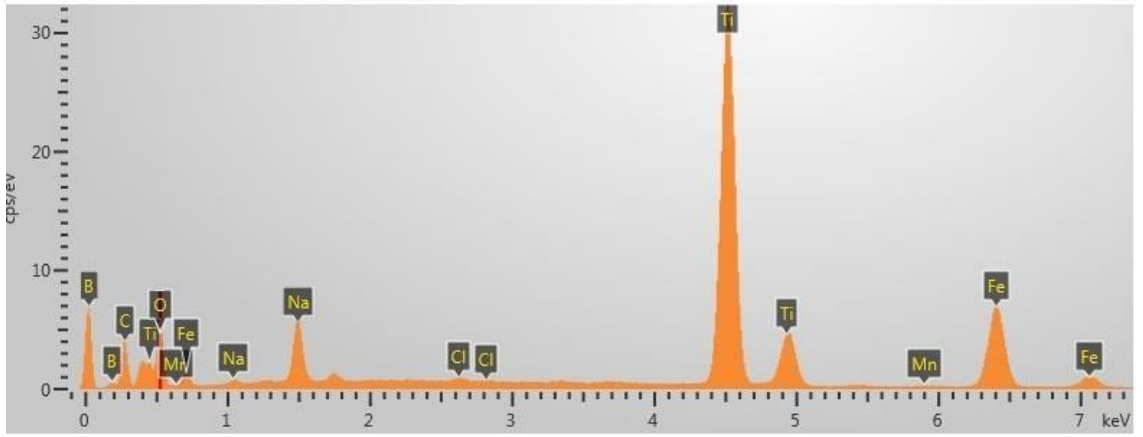
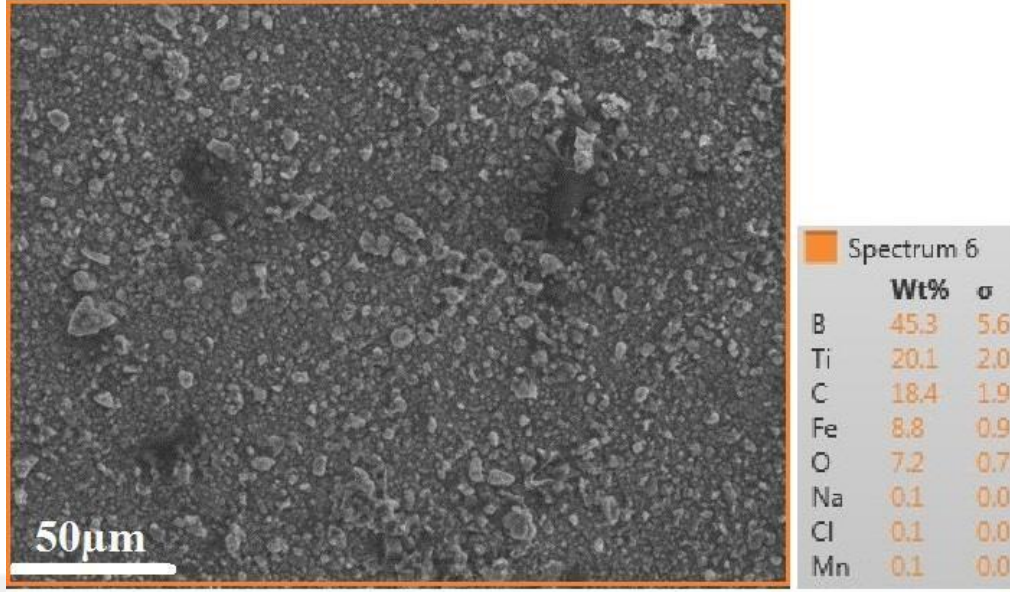
Şekil 4.36 Korozyon deneyine tabi tutulmuş TiC kaplamının SEM görünümü ve EDS analizi

Korozyon deneyi sonrası TiC kaplanmış numune yüzeyinden alınan EDS analizinde en yüksekten sırasıyla ağırlıkça %57 Ti, %16.4 Fe, %16.2 O, %9 C, %0.7 Na, %0.3 Cl ve %0.1 Mn elementlerine rastlanmıştır. Yüksek orandaki Ti, Fe₂O₃ ve C'nun varlığı korozyon işlemi sonrası kaplama tabakasının yüzeyde var olduğu ve yüzeyde oluşan oksit tabakalarının TiO₂ ve Fe₂O₃ içerikli olduklarını göstermektedir. TiO₂ korozyon direnci Fe₂O₃'e göre yüksek olduğundan bu numunenin korozyon direncinin artmasına katkıda bulunduğu ileri sürülebilir. Yüzeyde SEM görüntüsü incelendiğinde oluşan korozyon mekanizması bölgesel çukurcuk korozyon mekanizmasının olduğu görülmektedir.



