

Çelik Dişli Sondaj Matkaplarında Takım Ömrünün Artırılması

Program Kodu: 3001

Proje No: 213M629

Proje Yürütücüsü:
Yrd. Doç. Dr. Ali GÜNEN

Araştırmacı:

Yrd. Doç. Dr. Erdoğan KANCA

Danışmanlar:

Prof. Dr. Bülent KURT

Prof. Dr. Ergül YAŞAR

KASIM 2015
HATAY

ÖNSÖZ

Nano boyutlu bor tozu kullanılarak geleneksel borlama yöntemlerine göre daha kısa sürede borür kaplamaların elde edildiği bu projede, sondaj maliyetinde büyük oranda belirleyici etken olan matkap ömrünün borlama işlemiyle arttırılabilirliği incelenmiştir. Proje çalışmaları kapsamında; çelik dişli sondaj matkapları nano boyutlu bor tozu ile 1000 °C' de 30 dk, 45 dk, 60 dk, 75 dk, 90 dk ve 105 dk sürelerde termokimyasal reaksiyon yöntemiyle demir bor esaslı, ana malzemedен çok daha sert (1386-2333 HV) ve metalürjik bağa sahip, bir kaplama tabakasıyla kaplanmıştır.

Kaplama işleminin ardından, kaplama tabakasının kalınlık, sertlik değeri ve tabaka yapısı incelenmiştir. Ardından döner sondaj matkaplarının çalışma koşulları göz önünde bulundurularak mikro abrasyon aşınma testi uygulanmıştır. Aşınma testi bor ile kaplanan numuneler, kaplanmayan numuneye ve endüstride sondaj matkaplarının yanaklarına uygulanan mevcut kaplamalara uygulanmış ve sonuçlar birbirleriyle kıyaslanmıştır. Proje sonuçları üretilen kaplamaların yüksek tribolojik performans sergilediğinden sondaj endüstrisinde kullanılabileceğini göstermiştir.

Yapılan çalışmalar için gerekli finansman desteği TÜBİTAK tarafından 213M629 numaralı proje ile sağlanmıştır. Proje ekibi olarak bu desteğinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

Yrd. Doç. Dr. Ali GÜNEN

Yrd. Doç. Dr. Erdoğan KANCA

Prof. Dr. Bülent KURT

Prof. Dr. Ergül YAŞAR

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	V
ABSTRACT.....	VI
TABLolar LİSTESİ.....	VII
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VIII
SEMBOLLER ve KISALTMALAR.....	X
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	3
2.1. Sondaj ve Sondaj Alanında Yapılan Kaplama Çalışmaları.....	3
3. GEREÇ VE YÖNTEM.....	9
3.1 Amaç.....	9
3.2 Altlık ve Toz Malzemesinin Karakterizasyonu.....	9
3.3 Numunelerin Kaplama İşlemleri İçin Hazırlanması.....	10
3.4 Kaplamanın Üretilmesi.....	11
3.4.1 Borlama Ortamının Hazırlanması.....	11
3.4.2 Borlama İşlemi.....	12
3.5 Çelik Dişli Sondaj Matkaplarının Flame Spray ve HVOF ile Kaplanması.....	13
3.6 Mikroyapı İncelemeleri için Numune Hazırlanması ve Mikroyapı Çalışmaları.....	13
3.6.1 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizleri.....	14
3.6.2 Optik Mikroskopi İncelemeleri ve Borür Tabakası Kalınlık Ölçümleri.....	14
3.6.3 Borür Tabakasının Sertlik Ölçümlerinin Yapılması.....	14
3.6.4 X ışınları Analizi.....	14
3.7 Mikro-Abrasyon Aşınma Testinin uygulanması.....	14
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	15
4.1 Borlanan Numunelerin Metalografi Çalışmaları ve Yüzey Karakterizasyonu.....	15
4.1.1 Borür tabakası Kalınlıkları.....	23
4.1.2 Borlanan Numunelerin Mikrosertlik Değerleri.....	24
4.1.3 Borlanmış Sondaj Matkaplarının X-Işınları Difraksiyon Analizi.....	25
4.1.4 Borlanmış Dişli Çeliklerinin EDS Analiz Sonuçları.....	26
4.1.5 Borlanmış Numunelerin Adhezyon Testleri.....	29
4.2 Flame Spray ve HVOF kaplamaların Karakterizasyonu.....	31
4.2.1 Mikroyapı Çalışmaları.....	31

4.2.2 Tabaka Kalınlıkları ve Sertlik Değerleri.....	32
4.2.3 FS ve HVOF kaplamaların XRD analizleri.....	32
4.3 Mikro-Abrasyon Aşınma Test Sonuçları.....	34
4.3.1 Borlanmış Numunelerin Aşınma Dirençleri.....	34
4.3.2 FS ve HVOF ile Üretilen Kaplamaların Aşınma Test Sonuçları.....	41
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	49
6. KAYNAKLAR.....	51

ÖZET

Son yirmi yılda sondaj kesici takımların tungsten karbür gibi ileri mühendislik malzemelerden üretilmesiyle takım performanslarında bir artış elde edilmiş olsa da maliyet artışının önüne geçilememiştir. Bu projede tungsten karbid uçlu takımlara göre çok daha ucuz olan ve bölgemizde (Çukurova ve Amik ovası) genellikle su sondajları uygulamalarında yaygın bir şekilde kullanılan çelik uçlu sondaj takımlarının nano boyutlu bor tozu ile kısa sürede kaplanması sonucunda aşınmanın azaltılarak takım ömürlerinin arttırılabilirliği incelenmiştir.

Projede çelik dişli sondaj takımları temokimyasal bir yöntem ile 1000 °C' de 30 dk, 45 dk ve 60 dk sürelerde, geleneksel borlama yöntemlerine göre daha kısa sürede, Nano bor tozu ile kaplanmıştır. Borlanan numuneler, optik mikroskobu, SEM, X-ışını, mikrosertlik, adhezyon testi ve mikro abrasyon aşınma testlerine tabi tutulmuş, sodaj matkaplarına uygulanan mevcut kaplamalarla ve herhangi bir işlem uygulanmayan numune ile kıyaslanmıştır.

Borlama işlemi sonucunda, borlama süresinin artışına bağlı olarak kaplama tabakasının kalınlığı 32-202 µm, sertlik değerleri ise 1386-2333 HV olarak ölçülmüştür. Borlama işlemi yüzey sertliğini yaklaşık 4-6 kat arttırmıştır. Aşınma deneyleri sonucunda borlanan tüm numunelerin aşınma dirençleri borlanmayan numuneye göre arttığı tespit edilmiştir. Borlama süresi artışına paralel olarak aşınma direncinin arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca elde edilen kaplamaların mevcut endüstride kullanılan kaplamalardan daha üstün performans gösterdiği belirlenmiş ve yöntem ile ilgili patent başvurusu yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sondaj matkabı, nanobor, aşınma, mikro-abrasyon,

ABSTRACT

The Extension of Tool Life of Steel Gear Drill Bit

In recent two decades with the production of drilling tools from advanced engineering materials, such as tungsten carbide, has provided an increase in tool performance, but cost increases could not be prevented. In this project, have been examined life expandibility of steel tooth diri bits which coated in a short time by nano boron powder. This bits are commonly utilized in this region during drilling for underground water (Çukurova and Amik Plate) and which are much more cost-efficient compared to the tools made up of tungsten carbide tools.

In this study, steel tooth drill bits heat treatment at 1000 °C for 30 minutes, 45 minutes and 60 minutes to be coated with boron dust for a shorter process period compared to the other coating technologies. After the coating process, thickness and hardness values and structure of the coating were examined. Furthermore, coated and uncoated and current used coating for dirll bits samples were applied abrasive test which is effective on steel tools used in rotary drill method so that effect of the coating over economic life of the tool can be investigated.

The thickness and hardness of the boride layer measured between the ranges of 32–202 µm in thickness, 1386–2333 HV0.01 depend on the boriding time and temperature. Boriding process increased surface hardness about 4-6 times. All borided samples showed better wear resistance. Wear resistance increased with increasing boriding time. Moreover, was determined that the borided samples has better performance than the the coating which current used in the industry for drill bits. The patent application for the method has been applied.

Keywords: Drill bit, nano boron, wear, micro abrasion

TABLolar LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1. Borlama sonucu oluşan borür tabakaları ve özellikleri.....	5
Tablo 2. Çalışmada kullanılan 3 farklı çelik dişli sondaj ucunun kimyasal bileşimi.....	9
Tablo 3. Nanobor tozunun kimyasal bileşimi.....	10
Tablo 4. FS ve HVOF kaplamaların işlem koşulları.....	13
Tablo 5. Tüm deney koşullarında ölçülen ortalama borür tabakası kalınlıkları.....	23
Tablo 6. FS ve HVOF yöntemleri ile üretilen kaplamaların bazı değerleri.....	32

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1. Çelik ve Tungsten karbid dişli uç konili matkapların görünümü.....	3
Şekil 2. Nanobor tozunun SEM görünümü.....	10
Şekil 3. Sondaj matkaplarının kaplama işlemleri için kesimi.....	11
Şekil 4. Borlama işleminde kullanılan paslanmaz çelik pota.....	12
Şekil 5. 1000 °C'de 60 dakika süre ile borlanan numunelerin yüzey görünümü.....	12
Şekil 6. a) Serbest top mikro-abrasyon test yöntemi b) Sabit top mikro-abrasyon test yöntemi [14].....	15
Şekil 7. 1000 °C'de 30 dakika süresince borlanan numunelerin Pin kısmından alınan numunelerin optik görünümü.....	17
Şekil 8. 1000 °C'de 30 dakika süresince borlanan numunelerin gövde kısmının SEM görünümü.....	18
Şekil 9. 1000 °C'de 45 dakika süresince borlanan numunelerin dişli kısmının optik görünümü.....	19
Şekil 10. 1000 °C'de 45 dakika süresince borlanan numunelerin pin kısmı SEM görünümü.....	20
Şekil 11. 1000 °C'de 60 dakika süresince borlanan numunelerin gövde kısmı optik görünümü.....	21
Şekil 12. 1000 °C'de 60 dakika süresince borlanan numunelerin dişli kısmı SEM görünümü.....	22
Şekil 13. 3'ünlü sondaj matkabından alınan sertlik değerleri ve sertlik iz görünümünün optik resmi.....	24
Şekil 14. a) 30 dakika b) 45 dakika c) 60 dakika Nanobor tozu ile d) Ekabor tozu ile 8 saat süre ile borlanan numunelerin xrd analizleri.....	25
Şekil 15. 1000°C 60 dakika süre ile borlanan numunenin EDS analizi.....	27
Şekil 16. 1000°C 45 dakika süre ile borlanan numunenin kaplama bölgesi EDS analizi..	28
Şekil 17. 1000 C'de 60 dakika süre ile borlanan numunenin kaplama ve difüzyon bölgesi EDS analizi	29
Şekil 18. VDI 3198 indentasyon testi	30
Şekil 19. 1000 °C'de a) 30 dk, b)45dk ve c)60 dk süre ile borlanmış malzemelerin adhezyon testi sonrası yüzey optik görüntüleri.....	30
Şekil 20. a) Flame Spray 36C b) Flame Spray 15F c) HVOF Diamalloy 5849 d) HVOF Diamalloy 3004 tozları ile kaplanmış çelik dişli sondaj matkabı numunelerinin SEM mikroyapı görüntüleri.....	31
Şekil 21. FS ve HVOF ile kaplanmış numunelerin XRD analizleri.....	33

Şekil 22. Borlanmış numunelerin Al ₂ O ₃ abrasiv aşındırıcı ortamındaki a) 90 rpm b)140 rpm 1N c) 90 rpm 2N d) 140 rpm 2N e) 90 rpm 3N f) 140 rpm 3N yük altındaki hacim kayıpları.....	35
Şeki 23. 1000 °C'de a) 45 dk b) 60 dk c)90 dk d)105 dk sürelerde borlanan numunelerdeki fazların (FeB+Fe ₂ B) fazların ve kaplama tabakalarının kesit SEM görünümü.....	36
Şekil. 24 Borlanmış numunelerin SIC abrasiv aşındırıcı ortamındaki a) 90 rpm b)140 rpm 1N c) 900 rpm 2N d) 140 rpm 2N e) 90 rpm 3N f) 140 rpm 3N yük altındaki hacim kayıpları.....	37
Şekil 25. 1000 °C'de 60 dakika süre ile borlanmış ve 140 rpm ve 1 N yük altında a) %10 b)30 c)40 d)50 Al ₂ O ₃ abrasive süspansiyon ile aşındırılan yüzeylerin SEM görünümü.....	39
Şekil 26. 1000 °C'de 60 dakika süre ile borlanmış ve 140 rpm ve 1 N yük altında ,%30 SIC abrasive süspansiyon ile aşındırılan numunenin SEM görünümü.....	40
Şekil 27. İşlemsiz çelik dişli sondaj matkabının 140 rpm 1 N yük altında a)%10 Al ₂ O ₃ b)%50 SIC abrasive süspansiyon ile aşındırılan numunenin SEM görünümü.....	41
Şekil 28. FS ve HVOF ile kaplanmış numunelerin Al ₂ O ₃ abrasiv aşındırıcı ortamındaki a) 90 rpm 1N b)140 rpm 1N c) 90 rpm 2N d) 140 rpm 2N e) 90 rpm 3N f) 140 rpm 3N yük altındaki hacim kayıpları.....	42
Şekil. 29 Borlanmış numunelerin SIC abrasiv aşındırıcı ortamındaki a) 90 rpm b)140 rpm 1N c) 90 rpm 2N d) 140 rpm 2N e) 90 rpm 3N f) 140 rpm 3N yük altındaki hacim kayıpları.....	43
Şekil 30. FS yöntemi 36 C tozu ile üretilen numunenin 140 rpm 1N yük ve %30 SIC solisyon ile aşınma deneyi sonrası numunenin a) 100X b) 1500 X SEM görünümü.....	44
Şekil 31. FS yöntemi 15 F tozu ile üretilen numunenin 140 rpm 1N yük ve %50 SIC.....	45
solisyon ile aşınma deneyi sonrası numunenin SEM görünümü.....	46
Şekil 32. HVOF yöntemi Diamalloy 5849 tozu ile üretilen numunenin 140 rpm, 1N ve %50 SIC solisyon ile aşınma deneyi sonrası a) 85X b)700X SEM görünümü.....	47
Şekil 33. HVOF yöntemi Diamalloy 3004 tozu ile üretilen numunenin a) aşınma deneyi öncesi yüzey 140 rpm 1N ve %50 SIC solisyon aşınma deneyi sonrası b) 85X c)700X SEM görünümü.....	48