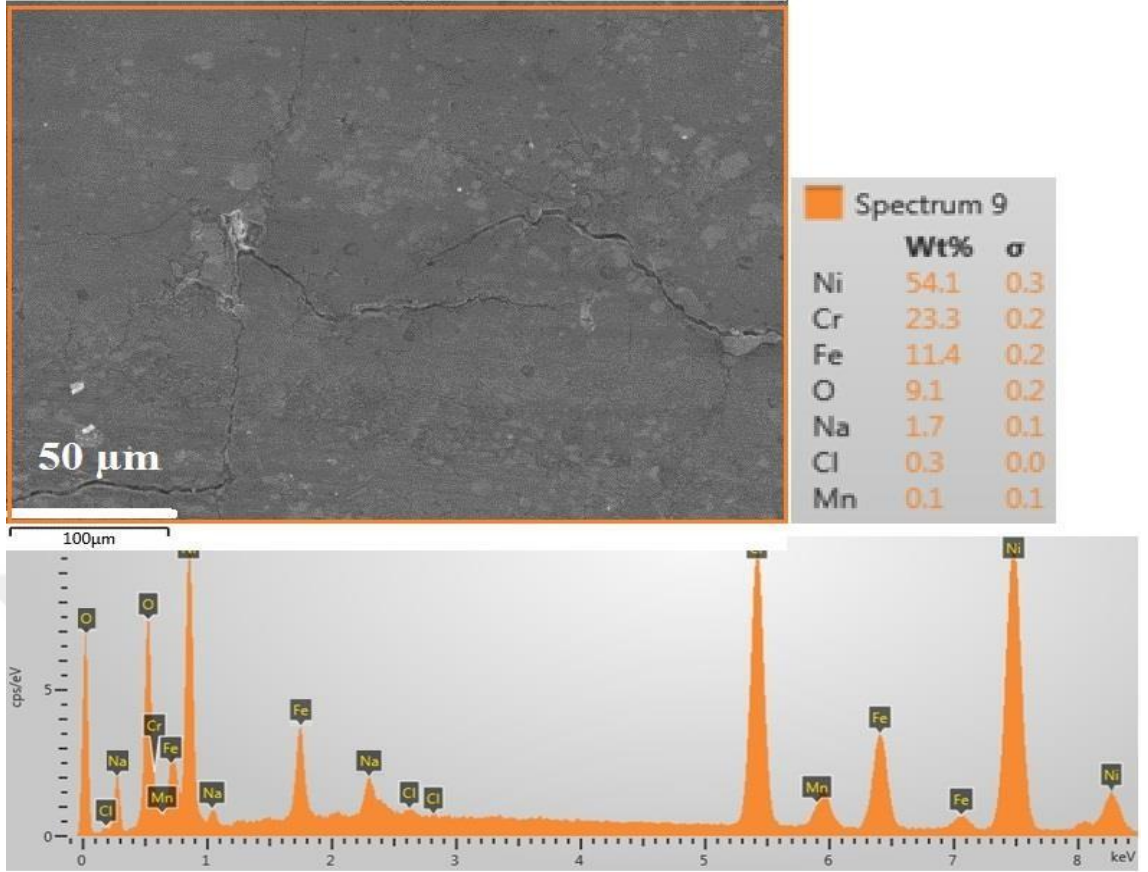
Şekil 4.37 Korozyon deneyine tabi tutulmuş borlanmış numune yüzeyinin SEM görünümü ve EDS analizi

Korozyon testi sonrası borlanmış numunenin EDS analizi incelendiğinde sırasıyla B, Fe, C, O₂, Na ve Cl elementlerinin varlığı dikkat çekmektedir. Numunenin SEM resmi incelendiğinde çukurcuk korozyon mekanizmasının meydana geldiği açık bir şekilde görülmüştür. Schweitzer (2007) çukurcuk korozyon mekanizmasının oluşumunu korozyon çözeltisinden numune yüzeyine absorbe olan Cl elementlerinin yüzeyde demir ile kompleks çözümler oluşturması ve nötr ortamdaki katodik reaksiyon oksijen iyonlarının OH⁻ iyonlarına indirgenmesiyle oluşan Fe(OH)₂ ve Fe(OH)₃ hidroksitlerinin çözeltide bulunan oksijen ile reaksiyona girmeleri sonucunda FeO, Fe₂O₃ ve Fe₃O₄ gibi oksitleri oluşturarak yüzeyde pasif ve gözenekli bir yapı oluşturmaları şeklinde açıklamıştır.



Şekil 4.38 Korozyon deneyine tabi tutulmuş boro-titanyumlanmış numune yüzeyinin SEM görünümü ve EDS analizi

Boro-titanyumlanmış numunenin EDS analizleri incelendiğinde B, Ti, C ve Fe ve O₂'nin yüksek oranlarındaki varlığına karşın Na ve Cl elementlerinin düşük oranları dikkat çekmektedir. Bu durum yüzeyde ikincil bir işlemle oluşturulan TiB₂ tabakasının içeriğindeki Ti'nin O₂ ile reaksiyona girerek yüzeyde bir oksit tabakası oluşturarak anodik çözünmeyi azalttığı ve böylece çözeltideki Na ve Cl elementlerinin girişini sınırlandırarak korozyon dirençlerini artırdığı düşünülmektedir.