SEMBOLLER ve KISALTMALAR

WC	: Wolfram Karbür
TCI	: Tungsten karpit gömülü
PDC	: Polykristalin compact diamond
µm	: Mikrometre
dk	: Dakika
FS	: Flame spray
HVOF	: Yüksek hızlı oksit yakıt
HV	: Vickers sertliği
nm	: Nanometre
N	: Newton
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu

Numunelerin İsimlendirilmesi:

30: 1000 °C'de 30 dakika sürede Nanobor tozu ile borlanan numune

45: 1000 °C'de 45 dakika sürede Nanobor tozu ile borlanan numune

60: 1000 °C'de 60 dakika sürede Nanobor tozu ile borlanan numune

75: 1000 °C'de 75 dakika sürede Nanobor tozu ile borlanan numune

90: 1000 °C'de 90 dakika sürede Nanobor tozu ile borlanan numune

105: 1000 °C'de 105 dakika sürede Nanobor tozu ile borlanan numune

FS 36C: Flame spray yöntemiyle Ni 35 (WC 8Ni) 11Cr 2.5B 2.5Fe 2.5Si 0.5C tozu kullanılarak kaplanan numune

FS 15F: Flame spray yöntemiyle Ni-17Cr-4Fe-4Si-3.5B-1C tozu kullanılarak kaplanan numune

HVOF Diamalloy 5849: HVOF yöntemiyle WC-10Co-4Cr tozu ile kaplanan numune

HVOF Diamalloy 3004: HVOF yöntemiyle Cr₃C₂-25(Ni 20Cr) tozu ile kaplanan numune

İşlemsiz: Herhangi bir işlem uygulanmayan çelik dişli sondaj takımından çıkarılan numune

1. GİRİŞ

Artan nüfus ve gelişen teknoloji ile birlikte insanoğlunun gereksinimlerinin karşılanması için yeraltı zenginliklerine ulaşılması gerekliliği insanoğlunu yeni malzeme oluşumları konusunda araştırmaya sevk etmiştir. Son yirmi yılda sondaj kesici takımların tungsten karbür gibi ileri mühendislik malzemelerden üretilmesiyle takım performanslarında bir artış elde edilmiş olsa da maliyet artışının önüne geçilememiştir. Ayrıca yeraltı kaynaklarına ulaşmak her geçen gün zorlaştığından makine elemanları ve malzemelerin çalışma koşulları ağırlaşmaktadır. Bu durum malzemelerde aşınma ve korozyon hasarlarına neden olmaktadır. Aşınma ve korozyondan kaynaklı hasarlar malzemenin boyutlarında değişikliğe dolayısıyla verim düşüklüğüne ve sonunda da ömrünü tamamlamasına neden olur.

Aşınma ve korozyonun önlenmesi her geçen gün ekonomik anlamda daha büyük önem kazanmaktadır. Bu sorunları ortadan kaldırmak ve takım ömürlerini uzatmak için yeni nesil takım çelikleri üretilmektedir. Ancak, takımlarda kullanılan malzemelerin daha pahalı olması bu çeliklerin kullanım alanlarını sınırlamaktadır. Aşınma ve korozyon olaylarının malzeme yüzeyinden başladığı göz önüne bulundurulduğunda malzemelerin tamamını bu pahalı malzemelerden üretmek yerine yalnızca yüzeylerinin aşınma, korozyon vb. özelliklerini geliştirmek ise soruna ekonomik ve pratik bir yaklaşımdır. Bu sebeple sert seramik film, borür karbür ve kompozit kaplamalar son yıllarda büyük bir gelişim göstermiştir. Bu kaplamaların elde edilmesinde sağlayan yöntemlerin başında endüstriyel anlamda geniş bir uygulama alanı bulunan borlama işlemi gelir.

Termokimyasal bir yüzey sertleştirme işlemi olan borlama; Esas olarak metal yüzeyine bor difüzyonu sonucunda ana matris metalürjik bir bağ ile bağlı sert borür tabakasının oluşturulması olarak tanımlanabilir. Borlama işlemi genellikle 700-100 °C sıcaklık aralığında ve 30 dakikadan 12 saate kadar süreler ile uygulanabilir. Borlama işleminin fiziksel durumu katı, sıvı, gaz ya da plazma halinde olabilir. En yaygın olarak kullanılan katı borlama tekniği olup diğer yöntemlere göre basit teknolojik ve ekonomiktir. Borlanmış çelikler yüksek yüzey sertlikleri ve yüksek aşınma dirençleri ile karakterize edilirler. Bu nedenle borlanmış malzemelerde oluşan borür tabakası üzerindeki çalışmalar daha çok sertlik, aşınma ve korozyon üzerine yoğunlaşmıştır. Son beş yılda ise borlama ile ilgili daha düşük işlem sıcaklıkları ve işlem sürelerinin kısaltılması üzerine yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmaların amacı enerji verimliliği, zaman ve uzun işlem süreleri ile yüksek sıcaklıklardan kaynaklı bor kaplamalardaki tane irileşmesi, yüzey pürüzlülüğü vb. olumsuzlukların giderilmesidir.

Bu projede tungtesten karbid uçlu takımlara göre çok daha ucuz olan ve sığ sondaj uygulamalarında yaygın bir şekilde kullanılan çelik dişli sondaj takımları yüzeyleri geleneksel borlama yöntemlerine göre daha kısa sürelerde nano boyutlu bor tozu ile kaplanmıştır. Ardından kaplama tabakasının karakterizasyonu ve aşınma dirençleri incelenmiş ve mevcut endüstriyel uygulamalarda sondajların yanak kısımlarına uygulanan farklı kaplamalar ile ve kaplanmayan numuneler ile de kıyaslanmıştır. Proje sondaj matkaplarının çalışma koşulları göz önüne bulundurulduğunda tamir veya parça değişimleri çok daha maliyetli olduğundan elde edilen kazanımlar büyük önem taşımaktadır.

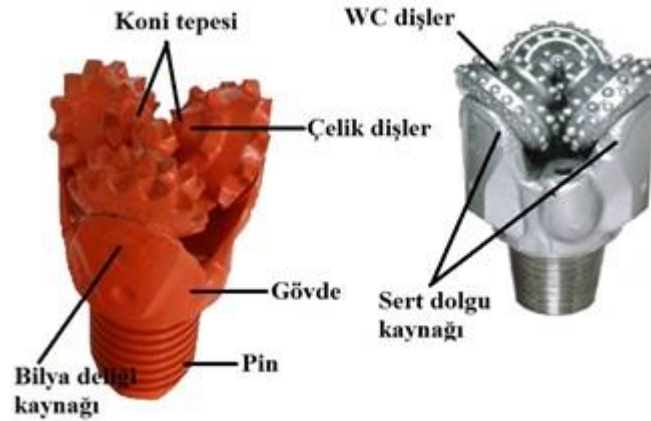
2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1. Sondaj ve Sondaj Alanında Yapılan Kaplama Çalışmaları

Bir delici uç yardımı ile yeryüzünden itibaren içeriye doğru belirli çap ve derinlikte dönen borularla veya darbeli tel, halat ve delici uç ile kuyular açılmasına sondaj denir. Sondaj sistemleri Rotary (dönerek çalışan) ve Percussion (darbeli) sondaj sistemi olmak üzere ikiye ayrılır. Derin sondajlarda Rotary sistemler tercih edilmekle beraber her iki sondaj sisteminin birbirine göre üstün tarafları vardır. Fakat her iki sondaj sisteminde de sondaj maliyetini büyük oranda matkap performansı belirlemektedir. Matkap performansı ise önce matkap seçimine daha sonra da matkabin nasıl kullanıldığına bağlıdır. Matkap seçiminin iyi yapılması sondaj metre maliyetinde önemli düşüşler sağlamaktadır[1-5].

Sondaj matkapları formasyonlardan örnek alma şekline göre; kırıntı örnek almaya uygun matkaplar ve karot örnek almaya uygun matkaplar olarak 2 guruba ayrılır. Projede her tür formasyona uygun tipleri bulunduğundan döner sondaj uygulamalarında en çok kullanılan [6] kırıntı örnek almaya uygun matkaplardan üç konili matkaplar çalışılmıştır.

Konili matkaplar ilk kez 1909 yılında kullanılmıştır. 1951 yılında kadar sadece çelik dişli matkaplar kullanılmış olup, 1951 de sert formasyonlar için ilk Tungsten Karbür (WC) matkap geliştirilmiştir [7-8]. Hem çelik dişli hem de WC matkapların alt tarafında koniler bulunur (Şekil 1). Bu koniler bir mile geçirilmiş olmakla beraber üzerlerinde dişler vardır. Matkabin dönüşü ile konilerde kendi eksenleri etrafında dönerler. Koniler üzerindeki dişler sert çelikten olabildiği gibi WC den de olabilir. Matkaplardaki koni sayısı genellikle 3 olmakla beraber farklı sayılarda da olabilir. Konili matkaplar aşınmaya dayanıklılığı artırılmış çelik alaşımlarından üretilir.



Şekil 1. Çelik ve Tungsten karbid dişli üç konili matkapların görünümü.

Matkap seçimi kadar sondaj maliyetleri üzerinde etkili olan ve matkap ömrünü etkileyen parametre ise matkabin döndürme hızıdır. Delinebilirliği düşük formasyonlarda 30-40

dev/dk, delinebilme özelliği olan formasyonlarda 60-120 dev/dk, yüksek delinebilme özelliği olan formasyonlarda ise 70-140 dev/dk döndürme hızları tavsiye edilmektedir [9-,10]. Çok yumuşak kayaçlarda ise 200-250 dev/dk değerlerine kadar çıkılmaktadır [11].

Delme hızını artırmak için baskı sabit tutulup dönme hızı artırılmalıdır [12]. Fakat dönme hızının fazla artırılması matkabı aşındıracaktır. Genel kural, zor delinebilen ve aşındırıcı formasyonlarda yüksek baskı ve düşük dönme hızı, kolay delinebilen formasyonlarda ise düşük baskı ve yüksek dönme hızı uygulamaktır [11]. Yüksek dönme hızına bağlı olarak malzeme yüzeyinin yüksek sıcaklıklara dayanıklılığını sağlamak için modifikasyonların yapılması zorunluluk arz etmektedir.

Malzeme yüzeyinin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesinde en kolay ve ekonomik yol, çeliklerde yapılan yüzey sertleştirme işlemleridir. Bu yöntemler; malzeme yüzeyinin sert, mukavemetli ve aşınmaya dayanıklı olmasını; iç kısmının da enerjiyi absorbe ederek tok kalmasını sağlar [13]. Yüzey sertleştirme işlemlerinin başında Borlama ısıl işlemi gelir. Borlama, esas olarak metal yüzeyine bor difüzyonu ile bor atomlarının ana malzemeyle reaksiyonu sonucunda yüzeyde borür tabakasının oluşturulması olarak tanımlanabilir. Borlama prosesi, yüzey temizliği iyi yapılmış malzemelere, yüksek sıcaklıkta (700-1000°C), 1-12 saat aralığında katı, pasta, sıvı ve gaz ortamlarında gerçekleştirilebilmektedir. Borlanmış çelikler yüksek yüzey sertlikleri ve yüksek aşınma dirençleri ile karakterize edilirler. Bu nedenle borlanmış malzemelerde oluşan borür tabakası üzerindeki çalışmalar daha çok sertlik, aşınma ve korozyon üzerine yoğunlaşmaktadır [14-15]. Borür tabakasının önemli bir özelliği ise sahip olduğu yüksek sertlik değerini, 900-1000 °C' ye ulaşan sıcaklıklarda dahi kendini koruyabilmesidir. Bu sayede yüksek sıcaklıklarda da sahip olduğu tribolojik özellikleri kaybetmeden aşınma ve korozyona karşı daha iyi direnç gösterir [16].

Endsütriyel uygulamalarda borlama, Termokimyasal yöntemler (kutu borlama, pasta borlama, gaz borlama, sıvı borlama) ve Termokimyasal olmayan yöntemler (PVD, CVD, Plazma sprey) olarak iki guruba ayrılır [17]. Proje çalışmasında diğer yöntemlere oranla ucuz ve özel ekipman gerektirmeyen Argon koruyucu gazı altında kutu borlama tekniği kullanılmıştır. Kutu borlama tekniğinde aşağıda verilen birçok toz kullanılmaktadır [18-19].

1. %85-90 Ferrobor +%10-15 NaBF
2. %95 B4C +%5 NaF
3. %33 Amorf bor +%2 NHCl +%65 Al2O3
4. %80 B4C +%20 Na2CO3
5. %98 B4C +%2 KBF

6. %50 Amorf bor +%1 NH₄F.HF+%49 Al₂O₃
7. %(7,5-40) B₄C + %(2,5-10) KBF₄+% (50-90)+SiC
8. %84 B₄C +%16 Na₂B₄O₇
9. %95 Amorf bor +%5 KBF₄
10. %20 B₄C +%5 KBF₄+%75 Grafit
11. %(40-80) B₄C +% (20-60) Fe₂O₃
12. %100 B₄C.

Borlama işlemi sonucunda malzemenin borlama sıcaklığı, borlama süresi, kimyasal bileşimine ve kullanılan bor tozunun kimyasal bileşimine bağlı olarak farklı borür fazları meydana gelir. Aşağıda çelik dişli sondaj matkaplarının kimyasal bileşimine (Tablo 1) bağlı olarak oluşabilecek fazlardan bazılarının sertlik ve ergime dereceleri verilmiştir [17].