Şekil 4.39 Korozyon deneyine tabi tutulmuş alev spreyle kaplanmış numune yüzeyinin SEM görünümü ve EDS analizi 50µm

Alev spreyle kaplanmış numunenin korozyon sonrası SEM ve EDS analizleri incelendiğinde kaplama tabakası içeriğine yakın bir düzeyde Ni ve Cr varlığı kaplama tabakasının korozyon deneyi sonrası varlığını göstermektedir. Na ve Cl iyonları diğer kaplama yöntemlerine göre yüksek olduğu görülmektedir. Bu durumun alev spreyle kaplamaların karakteristiği olan yüzeyin porozite ve gözeneklilik oranları ile ilgili olduğu düşünülmektedir. Her ne kadar Na ve Cl iyonları diğer kaplamalardan yüksek olarak elde edilmiş ise de korozyon direncinin daha iyi olması Cr ve Ni'nin sahip olduğu korozyon direnci (Kabadayı, 2013) ve Cr ile O₂ ile reaksiyonu sonucu yüzeyde oluşan Cr₂O₃ tabakasına atfedilebilir (Singhal, 1977; Uzun, 2002). Ayrıca, Cr₂O₃ tabakasının korozyon direncinin FeO ve TiO₂'ye göre yüksek olduğu birçok çalışmada rapor edilmiştir. Numunenin SEM resmi incelendiğinde çatlak korozyonu mekanizmasının hakim olduğu açık bir şekilde görülmüştür.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Tez çalışmasında, sıcak haddeleme ünitesinin bir aşaması olana duşlu masa rollerinde kullanılan STKM-13A çeliği TiC kaplama, borlama, boro-titanyumlama ve alev sprej kaplama yöntemleri ile kaplanmış ardından kaplama tabakalarının karakterizasyonu, yüksek sıcaklık aşınma ve korozyon dirençleri birbirleriyle ve işlemsiz STKM-13A çeliği ile kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- 1- STKM-13A çeliği üzerinde 4 farklı kaplama yöntemi ile kabul edilebilir nitelikte kaplama tabakaları elde edilmiştir.
- 2- Kaplama kalınlıkları ve kaplama tabakalarının sertlik değerleri kaplama yöntemine göre değişiklik göstermiş olup literatürde yapılmış olan çalışmalar ile uyumludur.
- 3- Difüzyon esaslı (TiC kaplama, Borlama, Boro-titanyumlama) kaplamalarda sertlik kaplama tabakası yüzeyinden iç kısımlara doğru azalırken alev sprej kaplamada ise kaplama tabakası boyunca sabit değere yakındır..
- 4- Kaplama tabakası kalınlığının artışı ile yüzey pürüzlülüğünde artış tespit edilmiştir. Difüzyon esaslı kaplama yöntemleri ile Mevcut duşlu masa rollerindeki alev sprej kaplamalara göre daha düşük yüzey pürüzlülükleri elde edilmiştir.
- 5- XRD analizleri sonucunda elde TiC kaplamada TiC ve Fe₂Ti fazları, Borlama işleminde FeB, Fe₂B baskın fazların yanında düşük miktarda MnB fazları, Boro-titanyumlamada ise Borlamadaki fazlara ilaveten TiB₂ fazı, alev sprej işleminde ise Cr₂B, Cr₂₃C₆, FeNi₃, NiCr ve Fe₃Ni fazları tespit edilmiştir.
- 6- Kaplama işlemi sonucunda numunelerin aşınma direncinde işlemsiz numuneye göre hem oda sıcaklığı hem de 250 °C ve 450 °C’de bir artış sağlanmıştır.
- 7- Aşınma deneylerinde uygulanan yükün artışı ile kaplanmış ve kaplanmamış numunelerin hacim kayıplarında artış meydana gelmiştir. Ancak aşınma deney sıcaklığının artışı bazı numunelerin hacim kayıplarında artış tespit edilmişken bazılarında ise azalma meydana gelmiştir. Bu durum aşınma işlemi sırasında yüzeyde oluşan oksit tabakasının (glazed layer) kararlılığına göre değişiklik göstermiştir.

- 8- En iyi aşınma direnci boro-titanyumlanmış numunede tespit edilmiştir. Aşınma direnci bakımından numuneler boro-titanyumlanmış, borlanmış, alev spreyle kaplanmış, TiC kaplanmış ve işlemsiz STKM-13A çeliği şeklinde sıralanmıştır.
- 9- Kaplanmış numunelerin korozyon dirençlerini birbirlerine göre farklılıklar arz etmiş olsa da STKM-13A çeliğine göre tüm kaplanmış numunelerin korozyon dirençleri kaplama işlemi sonucu iyileşmiştir.
- 10- Difüzyonel kaplamalarda çukurcuk korozyon, alev spreylede çatlak korozyon ve işlemsiz STKM-13A çeliğinde ise homojen korozyon mekanizmalarının hakim korozyon mekanizmaları oldukları belirlenmiştir.
- 11- Tez çalışmasında duşlu masa rollerinin çalışma koşulları gözönünde bulundurularak bu rollerin maruz kaldıkları sıcaklıklardaki (oda sıcaklığı-450°C'ye kadar) aşınma dirençleri ve tuzlu su ortamındaki korozyon dirençleri araştırılmıştır. Bu tez çalışmasında yapılmayan rollerin çalışma koşullarından kaynaklı meydana gelen termal yorulma dirençleri araştırılabilir.

6. KAYNAKLAR

- Abraham, S., Ok, J.T., Kwang, Kim, K.H., 2007.** "The effect of deposition temperature and boron addition in Ti–B–C–N films deposited by plasma-enhanced chemical vapor deposition Journal of Materials Processing Technology" 187–188, 571–574.
- Ageorges H., Ctibor P., 2008,**"Comparison o the structure and wear resistance of Al₂O₃-13 wt.%TiO₂ coatings made by GSP and WSP plasma process with two diferent powders",Surface and Coating Technology, 202 (18),4362-4368 doi:10.1016/j.surfcoat.2008.04.010
- Aktaş B., 2016,** "İmalat Yöntemleri-I", Harran Üniversitesi Ders Notu, Makine Müh. Bölümü, 24 Ekim 2016, Şanlıurfa-Türkiye
- Altinkaya, H., Orak, İ., Esen, İ., 2013.** "Ray Haddeme Sisteminde Tandem Parametrelerinin Yapay Sinir Ağı İle Belirlenmesi", 2. Uluslararası Raylı Sistemler Mühendisliği Sempozyumu (ISERSE'13), 9-11 Ekim 2013, Karabük-Türkiye
- Arai, T., Harper, S., 1991.** "Thermoreactive Deposition/Diffusion Process", ASM Handbook, 4,ASM Int., Materials Park, Ohio, 448–453.
- Arai, T., Fujita, H., Sugimita, Y., Ohta, Y., 1985.** "Proceedings of the Third International Congress for Surface Technology, West Berlin, pp. 1-10.
- Archard, J.F., 1953,** "Contact and rubbing of flat surfaces", Journal of Applied Physics, 24, 8, 981-988
- Archard, J.F., 1956,** "The wear of metals under unlubricated conditions",Published 2 August, DOI: 10.1098/rspa.1956.0144
- Asi, O., 2012.** "Kaplama Malzemesi ve Kaplama Kalınlığının Alev Sprey Yöntemi ile Kaplanmış Malzemelerin Elektrik İletkenliğe Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, Uşak Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- ASM, H., Cotell, C., Sprague, J., and F.A. Smidt, Jr., 1994.** " Surface Engineering" p 497-509.
- ASM, H.,1995.** "Heat Treating", Vol. 4, ASM International Handbook Committee, Ohio.
- ASM, International, 2001.** "Edited by J.R. Davis, Surface Engineering for Corrosion and Wear Resistance", ISBN:0-87170-700-4, Materials Park, USA.
- Astakhov V.P., 2006,** "Tribology of metal cutting", Cepha Imaging Pvt. Ltd., India.
- Ataibış, V., Taktak, Ş., 2015** "Characteristics and growth kinetics of plasma paste borided Cp-Ti and Ti6Al4V alloy". Surface and Coatings Technology, 279, 65-71.
- Atik, E., 1997.** "Çeliklerin Borlanarak Aşınma Dayanımlarının Arttırılması" Makine ve Mühendis Dergisi, C. 38, S.445,17-20.
- Aydın, M., Gavas, M., Yaşar, M., Altunpak, Y., 2011.** "Üretim Yöntemleri ve İmalat Teknolojileri" ISBN 978-975-02-1806-4 Seçkin, Ankara, 2011, II.Baskı
- B. Chicco A., W.E. Borbidge B., Summerville E., 1999.** "Experimental study of vanadium carbide and carbonitride coatings", Materials Science and Engineering A266, 62–72.