Tablo 1. Borlama sonucu oluşan borür tabakaları ve özellikleri

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

Sondaj matkapları üzerinde yapılan çalışmalar WC esaslı kimyasal bileşimin değişimi ve sinterleme şartlarının değişimine bağlı matkaplar üzerine yoğunlaşmıştır. Ancak WC ve PDC elmas matkapların üretimiyle takım performansında artışlar elde edilmiş olsa da maliyet

artışının önüne geçilememiştir Sondaj matkapları üzerindeki kaplama çalışmaları ise CVD ve PVD yöntemleri ile TiN, TiC, TiCN, AlTiN, CrN, CrC, ZrN ve Al₂O₃ vb. kaplamalar üzerine birçok çalışma bulunmaktadır. 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 yöntemlerinin sınırlamalarıdır [20, 21]. Bundan dolayı özellikle endüstriyel uygulamalarda Flame spray (FS) ve Termal Spray (TS) yöntemleri ile bu matkapların yanak kısımlarının kaplamaları yapılmaktadır. Ancak bu yöntemlerle çelik diş (aşındırıcı) kısımlarının geometrileri bozulmadan yapılamadığından bir sınırlama söz konusudur.

Çelik dişli sondaj matkapları üzerinde borlama ile ilgili literatürde bir yayına rastlanmamıştır. Ancak yapılan kaplama çalışmalarında kullanılan kaplama malzemelerinin çoğunda Bor elementi katkılarının bulunduğu ve olumlu katkıları olduğu belirtilen çalışmalar gözlemlenmiştir. Sondaj matkapları üzerine yapılan son 5 yıldaki çalışmalardan bazıları güncel sıralamaya göre aşağıda verilmiştir.

X. Yang vd, (2014) WC esaslı takımların kaya delme işlemlerindeki aşınmanın sebebinin oyuk korozyonu (pitting) olduğunu belirtmektedirler. Pitting'in kayanın çizme, çarpma ve malzemeyi yorma etkenlerinden meydana gelmediği, matkabın kayaya teması sonucu ani yükselen ısının etkisiyle meydana gelen termal gerilmeden kaynaklandığını belirtmektedirler. Ayrıca yüzey pittinglerinin çoğunun termal gerilmeden dolayı WC ile Co fazının birleşme noktalarında meydana geldiğini belirtmektedirler [22].

M. Reyes ve A Neville (2014) Kobalt bazlı, WC-Cu bazlı ve WC-Ni (Ni-Cr-Si-B oksit asetilen ve toz püskürtme ile kaplanmış) bazlı üç çeşit matkabı deniz koşullarındaki aşınma ve korozyon davranışlarını inceledikleri çalışmalarında sermet ile yüzeyin kaplanması verimli olmadığı mikro yapının daha önemli bir etken olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca tüm matkaplardaki aşınma ve korozyon davranışlarının karmaşık olduğu, tribokorozyonun mekanik proseslerden, elektro kimyasal proseslerden ve delinecek yüzey ile matkabın etkileşim açısından etkilendiğini belirtmişlerdir [23].

M. Figueroa vd, (2014) yaptıkları çalışmada ticari olarak temin edilen 4 matkabın aynı koşullar altındaki aşınma dirençlerini incelemiştir. Çalışma sonucunda yüzey sertliğinin matkap performansında iyi gösterge olmadığı, daha çok malzemenin tüm sertliğinin ve bilya üzerindeki aşınma kraterinin daha iyi bir gösterge olduğu sonucuna varmışlardır [24].

Guobiao vd., (2013) % 11 Co içeren WC sinterlenmiş karbürlerle; B₄C, KBF₄, SiC, Al₂O₃, Mg tozu, grafit partikülleri ve nadir toprak elementlerinden oluşan bir borlayıcı ortamda, Ar ve H₂ koruyucu atmosferinde, 950 °C sıcaklık ve 5 saat süre altında yaptıkları borlama işlemi sonucunda; CoW₂B₂, CoWB ve çok az miktarda Co-C-W-C'den oluşan bir yapı elde ettiklerini belirtmişlerdir. Aşınma test sonuçlarına göre borlanmamış numuneye göre % 30 iyileşme sağlandığını bildirmişlerdir [25].

F.A. Almedia vd., (2011) WC içerikli sinterlenmiş matkapların yüksek sertlik ve WC doğasındaki abrasiv aşınmadan dolayı takım ömürlerinin düşük olduğundan dolayı bu malzemeleri yüksek flamet kimyasal buhar biriktirme metodu ile (1940-1980 C) nanokristal elmas (NCD) ile kapladıkları çalışmalarında kaplamanın adhezyon dayanımı ve takımların kesme verimliliğini incelemişlerdir. Bu çalışmada iyi bir adhezyon dayanımına sahip bir kaplama tabakasının elde edilmesinde sıcaklığın büyük bir etken olduğu belirtilmiş ve kaplanmamış matkaplardaki kesme hızının 20 mm/dak iken kaplanmış matkapta kesme hızının 940 mm/dak olduğunu belirtmişlerdir [26].

Wei vd., (2010) yaptığı çalışmada farklı ön işlemler yapıldıktan sonra WC-Co altlıklar üzerine sıcak filamanlı CVD yöntemi ile mikro ve nanokristalin elmas kaplamışlardır. Burada yaptıkları ön işlemlerden biriside borlama ısıl işlemdir. Yaptıkları XRD analizinde borlanmış tabakada CoW₂B₂, WC ve çok az miktarlarda CoB ile CoWB bulunduğunu saptamışlardır. Yüzeğe yakın bölgelerdeki Co'ın Co-W-B üçlü fazını oluşturarak elmas filmin büyüme morfolojisine olumlu etkilediğini savunmuşlardır [27].

Baştürk vd., (2010) plazma ortamında borlanmış WC-Co kesici takımlar ile Ti-6Al-4V işlenmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada, borlama yapılmayan kesici takımındaki mikrosertlik değeri 1448 HV iken, borlanmış takımlarda en yüksek mikro sertlik değeri 3100 HV olarak ölçülmüştür. Takımların performansı tornalama ve yüzey frezeleme operasyonları ile test edilmiştir. Farklı süre ve sıcaklıklarda borlanan 4 farklı kesici takımın serbest yüzey aşınması değerleri borlama yapılmayan kesici takımla karşılaştırılmış, bunun yanında kesme kuvvetlerindeki değişimler elde edilmiştir. Burada en yüksek takım ömrü en düşük işlem sıcaklığında (600°C) ve en yüksek işlem süresinde (6 saat) plazma borlamaya maruz kalan takımlarda meydana geldiğini bildirmişlerdir [28].

Endüstriyel anlamda ise ülkemizde sondaj matkapları Tungsten karbür gibi aşınma direnci ve yüksek sıcaklıktaki dayanımı yüksek olan malzemelerden çelik uçlara göre daha dayanıklı fakat pahalı uçlar sipariş üzerine ve sınırlı sayıda üretilmelerine dair çalışmalar olsa da [29] bu uçların satışı henüz yapılmamaktadır. Ayrıca CBN kaplama [30] veya oksit alevi, Termal püskürtme sistemleri ile Tungsten karbür kaplama [31] yüzey sertleştirme adı altında çeşitli kaplamalar tamir amaçlı yapılmaktadır. Fakat yapılan bu kaplamaların sadece sondaj

matkaplarının aşınmış yanak kısımlarına yapılabilmesi (çelik dişlere kaplama yapılması ile orijinal diş şeklinin verilmesinin zorluğu) 5 saat gibi sürede yapılması ve bu sistemlerin kurulum maliyetlerinin çok yüksek olması bu yöntemleri sınırlandırmaktadır. Proje çalışması ile sondaj takımının tüm yüzeyleri kaplandığından büyük bir üstünlük sağlayacağı açıktır. Ayrıca Nano bor tozu ile borlama ile çok daha kısa sürelerde kaplama tabakası elde edilebileceği ve arzu edilen aşınma direncine ulaşılarak takım ömrünün artırılacağı öngörülmüştür. Nano bor tozu kullanımıyla azami olarak 1 saat gibi düşük bir kaplama süresinin kullanılması kaplama maliyetini düşürecektir. Temokimyasal yöntem kullanılması sebebi: Mevcut kaplama yöntemlerinden HVOF yönteminde kaplama tabakası ve ana malzeme arasında sadece mekanik bir bağlanmanın olması, dinamik bir kullanım alanına sahip olan sondaj kaplama tabakasının kalkmasına ve ana malzemeden ayrılmasına sebep olmaktadır. Projede uyguladığımız kutu sementasyon yönteminde kaplama tabakası ve ana malzeme arasında kimyasal bir bağ olduğundan ve kaplama tabakasının ana malzemeden ayrılması çok zordur.

Projede bölgemizde yaygın şekilde kullanılmakta olan fakat takım ömürlerinin düşük olması sebebiyle sondaj maliyetlerinin artışına neden olan çelik uçlu sondaj takımların (gövde ve konileri de dâhil) ömürlerinin artırılması için borlanmıştır. Ayrıca tungsten karbid uçlu matkaplarda sadece uç kısımları tungsten karbürden imal edildiğinden geri kalan kısımları tungsten karbürlü uçlardan çok daha kısa sürede aşınmakta ve WC uçların sert formasyonlardaki zorlanmasıyla yerlerinden çıkarak takımların tamirinin gerektirmesi ve bununla zamansız duruşlara neden olduğu saha çalışanları tarafından dile getirilmektedir. Yapılan çalışma ile matkap ucunun tüm kısımları sertleştirileceğinden Çelik dişli sondaj matkaplarında iyileşme sağlamanın yanında WC uçların yerlerinde çıkmaları sorununun çözümüne de katkıda bulunacağı öngörülmektedir.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1 Amaç

Çalışmada sondaj uygulamalarında WC esaslı, Tungsten karpit gömülü (TCI) ve çokkristalli elmas bileşenli (PDC) matkaplara göre uygun fiyatları dolayısıyla yaygın şekilde kullanılmakta olan fakat aşınma dirençleri düşük olan çelik dişli sondaj matkaplarının (dişli, gövde ve konileri de dâhil) kullanım ömürlerinin artırılması için borlanmıştır.

3.2 Altlık ve Toz Malzemesinin Karakterizasyonu

Çalışmada kullanılan Sondaj matkapları proje danışmanı ve Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Pertol ve Doğalgaz Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. Ergül YAŞAR ile birlikte bölgede faaliyet gösteren sondaj firmaları görüşerek belirlenmiştir. Ayrıca Ankarada sondaj matkaplarının üretim, ithalat, satış ve tamir bakım işlemlerinin yürüten NMG sondaj ve malzemeleri firmasında proje yürütücüsü tarafından araştırma gezi çalışmaları yürütülerek belirlenmiştir. Kullanılan altlık çeliklerin spektral analiz sonucu Ni-Mo alaşımlı çelikler oldukları belirlenmiştir (Tablo 2).

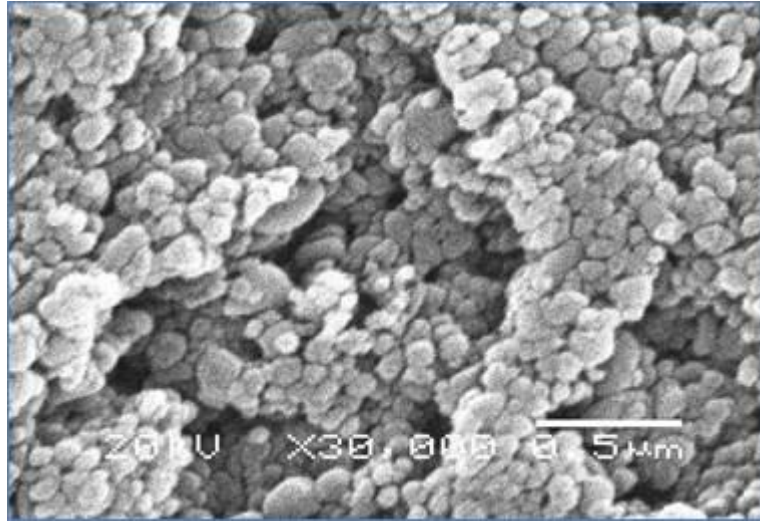
Tablo 2. Çalışmada kullanılan 3 farklı çelik dişli sondaj ucunun kimyasal bileşimi

Çelik Dişli Sondaj	Kimyasal Bileşim (% Ağırlıkça)							
	Fe	Ni	Mo	C	Si	Cr	Mn	Diğer
I Numune	93,6	3,82	0,42	0,2	0,21	0,6	0,34	0,81
II Numune	93,8	3,14	0,12	0,16	0,27	1,4	0,74	0,37
III Numune	94,2	3,81	0,3	0,18	0,24	0,2	0,44	0,63

Kaplama tozu olarak kimyasal bileşimi Tablo 3'de, SEM görünümü Şekil 2'de verilen ve AISI 304 çeliği üzerindeki daha önceki çalışmalarımızda micron boyutlu bor tozlarına göre çok daha iyi sertlik, aşınma ve korozyon dayanımı elde edilen 10-50 nm boyutundaki Nanobor tozu kullanıldı. Aktivatör olarak NaBF₄ kullanıldı. Nano bor tozunun O₂ karşı affinitesi olduğundan bor tozunun potaya doldurulması Ar gazı ortamında yapılmıştır.

Tablo 3. Nanobor tozunun kimyasal bileşimi

Ortalama Partikül Boyutu	10-50 nm
Şekil	Amorf
Safılık	% 99,7
Safsızlıklar (diğer alaşım elementleri)	
Mg	0.0005
Al	0,022
Ca	0,0013
Ti	0,0017
Cr	0,013
Fe	0,035
Ni	0,004
Cn	0.0009
Cu	0.18
Si	0.01



Şekil 2. Nanobor tozunun SEM görünümü.

3.3 Numunelerin Kaplama İşlemleri İçin Hazırlanması

Çelik dişli sondaj matkapları üretici firmalar tarafından farklı ısıl işlemlere tutulduğundan ve bu ticari bilgiler kullanıcılar ile paylaşılmadığından kesme işlemi esnasında zorluklar ile karşılaştırılmıştır. Sanayide kullanılan Nitrürlenmiş testereler ile kesim işlemleri gerçekleştirilemediğinden PDC şerit testereler sipariş edilmiş ve bu testerelerde düşük kesme hızları ile kesim işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Takımların ağır ve kaba olmaları nedeniyle Şekil 3 de gösterildiği şekilde otomatik şerit testerede öncelikli olarak sondaj matkapları pin gövde ve uç şeklinde 3 kısma ayrıldı. Kesme işlemi esnasındaki ısıdan dolayı yapıda herhangi bir değişikliğe meydan vermemek için soğutma sıvısı kullanıldı.



Şekil 3. Sondaj matkaplarının kaplama işlemleri için kesimi

Kayaçla temas eden tüm bölgelerinden (uç-gövde) Abrasiv aşınma deney testlerine uygun olacak şekilde enaz 70x20x10 ebatında her bir takım ucundan yeteri sayıda numune şerit testere ile kesildi.