- Bach, F.W., Möhwald, K., Laarmann, A., Wenz, T., 2006.** “Modern Surface Technology”, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany, 135-143.
- Bayca S, Şahin S., 2004.** “Borlama”. Mühendis ve Makine, 532, 51-59.
- Bergant, Z.; Grum, J., 2009.** “Quality Improvement of Flame Sprayed, Heat Treated, and Remelted NiCrBSi Coatings”, Journal Of Thermal Spray Technology , Volume: 18 Issue: 3 Pages: 380-391 Published: SEP.
- Bergmann, P. and Vicenzi, J., 2011.** “Protection against Erosive Wear Using Thermal Sprayed Cermet: A Review,” in Protection against Erosive Wear Using Thermal Sprayed Cermet, Springer Berlin Heidelberg, 1–77.
- Betancourt-Dougherty, Smith R.W., 1998.** “Effects of load and sliding speed on the wear behaviour of plasma sprayed TiC-NiCrBSi coatings”, Engineering Research Center for Plasma-Aided Manufacturing.
- Bhushan, B. 1987.** Overview of Coating Materials, Surface Treatments, and Screening Techniques for Triboological Applications—Part 1: Coating Materials and Surface Treatments Testing of Metallic and Inorganic Coatings, ASTM STP 947, W. B. Harding and G. A. Di Ban, Eds., American Society for Testing and Materials, Philadelphia.
- Bindal, C., 1991.** “Az alaşımlı ve karbon çeliklerinde borlama ile yüzeye kaplanan borürlerin bazı özelliklerinin tespiti”, Doktora Tezi, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bora, Ç., 2017.** “Demir Çelik Sektörü”, İşbank İktisadi Araştırmalar Bölümü.
- Campos, I., Palomar-Pardave, M., Amador, A., et al., 2007.** “Corrosion behavior of boride layers evaluated by the EIS technique”, Applied Surface Science, v. 253, pp. 9061-9066.
- Campos-Silva, Flores-Jiménez, Rodríguez-Castro, Hernández-Sánchez , Martínez-Trinidad, Tadeo-Rosas., 2013.** “Improved fracture toughness of boride coating developed with a diffusion annealing process”. Surface Coating Technology, 237, 429-439.
- Campos-Silva, J. Martínez, T., Doñu-Ruíz, M., Rodríguez-Castro, G., Hernández-Sánchez, E., Bravo-Bárceñas, O., 2011.** “ Interfacial indentation test of FeB/Fe₂B layers”, Surf. Coat. Technol. 206 (2011) 1809–1815.
- Chaliampalias D., Vourlias G., Pavlidou E., Skolianos S., Chrissafis K., Stergioudis G., 2009.** “ Comparative examination of the microstructure and high temperature oxidation performance of NiCrBSi flame sprayed and pack cementation coatings” Applied Surface Science 255 (2009) 3605–3612.
- Chen, Z., Wang, Z., Zhub, S., 2011.** “Thermomechanical fatigue behavior of an air plasma sprayed thermal barrier coating system”, Materials Science and Engineering A 528, 8396–8401.
- Chicco, B., Borbidge, W., Summerville, E., 1999.** “Experimental study of vanadium carbide and carbonitride coatings”, Materials Science and Engineering A266 (1999) 62–72.
- Choumad, O., Xavier B., Pierre M., Yves G., 2013.** “PVD coated mill rolls for cold rolling of stainless steel strips-Triboological and mechanical laboratory tests”, Journal of Manufacturing Processes 15, 77–86.
- Çapan, L., 2003.** “Metallere Plastik Şekil Verme ” Çağlayan Kitapevi İstanbul.

- Çevik, B., 2017.** “Demir Çelik Sektörü”, İşbank İktisadi Araştırmalar Bölümü, İktisadi Araştırma Raporu, 2 Şubat 2017, Sf. 13
- Çögür, T., 2007,** “Toz Alev Spreyleme Yöntemi Kullanılarak Kaplanan Farklı Malzemelerin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, 3-38.
- Çürük, A., Güneş, A., Kanca, E., Demir, A., Çavdar, F., 2016.** “Duşlu Masa Rollerinde Meydana Gelen Hasarlar ve Çözüm Önerileri” , International Conference on Material Science and Technology in Cappadocia (IMSTEC’16), 6-8 April 2016, Nevşehir, Turkey, 813-818
- Davis, J., 2004,** “Introduction to Thermal Spray Processing”, Handbook of Thermal Spray Technology, p 3,
- Deng, D., Wang C., Liu Q., Niu T., 2015.** “Effect of standard heat treatment on microstructure and properties of borided Inconel 718”. Transactions Nonferrous Materials Society China, 25(2), 437-443.
- Dilektaş, E., 2014.** “Bazı Alaşımli Çeliklerin Yüksek Sıcaklık Aşınma Davranışına Borlama İşleminin Etkisi”, Yüksek Lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Dong, M., Yanga C., Shena B., Jiange H., 2009.** “Oxidation resistance of borided pure cobalt”. Journal of Alloys and Compounds, 479 (1-2), 629–633.
- Dorfman, M., 2012.** “19 - Thermal Spray Coatings,” in Handbook of Environmental Degradation of Materials (Second Edition), Oxford: William Andrew Publishing, 569–596.
- Erdogan M., Güneş, İ., 2015.** “Corrosion Behavior and Microstructure of Borided Tool Steel”, Matéria (Rio J.) vol.20 no.2 Rio de Janeiro Apr./June 2015
- Ersoy, E. 2013,** “Plastik Şekillendirme Yöntemleri Haddelme İle Şekillendirme”, Ders Notları. Kocaeli Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Kocaeli.
- Garcia-Bustos E., Figueroa G., Rodriguez C., Gomez V., Gallardo H., E. A., and Campos S., I. 2013,** “The Wear Resistance of Boride Layers Measured by the Four-Ball Test,” Surface and Coatings Technology, 215, pp 241–246.
- Güven, A., Erdoğan K., 2017.** “Farklı bor kimyasalları ile borlanmış Inconel 625 alaşımının karakterizasyonu”, Pamukkale Univ. Muh. Bilim Derg, 23(4), 411-416.
- Güven, A., Karakaş S., Kurt B., Çalık A., 2014.** “Corrosion Behavior Of Borided AISI 304 Austenitic Stainless Steel”, Anti-Corrosion Methods And Materials, Volume 61 · Number 2, pp. 112–118.
- Güven, A., Kurt B., Orhan N., Kanca E., 2014.** “ The Investigation of Corrosion Behavior of Borided AISI 304 Austenitic Stainless Steel With Nanoboron Powder, Protection of Metals and Physical Chemistry of Surface”, Vol. 50, No. 1, pp. 106–112.
- Güven, A., Kanca E., Karakaş M., Koç V., Gök M., Çürük A., Demir M., 2017.** ”Application of Different Coating Methods to External Cooling Roller and Characterization of Applied Coatings”, 3rd Iron and Steel Symposium (UDCS’17) 3-5 April 2017 Karabük-Turkey
- Güneş, İ, Keddari, M, Chegroune, R, Özçatal, M., 2015.** “Growth kinetics of boride layers formed on 99.0% purity nickel”. Bulletin Materials Science, 38 (4), 1113-1118.