Bor kaplama tabakasının daha iyi yapışması için numunelerin yüzeyi satıh taşlama tezgâhı ile parlatılarak kaplama işlemi için hazır hale getirildi. Kaplama işlemlerinin gerçekleştirileceği atmosfer kontrollü ve vakumlama özelliğine sahip fırın özel imalat olarak bir firmaya yaptırılmıştır.

3.4 Kaplamanın Üretilmesi

Deneylerde borlama ortamı olarak, Tablo 2' de kimyasal bileşimi ve Şekil 2'de SEM görüntüsü verilen 10–50 nm tane boyutuna sahip ticari olarak temin edilen Nanobor tozu ve Aktivatör olarak NaBF_4 tuzu, kullanılmıştır. Çalışmada maksimum 1 saat süre ile 1000-1500 HV sertlik elde edilmesi hedeflendiğinden ve daha önceki çalışmalarda Ekabor tozuna göre çok daha iyi aşınma direnci sağladığı belirlenen Nanobor tozu kullanılmıştır [32]. Yapılan kaplama çalışmalarında yüzey sertliğinin 30 dakikada bile 1300 HV'nin üstünde olduğu belirlenmiştir. Bu durum toz ve yöntem seçiminin doğruluğunu göstermektedir.

3.4.1 Borlama Ortamının Hazırlanması

Yüzeyi satıh taşlama tezgâhı ile taşlanmış numuneler, Nanobor tozunun oksijene karşı olan affinitesi göz önünde bulundurularak vakumlama işlemi sonrası argon gazı ortamda numunelerin tüm yüzeylerine önceden hazırlanan %95 Nanobor tozu ve %5 KBF_4 karışım tozu

temas edecek şekilde paslanmaz çelikten imal edilen potaya yerleştirilmiştir. Karışımın homojen olması için borlama malzemesi ve aktivatör malzeme hasas terazi ile tartılarak kapaklı plastik bir kutu içine yerleştirilmiş ve potaların dolumu sırasında bocalanarak tozların homojen karışımı sağlanmıştır. Deney sırasında potaların kapakları hava almayacak şekilde sıkıca kapatılmıştır.



Şekil 4. Borlama işleminde kullanılan paslanmaz çelik pota

3.4.2. Borlama İşlemi

Borlama işlemi için hazır hale getirilmiş potalar 1000 °C'de 30, 45 ve 60 dakika süreyle borlama işlemine tabi tutulmuştur. Potalar, deney sıcaklığına önceden ulaşmış olan fırın içerisine yerleştirilmiş ve istenilen süre bekletilmiştir. Deney sonrası numuneler fırın dışına alınarak açık hava ortamında soğumaya bırakılmıştır. Deney sonunda numunelerinin üzerinde kaplama tabakası olduğu, herhangi bir kalıntı toz partikülünün yapışmadığı ve gözle görünür bir yüzey pürüzlülüğünün olmadığı gözlenmiştir.



Şekil 5. 1000 °C'de 60 dakika süre ile borlanan numunelerin yüzey görünümü

3.5 Çelik Dişli Sondaj Matkaplarının Flame Spray ve HVOF ile Kaplanması

Çelik dişli sondaj matkaplarının aşındırıcı diş kısmından dikdörtgen prizma şeklinde 70x20x10 mm ölçülerinde çıkarılan numuneler sondaj matkaplarının yanak kısımlarına uygulanan bor içerikli tozlar ile özel sektörde faaliyet gösteren bir firmada Flame Spray (FS) ve Hızlı Yüksek Oksi Yakıt (HVOF) yöntemleri ile kaplanmıştır. Kaplama işlemleri Tablo 4’de verilen koşullarda gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4. FS ve HVOF kaplamaların işlem koşulları

Kaplama işlemi	Kaplama tozu	Yakıcı gaz Oksijen oranı (m ³ /saat)	Yanıcı gaz oranı (m ³ /saat)	Toz oranı (kg/saat)	Püskürtme uzaklığı (mm)
FS	36 C Ni 35 (WC 8Ni) 11Cr 2.5B 2.5Fe 2.5Si 0.5C)	1.5	Asetilen 0.90	5.0	200
FS	15 F Ni-17Cr-4Fe-4Si- 3.5B-1C	1.8	Asetilen 0.90	7.5	200
HVOF	Diamalloy 5849 WC 10Co 4Cr	1.8	H ₂ 3.6	3.6	150
HVOF	Diamalloy 3004 Cr ₃ C ₂ -25(Ni 20Cr)	1.8	H ₂ 3.6	3.6	150

3.6 Mikroyapı İncelemeleri için Numune Hazırlanması ve Mikroyapı Çalışmaları

Kaplanan numuneler, mikroyapı incelemeleri için 20x20x10 boyutunda uygun ölçülerde kesilmiştir. Kesme işlemleri Metkon metacut-M250 hassas kesme cihazında yapılmıştır. Kesme diski 1,5 mm kalınlığındaki SiC kesici diskidir.

Kaplanan numunelerden metalografik inceleme için uygun ölçülerde kesilen numuneler dikdörtgen kesit yüzeyleri görünecek şekilde soğuk bakalite alınmıştır. Bakalite alınan numunelerin kesit yüzeyleri parlatma cihazı ile sırasıyla 240-320-400-600-800-1000-1200’lük zımparalama işleminden sonra önce alümina pasta sonra 1 µm elmas pasta ile parlatma işlemleri yapılmıştır. Parlatma işleminden sonra borlana numuneler %2 nital ve %98 saf su çözeltisi ile dağlanarak mikroyapılar ortaya çıkarılmıştır. FS ve HVOF yöntemiyle üretilen kaplamalara dağlama işlemi uygulanmamıştır.

3.6.1 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizleri

Mikroyapı incelemeleri için hazırlanan numunelerin SEM ve EDX analizleri, Bartın Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Merkezi Laboratuvarında bulunan Scanning Elektron Mikroskobu (SEM) cihazıyla yapılmıştır. Kaplama tabakası ve difüzyon bölgesinde oluşan fazlar, SEM cihazına adapte edilmiş olan EDS analiz sistemi kullanılarak belirlenmiştir.

3.6.2 Optik Mikroskopi İncelemeleri ve Borür Tabakası Kalınlık Ölçümleri

Metalografik olarak hazırlanmış numunelerin kaplama yüzeylerinin karakteristiklerinin mikroskopi incelemeleri ve borür tabakası kalınlıklarının ölçülmesi için Huvit 5600 üzerine 3D monte edilmiş profilometre ile belirlenmiştir. Borür tabaka kalınlığı, borlama için geliştirilmiş tabaka kalınlığı belirleme yöntemleri kullanılarak yapılmıştır. Tabaka kalınlığı olarak en dış yüzeyden uç kısmına kadar olan bölge seçilmiş ve tabaka kalınlıkları 10 ölçüm ortalaması alınarak belirlenmiştir.

3.6.3 Borür Tabakasının Sertlik Ölçümlerinin Yapılması

Numunelerin mikrosertlik deneyleri, Huvit 5600 mikrosertlik cihazı ile 10 sn süre ve 100 gf yük kullanılarak yapılmıştır.

Doğru bir sertlik değerinin elde edilebilmesi için, borür tabakası kesit yüzeyinden ana malzeye doğru, her bir numunenin yüzeye eşdeğer uzaklıktaki noktalarından 3'er adet sertlik ölçümünün aritmetik ortalaması alınmış ve elde edilen bu değer o noktanın değeri olarak verilmiştir. Ayrıca elde edilen veriler, yüzeyden mesafeye, borlama sıcaklıklarına ve borlama sürelerine göre hazırlanan grafikler ile de incelenmiştir.

3.6.4 X ışınları Analizi

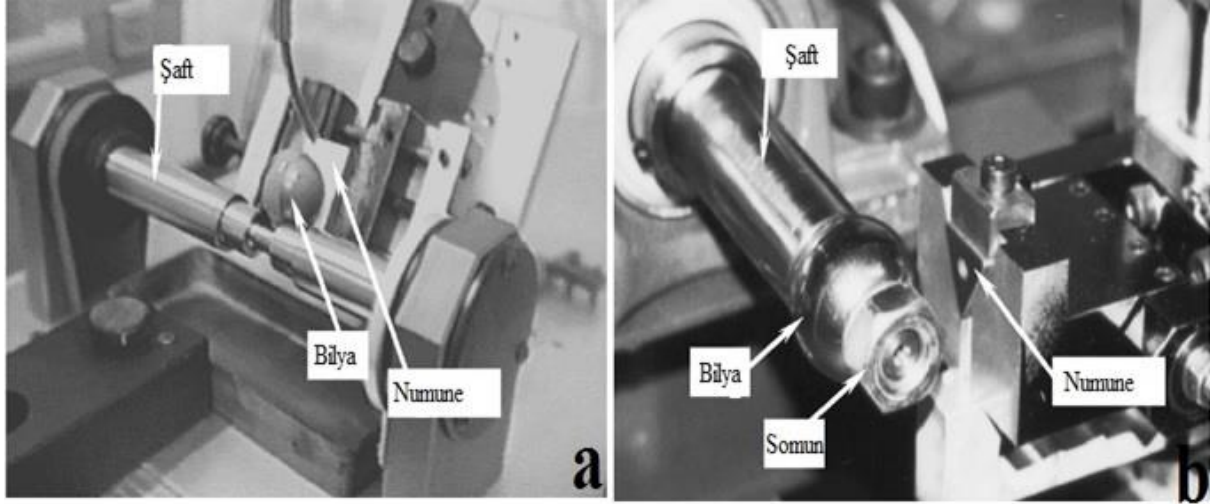
Kaplama tabakasında oluşan fazları belirlemek amacıyla Rigaku RadB-DMAX II bilgisayar kontrollü XRD cihazı kullanılmıştır. Yapılan kaplamaların etkilerini görmek amacıyla borlama, FS ve HVOF ile üretilen kaplamaların tamamı incelenmiştir.

3.7 Mikro-Abrasyon Aşınma Testinin uygulanması

Aşınma deneylerinde serbest ve sabit top mikro-abrasyon aşınma yöntemleri kullanılması öngörülmüştür. Ancak yüzey sertlikleri proje önerisinde hedeflenen (1000-1500 HV) sertliğin üzerinde olması nedeniyle serbest top mikro-abrasyon deneylerinde malzeme yüzeylerinde belirgin bir aşınma izleri tespit edilmediğinden deneylerde sabit top mikro-abrasyon testleri 1N, 2N ve 3N yükleri uygulanarak yapılmıştır. Sondaj matkaplarının çalışma koşulları endüstriyel uygulayıcılar (sondajcılar) ile görüşülmüş ve %10-%50 aralığında abrasif aşındırıcı (Al_2O_3 ve SIC) eklenerek simule edilmiştir.

Bu deney yönteminin kullanılmasının sebebi yüzeyde oluşturulan sert borür katmanının aşınma direncini doğru bir şekilde tespit edebilmesi ve üretilen numunelerin sert kaya ve partiküllerin aşındırmasına maruz kalması sebebiyledir. Sabit top mikro-abrasyon test yönteminde bilya üzerine belirli yükler uygulanmaktadır (Şekil 6b). Bilyaların numune üzerinde oluşturduğu dairesel kesitli iz SEM veya optik mikroskop altında ölçülerek, elde edilen değerler ile belirli eşitlikler kullanılarak hacim kaybı hesaplanmakta ve numunenin aşınma dayanımları belirlenmektedir.

Deneylerde 1" (25,4mm) çapında AISI 52100 rulman çeliği kullanılmıştır. Aşındırıcı olarak üç farklı 5 µm boyutta Al₂O₃ ve SiC aşındırıcı solüsyon kullanılmıştır. Bilya şaft hızı olarak 90-140 d/dk (rpm) lık hızlar kullanıldı. Aşınma testi sonrası yüzeylerde meydana gelen aşınma izleri SEM Mikroskobu kullanılarak aşınma tipleri tespit edildi.

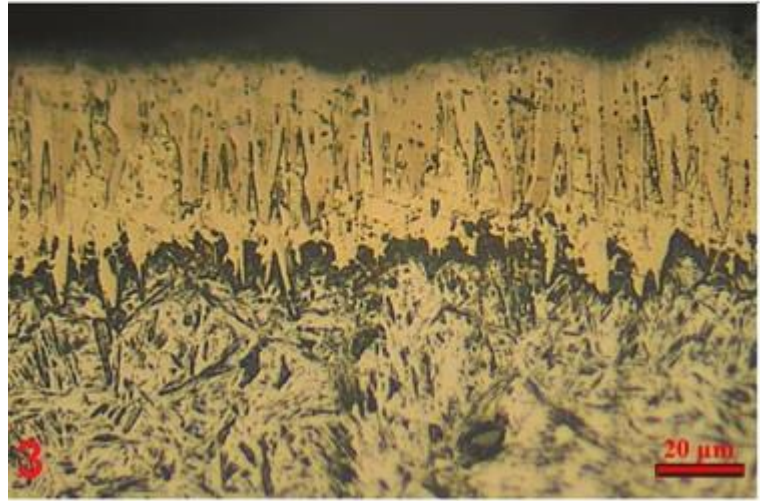
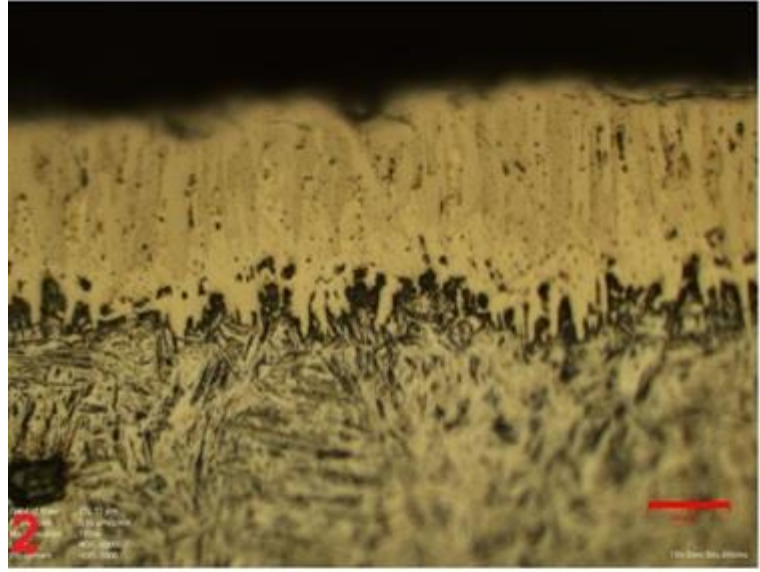
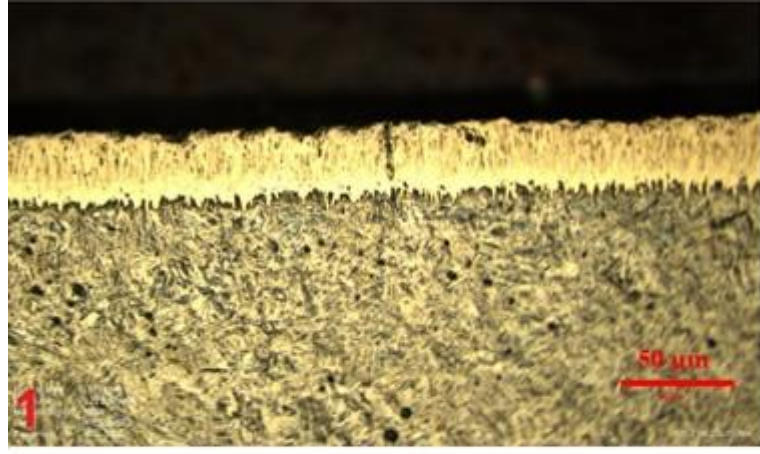


Şekil 6 a) Serbest top mikro-abrasyon test yöntemi **b)** Sabit top mikro-abrasyon test yöntemi [14].

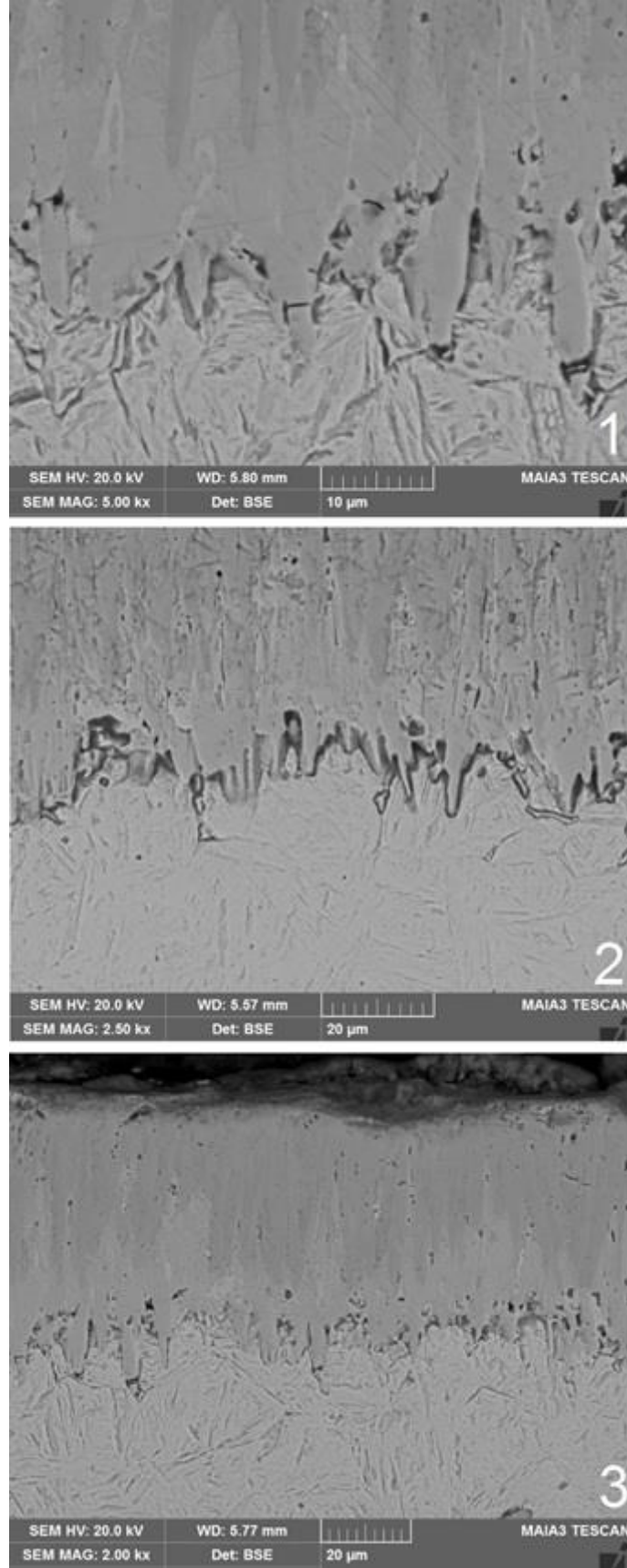
4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Borlanan Numunelerin Metalografi Çalışmaları ve Yüzey Karakterizasyonu

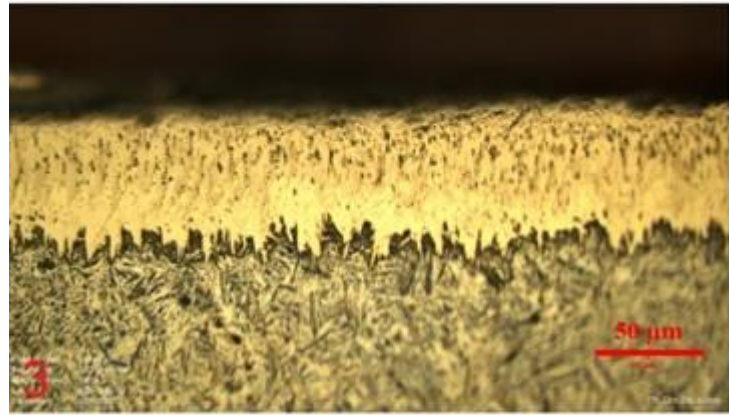
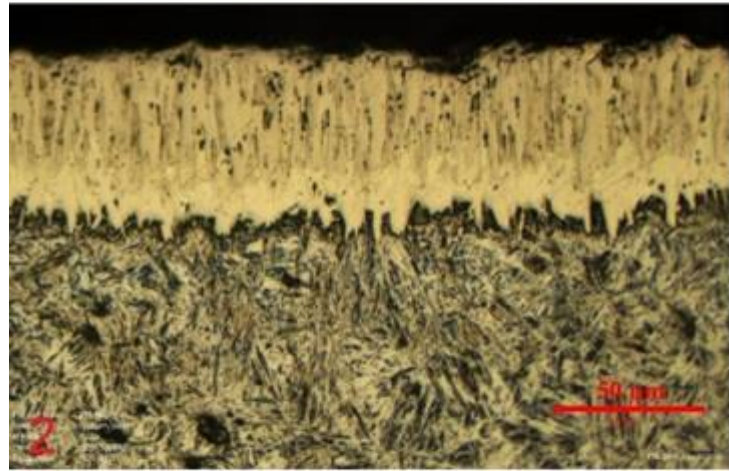
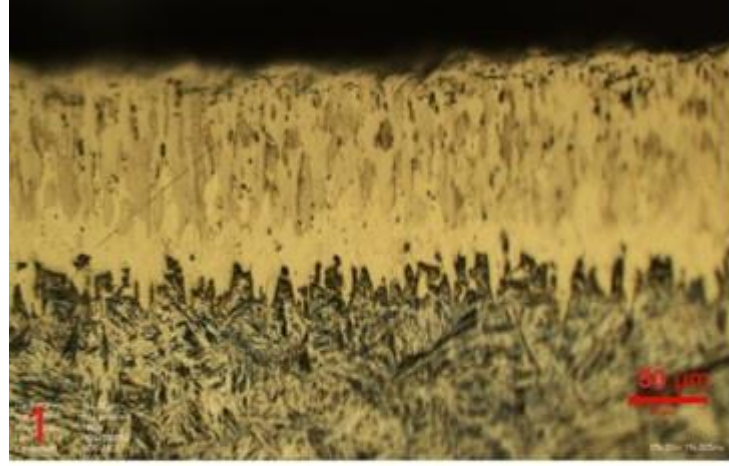
Şekil 7- Şekil 12'de 1000 °C'de sırasıyla 30, 45, 60 dakika süresince Nanobor tozu ile borlanmış çelik dişli sondaj matkaplarının (I, II, III) optik mikroskop ve SEM ile çekilen kesit mikro yapıları verilmiştir. Meydana gelen borür tabakasının istenen testere dişi şeklinde oluştuğu tespit edilmiştir. Görüntüleme incelemelerinde yüzeye yakın koyu bölgelerin FeB, daha açık renkli bölgelerin ise Fe₂B fazını göstermektedir. Literatürde de çeliklerin borlanması sonucunda FeB ve Fe₂B fazlarının meydana geldiği ve mikroyapı incelemeleri sonucunda bu fazların birbirinden belirgin bir şekilde ayrıldığı belirtilmiştir [33-35].



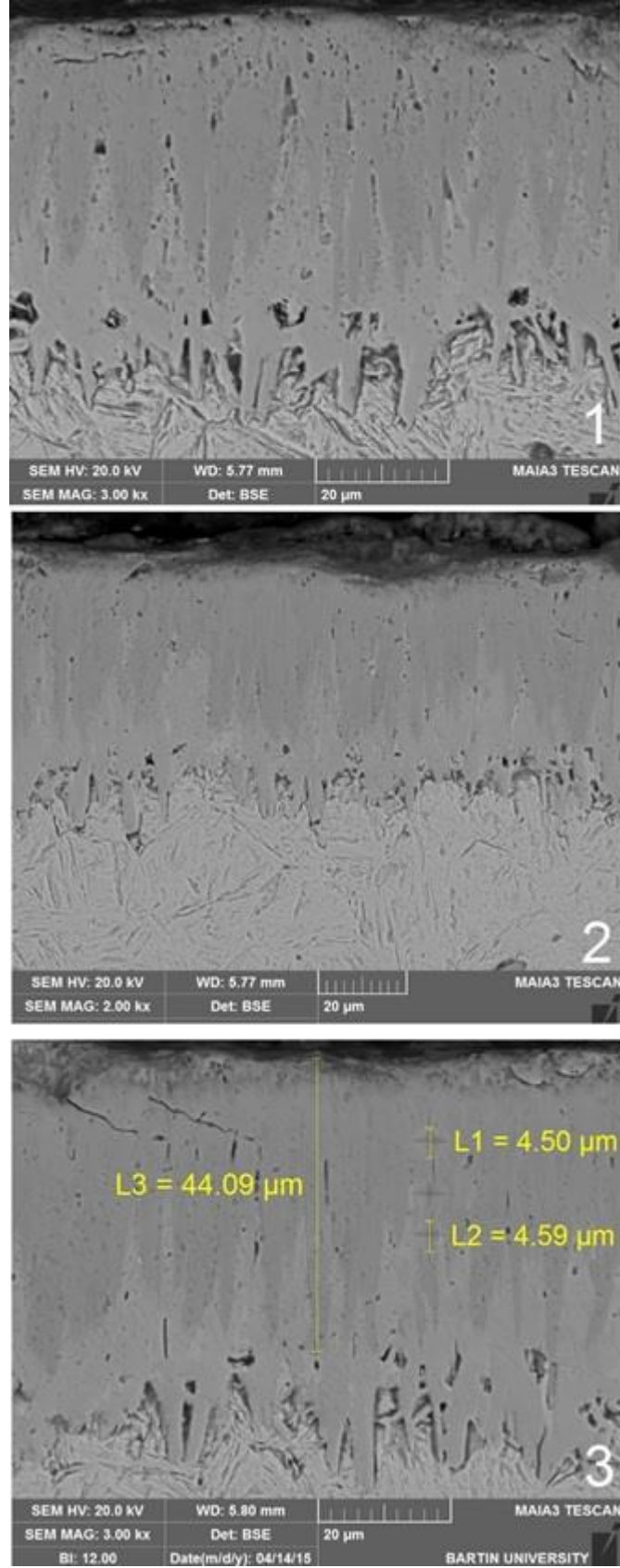
Şekil 7. 1000 °C'de 30 dakika süresince borlanan numunelerin Pin kısmından alınan umunelerin optik görünümü.