- Harper, A., 1991.** "Thermoreactive Deposition/Diffusion Process" , ASM Handbook, 4,ASM Int., Materials Park, Ohio, 1991 448–453.
- Hu, Sheng-Yen; Liao, Jia-Jyun; Kang, Yua., 2016.** "Wear of Flame-Sprayed Ni-Cr-B-Si Powder Coating on Journal for Seal Contact 2016 Conference": 3rd International Conference on Mechanics and Mechatronics Research (ICMMR) Location: Chongqing, PEOPLES R CHINA Date: JUN 15-17.
- Hunger H, Trute G., 1994.** "Boronizing to produce wear-resistant surface layers". Heat Treatment of Metals, 21(2), 31-39.
- Inman D., Sodano, A., Lloyd, J., 2006.**"An experimental comparison between several active coposite actuators or power generation" Smart materials and structure, 15:1211-1216.
- İbao, W., Xiaofeng, W., Zhongquan, S., 2005.** "The composite Fe–Ti–B–C Coatings by PTA powder surfacing process", Surface & Coatings Technology 192, 257– 262.
- İsdemir A.Ş., 2007.** "Sıcak Haddelme Sunu Notu", İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. Bilgi Sunusu, Aralık 2007, Hatay.
- Jiang, J., Wang, Y., Zhong, Q., et al., 2011.** "Preparation of Fe₂B boride coating on low-carbon steel surfaces and its evaluation of hardness and corrosion resistance", Surface and Coatings Technology, v. 206, pp. 473-478.
- Kabadayı, E., 2013.** "Yüksek krom ve nikelli dökme çeliklerin mekanik ve korozyon özelliklerine yaşlandırma ve borlama ısıl işleminin etkisi", Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bil. Enstitüsü, Karabük.
- Kaouka A, Allaoui O, Keddou M., 2014.** "Properties of boride layer on borided SAE1035 steel by molten salt". Applied Mechanical Materials, 467, 116-121.
- Karaduman, B., 2010.** "Titanyum Matrisli Titanyum Karbür Takviyeli Kompozit Üretimi Ve Karakterizasyonu", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Kartal, G, Timur, S., Sista, V., Eryılmaz, O., Erdemir, A., 2011.** "The growth of singleFe₂B phase on low carbon steel via phase homogenization in electro-chemical boriding (PHEB)". Surface Coating Technology, 206(7), 2005-2011.
- Kato, K., 1997.** "Abrasive wear of metals", Tribology International, 30-5 (1997), 333-338.
- Kayalı, E.S., Çimenoğlu, H.,1995.** " Plastik Şekil Verme İlke ve Uygulamaları Problemleri ve Çözümleri" ISBN: 2880000050148, Bilim Teknik Yayınevi, Ankara, 1995, I.Baskı.
- Kayalı, Y., Anatürk, B., 2013,** "Investigation of electrochemical corrosion behavior in a 3.5 wt.% NaCl solution of boronized dual-phase steel", Materials and Design, v. 46, pp. 776-783.
- Kim, H., Chang, T., Yohanan, M., Wang, L., Yu, H., 1986.** "Macromolecules", 19-2737.
- Kim, H., Chang, T., Yu, H., 1984.** "Phys. chem",88-3946.
- Kon, O., Pazarlıoğlu,S., Durmaz, M., Sen, U., Sen, S., 2015.**" Structural Characterization of Boro-Titanized AISI 1040 Steel" ACTA PHYSICA POLONICA A No. 4, Vol. 127.