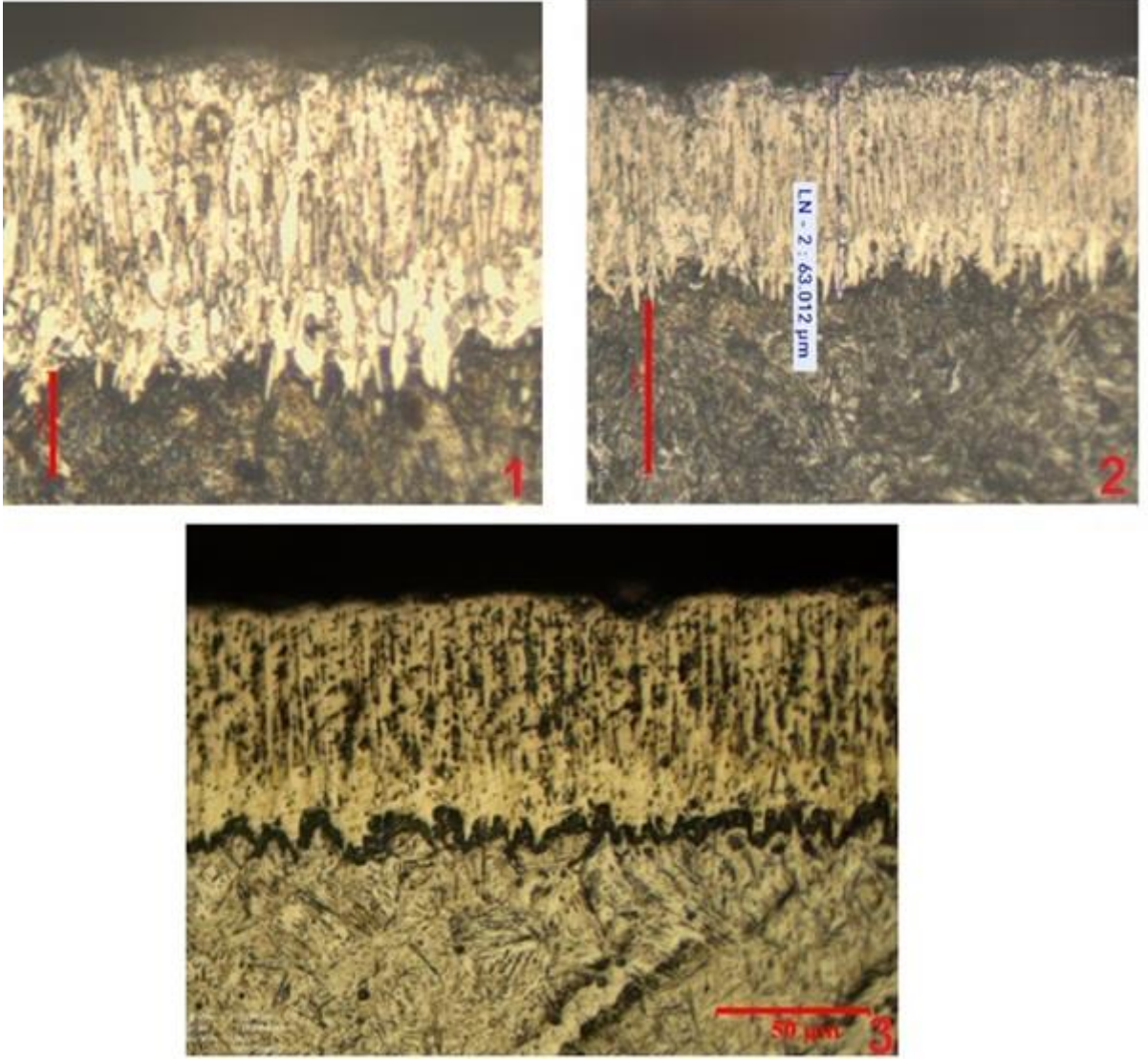
Şekil 8. 1000 °C'de 30 dakika süresince borlanan numunelerin gövde kısmının SEM görünümü



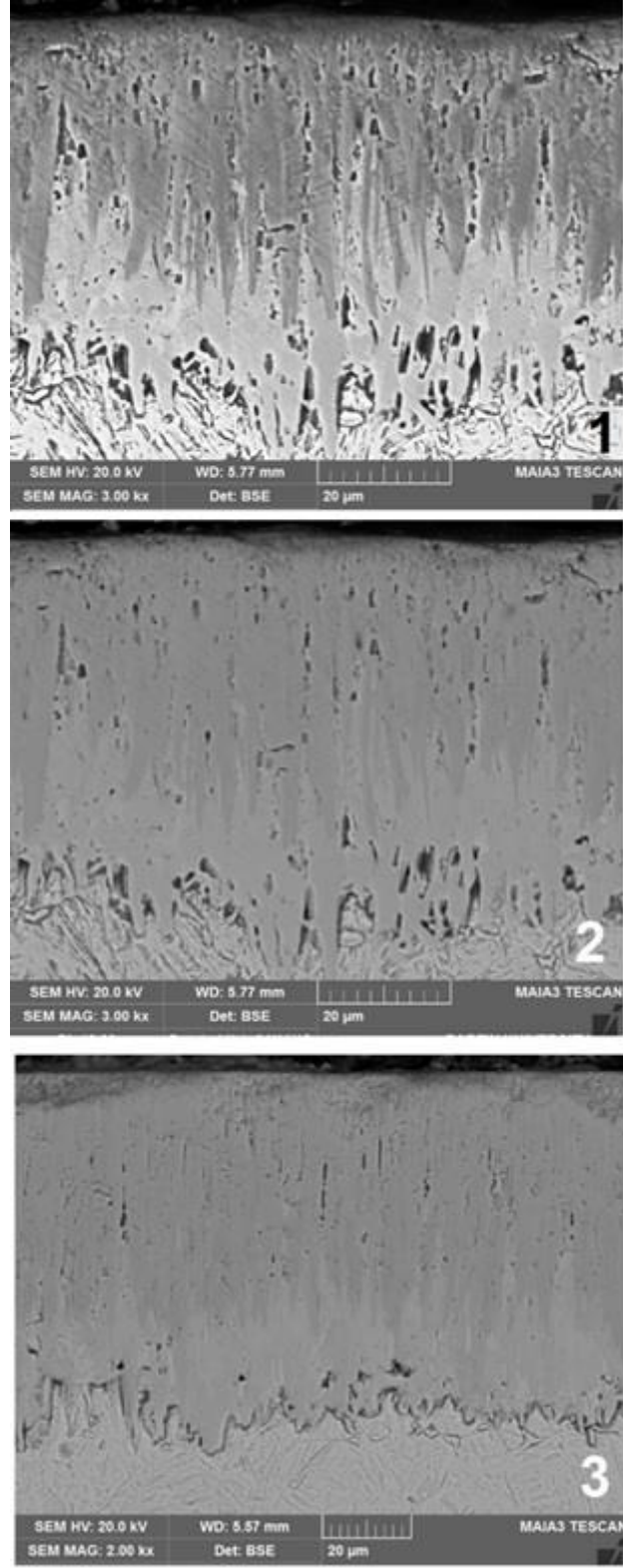
Şekil 9. 1000 °C'de 45 dakika süresince borlanan numunelerin dişli kısmının optik görünümü



Şekil 10. 1000 °C'de 45 dakika süresince borlanan numunelerin pin kısmı SEM görünümü



Şekil 11. 1000 °C'de 60 dakika süresince borlanan numunelerin gövde kısmı optik görünümü



Şekil 12. 1000 °C'de 60 dakika süresince borlanan numunelerin dişli kısmı SEM görünümü.

Mikro yapı resimlerinden görüldüğü üzere borlama işlemi sonrasında optik incelemelerde, borür tabakasının tüm numunelerde homojen bir kalınlığına sahip olduğu, kolonsallığın işlem süresine göre farklılık arz ettiği gözlemlenmiştir. Kaplama tabakası ve matrisin birbirlerinden

ayrıldığı görünse de sertlik ölçümleri sonucunda kaplama tabakasının altındaki bölgede esas metalden daha sert bir bölge (geçiş bölgesi) olduğu tespit edilmiştir. Borlama sıcaklığı sabit, borlama süresinin artmasıyla birlikte borür tabaka kalınlıklarında artışlar gözlenmiştir. Literatürde de borlama sıcaklık ve süresinin artmasıyla borür tabaka kalınlığının arttığı bilinmektedir [36,37]. Bu durum difüzyon kontrollü tüm kaplama ve yüzey işlemlerinde beklenen bir sonuçtur [38,39]. Nano bor tozuyla gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucunda FeB fazının baskın faz olduğu, bunun altında Fe₂B fazının olduğu mikro yapı resimlerinden açıkça görülmektedir. Düşük piklerde de, CrB, Cr₂B, NiB Mo₂B ve MnB fazlarının olduğu XRD analizleri ile belirlenmiştir. Bu durum literatürde yer alan bulgularla uyum içerisindedir [39-42].

4.1.1 Borür tabakası Kalınlıkları

Tabaka kalınlıkları borlanmış numunelerin mikro yapı görüntülerinden Huvit 5600 üzerine 3D optik mikroskop üzerine bağlı profilometre ile 10 farklı yerden alınan değerlerin ortalamasıyla hesaplanmıştır. Çelik dişli sondaj matkaplarının pin, gövde ve çelik dişli kısımlarından alınan numuneler üzerinde birbirlerine yakın kaplama tabakaları elde edilmiştir (Tablo 5). Bu durum çelik dişli sondaj matkaplarının kimyasal bileşim olarak tüm kısımlarının yakın kimyasal özelliklere sahip olduğunu gösteren spektral analiz sonuçlarını doğrular niteliktedir.

Tablo 5. Tüm deney koşullarında ölçülen ortalama borür tabakası kalınlıkları

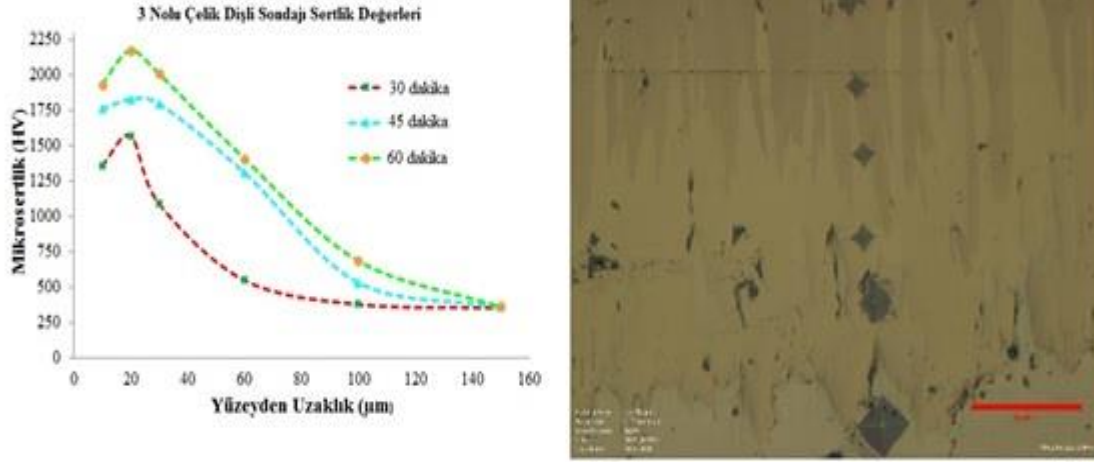
Çelik dişli Sondaj ucu	Sıcaklık (°C)	Süre (dakika)	Kaplama tabakası (µm)		
			Pin	Gövde	Dişli
I	1000	30	33,26	32,65	32,25
		45	50,83	49,90	49,70
		60	60,20	59,30	59,10
II	1000	30	44,10	42,60	42,00
		45	55,20	54,90	54,30
		60	63,01	60,50	60,10
III	1000	30	43,53	43,10	42,75
		45	55,90	55,10	54,95
		60	72,55	72,40	71,90

Tablo 5 incelendiğinde Borlama süresinin artmasıyla birlikte tüm dişli sondaj matkaplarında borür tabaka kalınlıklarının arttığı görülmüştür. Bu durum literatürle uyum göstermektedir [36,37,39,43]. En düşük bor tabaka kalınlığı 30 dakikada I numaralı olarak adlandırılan ve içerdiği alaşım elementleri bakımından diğer sondaj uçlarına göre daha fazla alaşım elementi

içeren numunede elde edilmiştir. En yüksek kaplama tabakası kalınlığı ise 60 dakika süre ile borlanan ve III numaralı sondajdan alınan numunede görülmüştür. Literatürde de alaşım elementlerinin (özellikle C) artışı ile borür tabaka kalınlıklarının düştüğüne dair birçok çalışma bulunmaktadır. Elde edilen sonuçlar literatür ile de uyumludur [17,41,44-48].

4.1.2 Borlanan Numunelerin Mikrosertlik Değerleri

Şekil 13'de borlanmış numunelerin yüzeyden içeriye doğru sertlik dağılımlarını gösteren mikro yapı sertlik iz görünümü ve 3 nolu matkap ucunun borlama sonucu oluşan kaplama tabakasından elde edilen sertlik değerleri grafiği grafikler görülmektedir. Nanobor tozuyla kutu sementaston borlama işlemi sonucunda oluşan FeB, Fe₂B, CrB ve Cr₂B, TiB, TiB₂ (Tablo 2) fazlarından dolayı yüzey sertlikleri değeri 1386-2176 HV aralığında borlama süresine bağlı olarak değişmiştir. TiB ve TiB₂, CrB ve Cr₂B fazları FeB ve Fe₂B fazlarına göre daha yüksek sertlik değerlerine sahip olduğu bilinmektedir [17,42.49].



Şekil 13. 3'nolu sondaj matkabından alınan sertlik değerleri ve sertlik iz görünümünün optik resmi

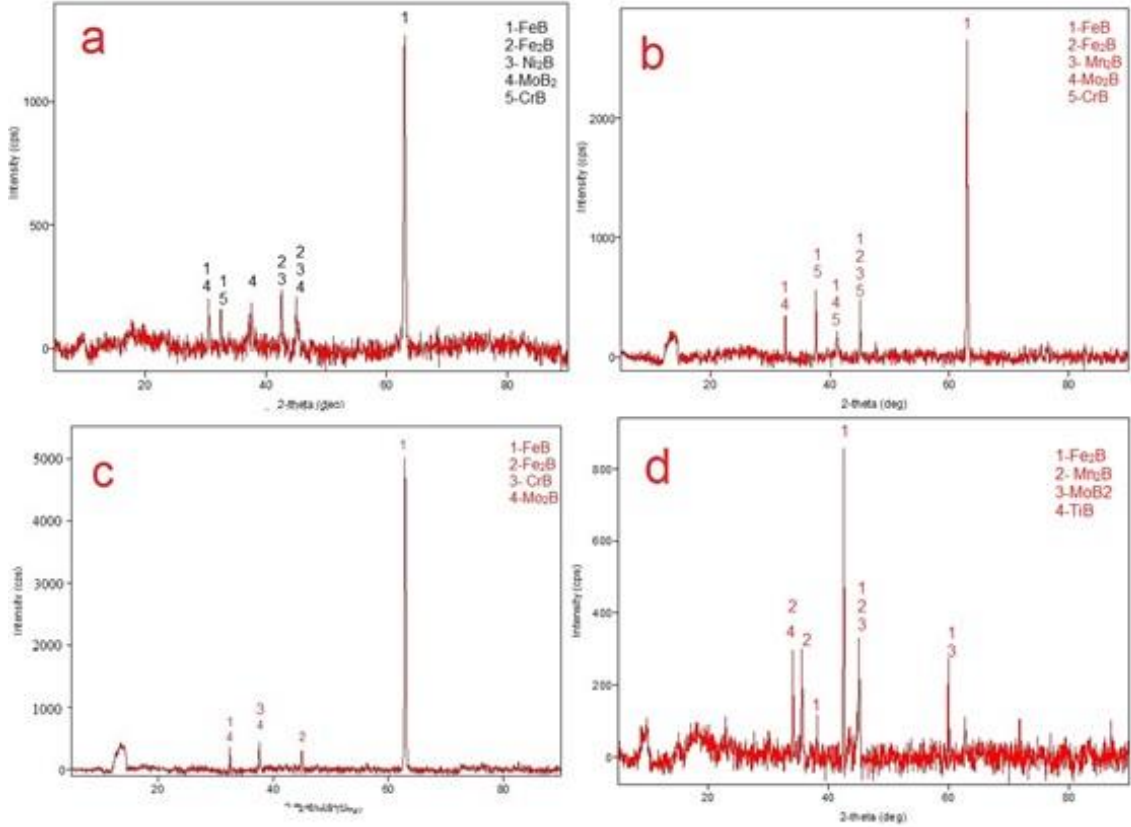
Borlanmış sondaj uçlarının sertlik değerleri 30, 45, 60 dakika için sırasıyla, 1386-1830, 2176 HV_{0,05} arasında değiştiği tespit edilmiştir. Borlama süresindeki artışın aşınma dirençlerini artırması gözlemlendikten sonra 75, 90 ve 105 dakikalık 3 borlama parametresi daha uygulanmıştır. Bu borlama parametrelerinde ise 2205, 2251 ve 2333 HV sertlik değerleri elde edilmiştir. Literatürde olduğu gibi borlama süresinin artmasıyla birlikte bor tabakalarının sertlik değerleri artmıştır. Literatürde Ekabor tozları ile 1500- 2000HV gibi sertlikler elde etmek için 8 saat gibi süreler gerekmekte iken Nano boyutlu bor tozları ile 1 saat'te bu sertlik değerine ulaşılmıştır.