- Körmükçü, B. E., 2011.** "Bir Sıcak Sac Haddeleme Tesisinin Devreye Alınması ve İşletme Parametrelerinin Tespiti" Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Kulka, M, Makuch, N, Pertek, A, Piasecki, A., 2012.** "An alternative method of gas boriding applied to the formation of borocarbured layer". *Materials Characterizations*, 72, 59-67.
- Liang, H., MaU F., Wang, X., Zhang, T., Zhu, H., Wu, X., Zhang, H., 2000.** "Structure and corrosion behavior of (Ti, Fe, C) films co-deposited by three metal vapor vacuum arc beams", *Surface and Coatings Technology* 128-129, 209-212.
- Matuschka, A., 1980.** "Boronizing", Carl Hanser Verlag, München.
- Meringolo, V., Thun, D., 1983.** "Thermal Spray Coatings - Principles And Applications", *Tappi Journal* Volume: 66 Issue: 5 Pages: 65-67 Published.
- Motallebzadeh, A., Dilektasi, E., Baydogan, M., Atar, E., and Cimenoglu, H., 2015.** "Evaluation of the Effect of Boride Layer Structure on the High Temperature Wear Behavior of Borided Steels," *Wear*, 328–329, pp 110–114.
- Muhammad, W., 2013.** "Boriding of high carbon high chromium cold work tool steel" Conference: 13th International Symposium on Advanced Materials (ISAM) Location: Islamabad, PAKISTAN Date: SEP 23-27.
- Ould, C, Gachon, Y, Montmitonnet, P, Badiche, X., 2011.** "Tribological testing of antiadhesive coatings for cold rolling mill rolls—application to TiN-coated rolls", In: *Proc. ESAFORM conf.* 2011. p. 1747–52.
- Ould, C., Badiche, X., Montmitonnet, P., Gachon, Y., 2013.** "PVD coated mill rolls for cold rolling of stainless steel strips-Tribological and mechanical laboratory tests", *Journal of Manufacturing Processes* 15 (2013) 77–86.
- Özdemir, Ö., Omar, MA., Usta, M., Zeytin, S., Bindal C., Üçışık, A., 2009.** "An investigation on boriding kinetics of AISI 316 stainless steel". *Vacuum*, 83(1), 175-179.
- Rabinowicz, E., 1965,** "Friction and Wear of Materials", Science Technology of Materials, Sons inc.
- Sarıkay, a Ö., 2007.** "Aşınmaya Karşı Yüzey Mühendisliği Yöntemleri", Sakarya, s. 248-254. Yayın evi: Y.Y. , ISBN:9944624179, 9789944624176, s:322.
- Schweitzer, P.A., 2007.** *Fundamentals of Metallic Corrosion: Atmospheric and media corrosion of metals*, Chapter 1-6, 2th ed., New York: CRC press.
- Sen, U., Pazarlıoğlu, S., Sen, S. 2008.** "Niobium boride coating on AISI M2 steel by boro niobizing treatment", *Mater.Lett.* 62 (2008) 2444–2446.
- Sen, U., Pazarlıoğlu, S., Sen, S., 2008.** "Niobium boride coating on AISI M2 steel by boro niobizing treatment", *Mater.Lett.* 62, 2444–2446.
- Shan, Z., Pang, Z., Luo, F., Wei, F., 2012.** "Kinetics of V(N,C) and Nb(N, C) coatings produced by V–Nb–RE deposition technique", *Surf. Coat. Technol.* 206, pp. 4322–4327.
- Sheng-Yen, H., Liao, J., Yua, K., 2016.** "Wear of Flame-Sprayed Ni-Cr-B-Si Powder Coating on Journal for Seal", Contact 2016 Conference: 3rd International Conference on Mechanics and Mechatronics Research (ICMMR) Location: Chongqing, peoples r china: JUN 15-17, 2016