Herhangi bir işlem görmemiş olan çelik dişli sondaj matkapları ortalama 350 HV civarında oldukları göz önünde bulundurulduğunda sertlik artışının 5-6 kat aralığında olduğu tespit edilmiştir. Aşınma dayanımı için sertliğin önemli bir parametre olduğu bilindiğinden bu sertlik

artışının malzemelerin aşınma direncine olumlu katkıda bulunacağı öngörülmektedir. Projede hedeflenen 1000-15000 HV sertlik değerinin üzerinde bir sertlik değeri elde edilmiştir.

4.1.3 Borlanmış Sondaj Matkaplarının X-Işınları Difraksiyon Analizi

Şekil 14a-c de Nano bor tozu ile şekil 14d'de ise Ekabor 2 tozu ile borlanmış dişli çeliklerin XRD analizleri görülmektedir.



Şekil 14. a) 30 dakika b) 45 dakika c) 60 dakika Nanobor tozu ile d) Ekabor tozu ile 8 saat süre ile borlanan numunelerin xrd analizleri

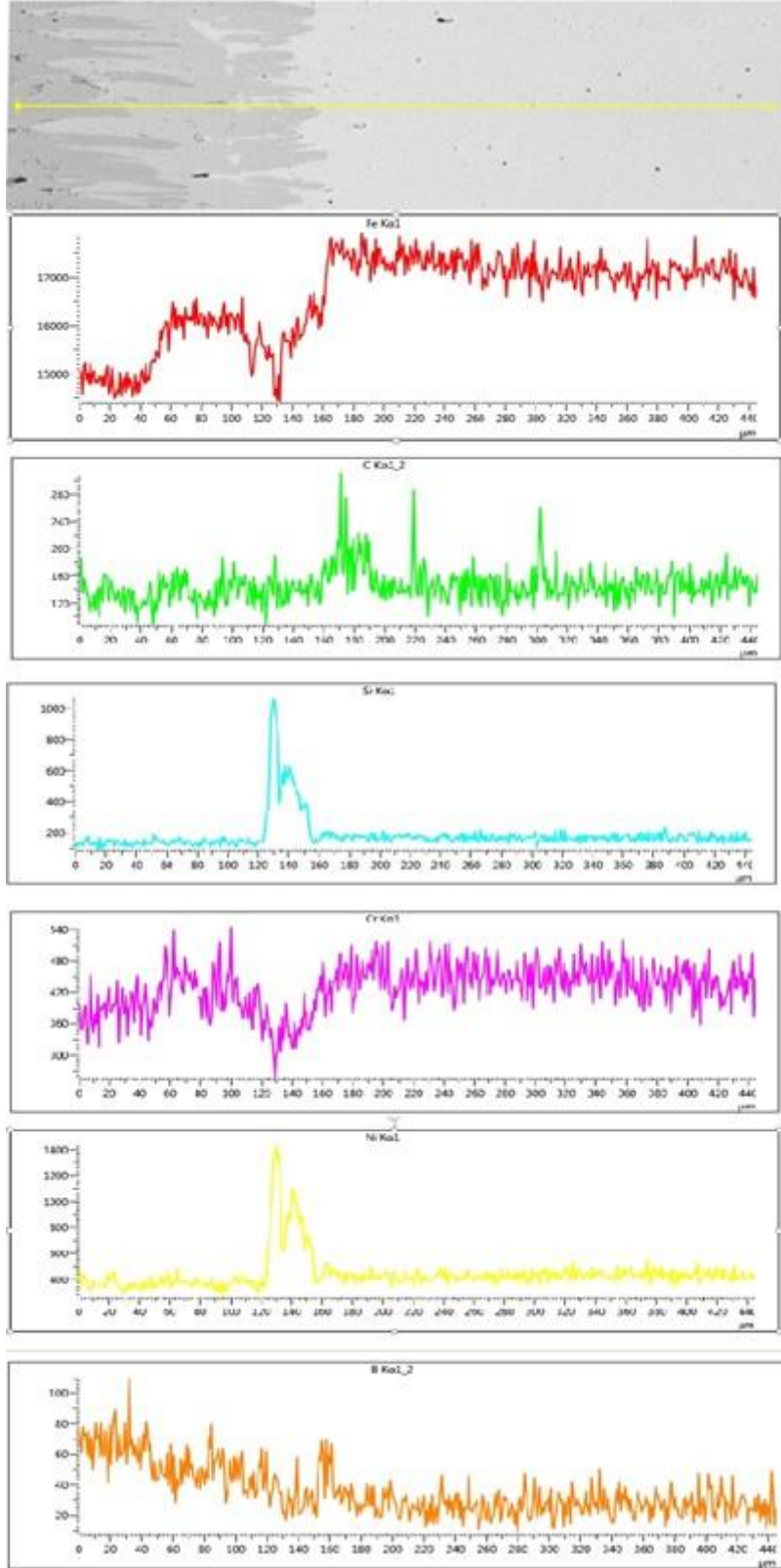
Borlama işlemi sonucunda tüm sürelerde çift fazlı (FeB+ Fe₂B) fazlarının baskın fazlar olduğu bunların yanında CrB,Cr₂B,TiB,Mo₂B, Mn₂B fazları elde edilmiştir. Artan süre ile beraber oluşan faz FeB fazı şiddetinde artış görülürken Fe₂B fazında azalma tespit edilmiştir. Artan süre ile beraber oluşan faz sayısı (Mo₂B,Mn₂B vb) azalmıştır. Bu durumun yüzeyde yoğunlaşan FeB fazından dolayı bu fazların belirlenemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Chen,2008 ve Yu 2005 ortamdaki bor konsantrasyonunun artması FeB fazı oluşumunu artırırken, bor atom potansiyelinin düşmesiyle tek bileşenli Fe₂B fazı oluştuğu bildirmiştir [50,51].

Çalışmada FeB fazının baskın faz olması %99,7 saflıkta kullanılan Nanobor tozuna atfedilebilir. Çünkü aynı malzemeler Ekabor 2 tozu ile 8 saat süre ile borlama işlemine tabi tutulmuş ve süre 16 kat daha yüksek olmasına rağmen yapıda hiç FeB fazına rastlanmamıştır

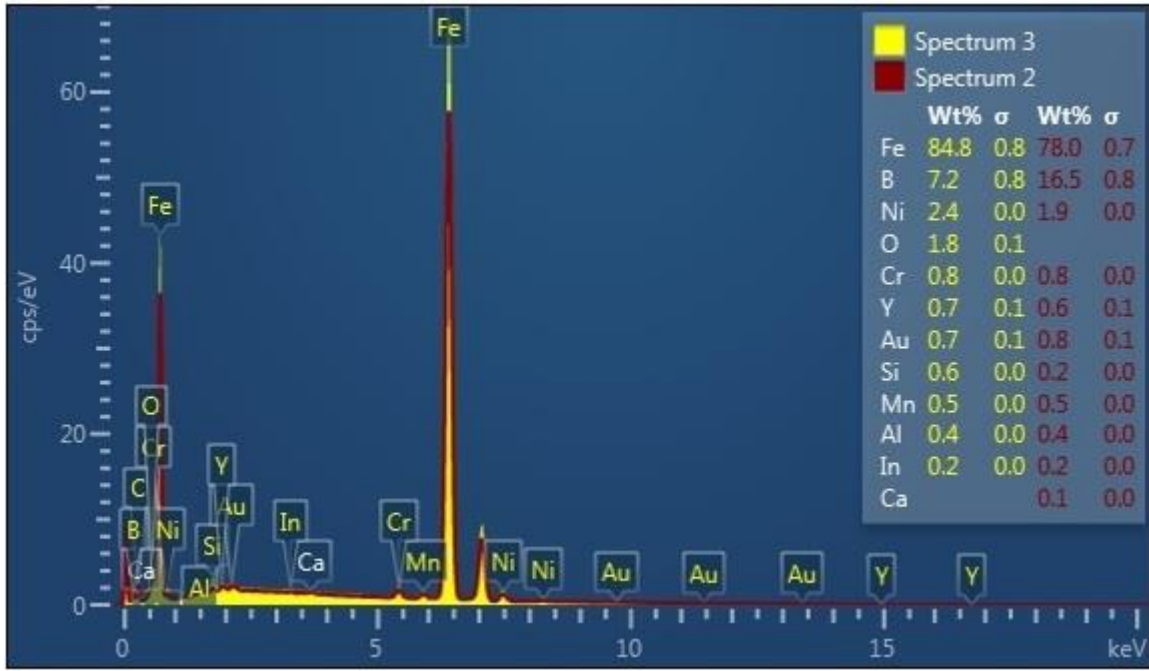
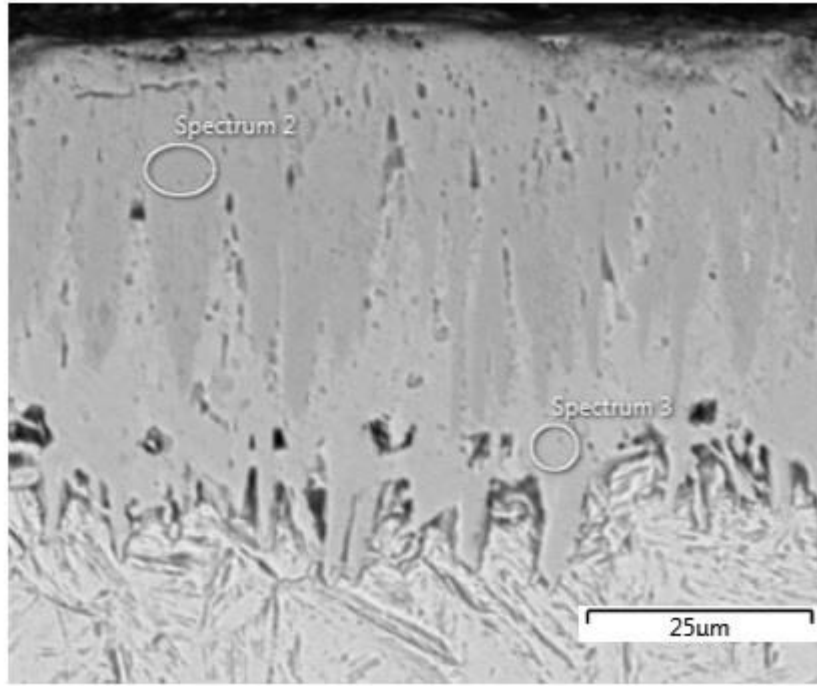
(Şekil 14d). Bu durum esas malzemenin borlama süresi ve kimyasal bileşiminden ziyade borlama malzemesinin kimyasal içeriğinin oluşacak fazlar üzerinde çok daha etkili olduğunu göstermektedir.

4.1.4 Borlanmış Dişli Çeliklerinin EDS Analiz Sonuçları

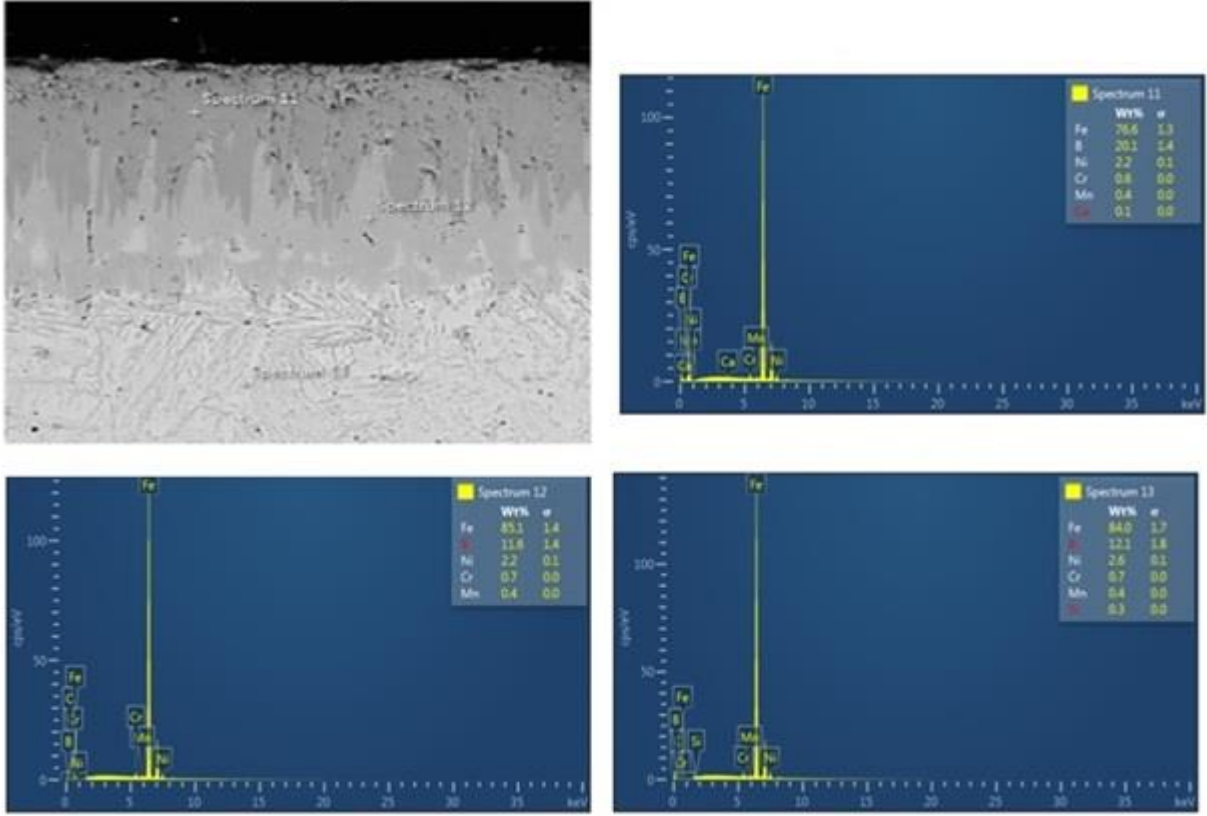
Şekil 15 numunenin tamamından ve Şekil 16-17'de ise kaplama bölgelerinden alınan EDS analizleri görülmektedir. EDS analizi sonucunda numunede ve kaplama bölgelerinde Fe, B, C, Cr, Ni, Mn ve az miktarda Si elementine rastlanmıştır.