- Singhal, C.,1977.** “A hard diffusion boride coating for ferrous materials”, Thin Solid Films, 45 (2): 321-329.
- Sinha, K., 1991.** “Boriding (Boronising),” Journal of Heat Treating,4, pp 437–447.
- Sinoplu, Ö., 2012.** “Termo - Reaktif Difüzyon (Trd) Yöntemiyle Titanyum Karbür Kaplanan Aısı D3 Seri Soğuk İş Takım Çeliğinin Mikroyapı Ve Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi” , Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s87.
- Skarvelis, P., Papadimitriou, D., 2009.** “Plasma transferred arc composite coatings with self lubricating properties, based on Fe and Ti sulfides”, Microstructure and tribological behavior, Surface & Coatings Technology 203, 1384–1394.
- Skopp, A., 1995,** ”Wear”, 10th International Conference on Wear of Materials, volumes 181-183, Part-2
- Smith, G., 2008.** “ Cutting Tool Technology”, Springer press.
- Stott P, Williams, C., Barry, B., 1998.**” Transdermal delivery from eutectic systems”, enhanced permeation of a model drug, ibuprofen, Jan-1-3.
- Şahin, S., 2009.** ”Effects of boronizing process on the surface roughness and dimensions of AISI 1020, AISI 1040 and AISI 2714”, DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2008.04.040.
- Taşçı, A., 1993.** “Borlanmış Çeliklerin Aşınma ve Korozyon Dayanımları”, Y.Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tavakoli, H., Mousavi, K., 2010.** “An electrochemical study of the corrosion resistance of boride coating obtained by thermo-reactive diffusion” Materials Chemistry and Physics Volume 124, Issues 2–3, 1 December 2010, Pages 1134-1138.
- Tavakoli, H.,2010.** “Preparation and Numerical Simulation of Ni-SiC Composite Coatings Deposited by Electrode Position”.
- Tozar, A., 2012.** “Düşük karbonlu çeliğin çevreci ZnNi/Polianilin iletken polimer ile kaplanması ve kaplanan çeliğin korozyon davranışının incelenmesi”, YL Lisans Tezi, MKÜ FBE.
- Ulutan, M., Yildirim, M., Celik, O., N., and Buytoz, S., 2010.** “Tribological Properties of Borided AISI 4140 Steel with the Powder Pack-Boriding Method,” Tribology Letters, 38(231), pp. 231–236.
- Uslu, İ, Cömert, H., İpek, M., Özdemir, Ö., Bindal, C., 2007.** “Evaluation of borides formed on AISI P20 steel”. Materials and Design, 28(1), 55-61.
- Uzun, H. A., 2002.** “Borlama ile yüzeyleri sertleştirilen çeliklerin aşınma ve korozyona karşı dayanımları”, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bil. Enstitüsü, Isparta, 49-67.
- Ünal, E., 2017.** “Ni-B/hBN Kompozit Kaplamaların Elektrodopolama Yoluyla Üretilmesi ve Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Venkataraman, B., Sundararajan, G., 1995.** “The high speed sliding wear behaviour of boronized medium carbon steel”. Surface Coating Technology, 73(3), 177-184.
- Vieira, L., Voorwald, H., Cioffi, M., 2015.** “Fatigue Performance Of AISI 4340 Steel Ni-Cr-B-Si-Fe HVOF Thermal Spray Coated” , Procedia Engineering 114 (2015) 606 – 612.

- Wang B., Jin, X., Xue, W., Wu, Z., Du, J., Wu, J., 2013.** “High temperature tribological behaviors of plasma electrolytic borocarbided Q235 low-carbon steel”. Surface Coating Technology, 232, 142-149.
- Wang H., Huang J., Zhu J., Zhang H., Zhao X., 2009.** “Microstructure of cermet coating prepared by plasma spraying of Fe–Ti–C powder using sucrose as carbonaceous precursor”, Journal of Alloys and Compounds 472, L1–L5.
- Wierzchon, T., Boenig, V. (Editor), 1988.** “Advances in Low-temperature Plasma Chemistry”, Technology, Applications, Vol. 2, Lancaster-Besel, USA, Technomic Publishing Company Inc.
- Wilhelmsson, O., Bijelovic, S., Lindquist M., André B., Wiklund, U., Svedlindh, P., Jansson, U., 2010.** “Deposition and characterization of magnetic Ti–Fe–C nanocomposite thin films”, Thin Solid Films, 518, 2607–2616.
- Woydt, Habig, M.,1989.** Tribol.Int. 22, 75
- Xibao, W., Xiaofeng, W., and Zhongquan, S., (2005).** “The composite Fe–Ti–B–C Coatings by PTA powder surfacing process”, Surface and Coatings Technology, Volume 192, Issues 2-3, 21 March 2005, Pages 257-262.
- Yılmaz, E., 2008.** “Termoreaktif Difüzyon Yöntemiyle Çeliklerin Demir Alüminid Kaplanması”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s149.

İnternet Kaynakları

- URL.1, <https://www.youtube.com/watch?v=McX5rmvyyvKM>,
- URL.2, http://www.tungsten-powder.com/Molten_Metal_Flame_Spray.html
- URL.3, [http://mlz.muhendislik.omu.edu.tr/files/mlz.muhendislik/files/Y%C3%9CZEY%20KAPLAMA%20Y%C3%96NTEMLER%C4%B0\(1\).pdf](http://mlz.muhendislik.omu.edu.tr/files/mlz.muhendislik/files/Y%C3%9CZEY%20KAPLAMA%20Y%C3%96NTEMLER%C4%B0(1).pdf)

7. ÖZGEÇMİŞ

Hatay/Dörtyol da doğdu. İlk öğrenimini Hatay İlinin Payas İlçesine bağlı Çağlalık İlköğretim Okulu ve Dörtyol Karahasan Paşa Orta Okulunda tamamladı. Lise öğrenimini Payas İlçesi Anadolu Teknik Lisesi Makine Bölümünde tamamladı. 2008 Yılında Marmara Üniversitesi Makine, 2012 yılında Mustafa Kemal Üniversitesi İskenderun MYO Makine, 2014 yılında İskenderun Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümlerinden mezun oldu. 2014 yılı Orta Doğu Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümünde 1 yıl eğitim almış olup, özel sebeplerle okulu dondurmuştur. 2009 yılına kadar İstanbul'da farklı firmalarda çalışmış olup, 2010 yılı Ocak Ayı itibariyle İskenderun Demir ve Çelik A.Ş. de çalışmaya devam etmektedir. İskenderun Teknik Üniversitesi İleri Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Tezli Yüksek Lisans programına 2014 yılında başlamış olup mezun olma aşamasındadır.