Şekil 15. 1000°C 60 dakika süre ile borlanan numunenin EDS analizi



Şekil 16. 1000°C 45 dakika süre ile borlanan numunenin kaplama bölgesi EDS analizi

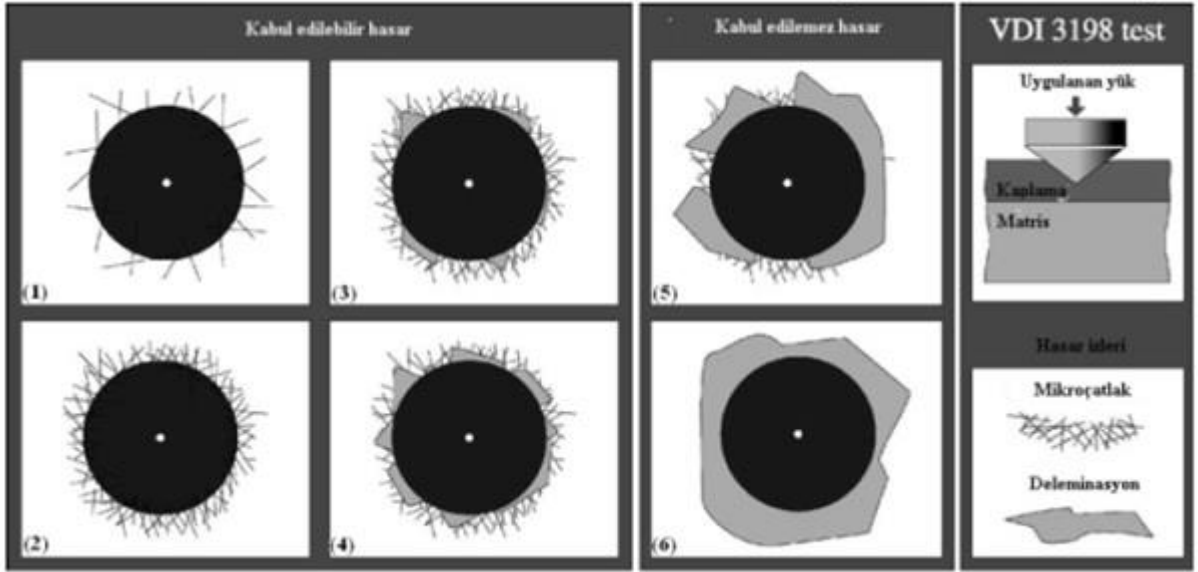


Şekil 17. 1000 C'de 60 dakika süre ile borlanan numunenin kaplama ve difüzyon bölgesi EDS analizi

İncelemeler sonucunda mikroyapılarda testere dişi şeklindeki kolanlarda farklı bileşiklerin oluştuğunu görmek mümkün olmuştur. Kaplama tabakasının dış yüzeyinin koyu renkli alanlar FeB fazının olduğu düşünülen kısımdan Spektrum 2 yapılan analiz FeB olduğunu göstermiştir. Spektrum 3 daha iç kısımda ise açık renkli alanların Fe₂B fazının varlığını göstermektedir. Spektrum 13 de %12,1 bor bulunması sertlik incelemelerinde bu bölgenin 685 HV sertliğinde olması optik ve SEM incelemelerinde görünmeyen geçiş bölgesinin kaplama tabakasının altında oluştuğunu göstermektedir. EDS sonuçlarından elde edilen Cr, Ni, Mn elementlerinin varlığı XRD analizlerinde elde edilmesi CrB, Cr₂B, MnB, NiB vb. fazların varlığını destekler niteliktedir.

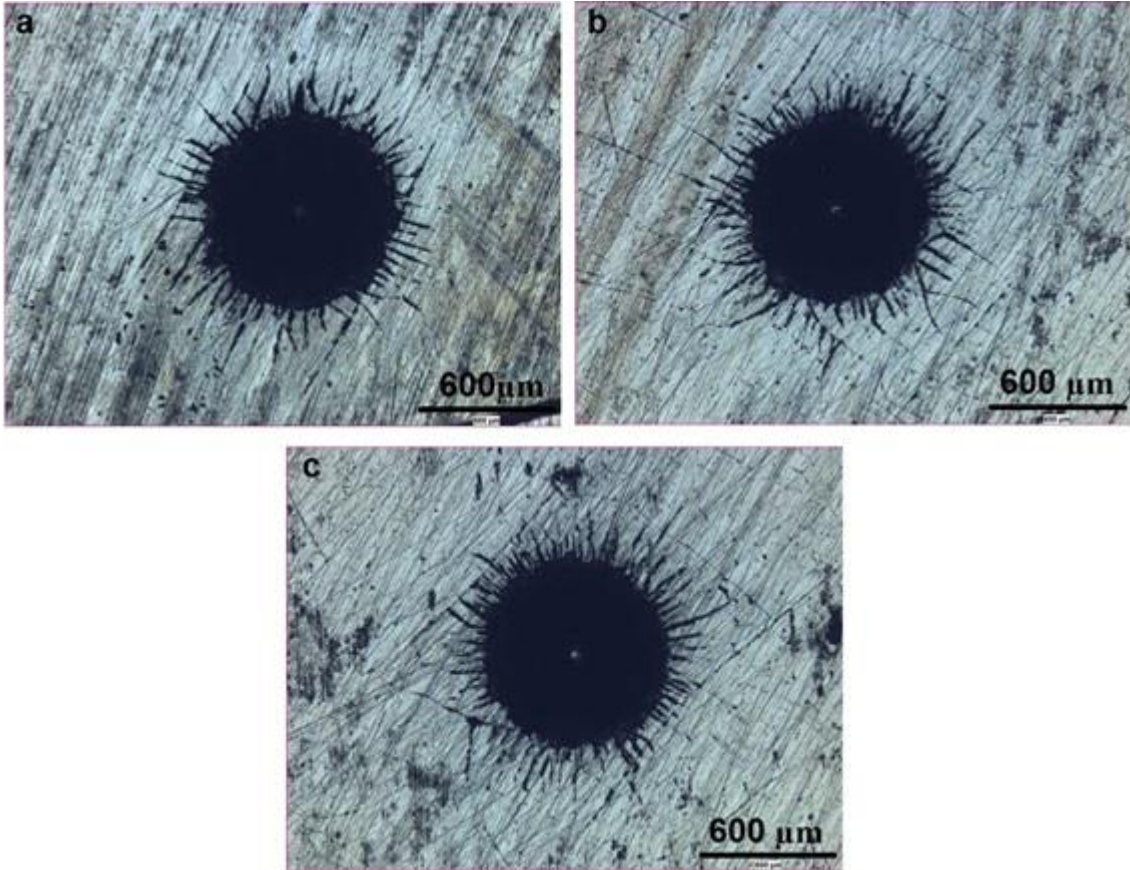
4.1.5 Borlanmış Numunelerin Adhezyon Testleri

Borlanmış numunelerdeki borür tabakalarının adhezyon davranışı Daimler-Benz Rockwell-C indentasyon testi (VDI 3198) ile belirlenmiştir. Test sonucu ortaya çıkan hasar görünümlerinin haritaları Şekil 18'de gösterilmiştir. Bu haritaya göre 1-4 şekiller adhezyon bakımından kabul edilebilir. 5 ve 6 ise kabul edilemez olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 18. VDI 3198 indentasyon testi [52].

Borlanmış numunelere uygulanan 150 kg'lık yük sonucunda yüzey görünümleri Şekil 19 da verilmiştir.



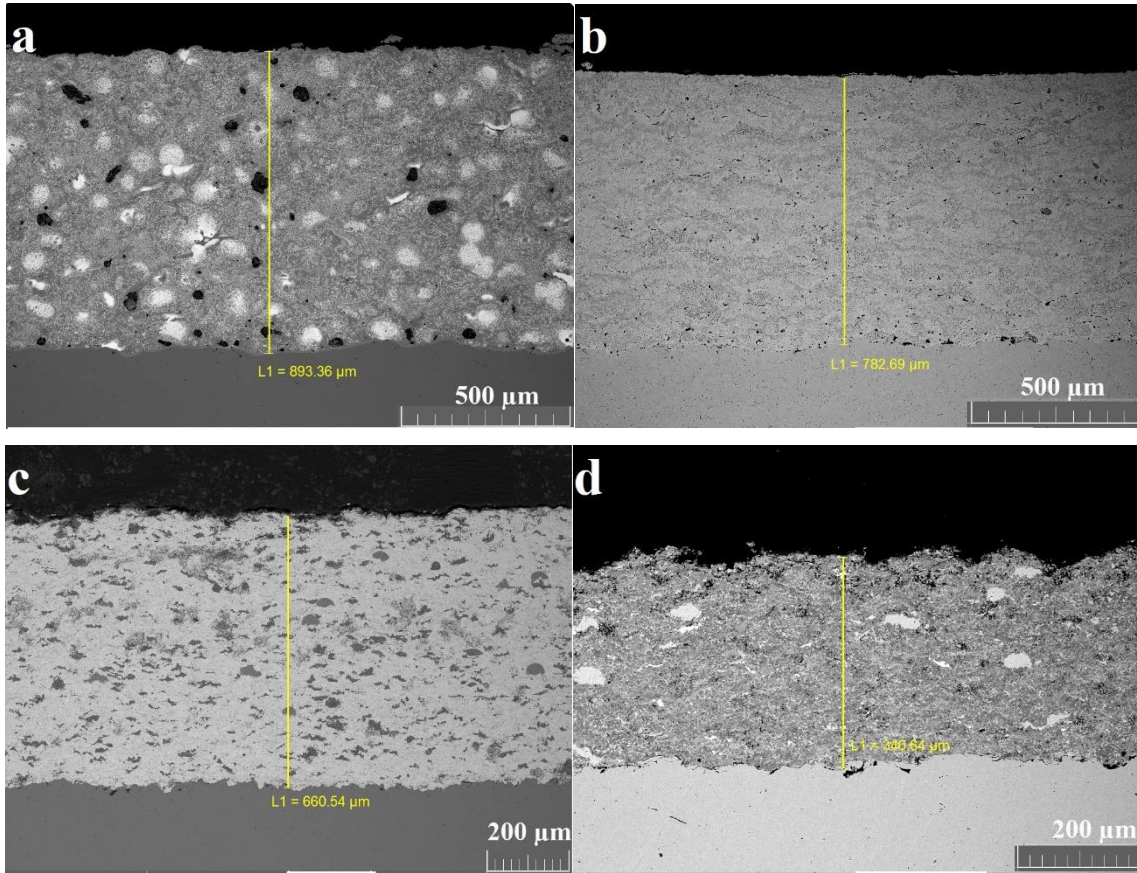
Şekil 19. 1000 °C'de a) 30 dk, b) 45 dk ve c) 60 dk süre ile borlanmış malzemelerin adhezyon testi sonrası yüzey optik görünümleri.

Şekil 19 incelendiğinde oluşan kaplama tabakasında sadece mikro çatlaklar görülmektedir. Oluşan mikro-çatlaklar Daimler-Benz tarafından geliştirilen haritanın Şekil 18.1 ve 18.2'e benzediği için kaplamanın yapışması iyi olduğu söylenebilir. Bu nedenle, kabul edilebilir bir kaplamadır.

4.4 Flame Spray ve HVOF kaplamaların Karakterizasyonu

4.2.1 Mikroyapı Çalışmaları

Farklı kaplama tozları ile FS ve HVOF ile üretilen kaplamaların SEM görüntüleri Şekil 20'de verilmiştir.



Şekil 20. a) Flame Spray 36C b) Flame Spray 15F c) HVOF Diamalloy 5849 d) HVOF Diamalloy 3004 tozları ile kaplanmış çelik dişli sondaj matkabı numunelerinin SEM mikroyapı görüntüleri

Kaplamaların mikroyapı resimleri incelendiğinde a,b ve c olarak adlandırılan kaplamaların yoğun olduğu ancak d olarak adlandırılan Cr_3C_2 - 25(Ni-20Cr) tozuyla üretilen kaplama tabakasında oksit, çatlak ve porozitenin yüksek orandaki varlığı göze çarpmaktadır. Bu olumsuzluk kaplamalar için önemlidir. Çünkü tribo-korozyon ortamlarda çalışan takımlarda bu çatlak ve poroziteden dolayı kaplama tabakalarının dökülmesine yol açabileceğinden aşınma

dirençlerini üzerine olumsuz yönde etkiler [53]. Hatta kaplanmayan malzemelerin aşınma direncinden daha az aşınma direnci göstermesine neden olabilir.

4.2.2 Tabaka Kalınlıkları ve Sertlik Değerleri

Kaplamaların tabaka kalınlıkları optik mikroskoba bağlı Clemex analiz cihazı ve SEM cihazı ile ölçülmüştür. Kaplamalardaki sertlik ölçümlerinde aynı bölgelerde farklı sertlik ölçümleri elde edilmiş daha nesnel sonuçlara ulaşılması için aynı bölgeden 10 sertlik değerinin ortalaması alınarak kaplamaların sertliği belirlenmiştir. Kaplamalardan elde edilen bazı özellikler tablo 5’de verilmiştir.

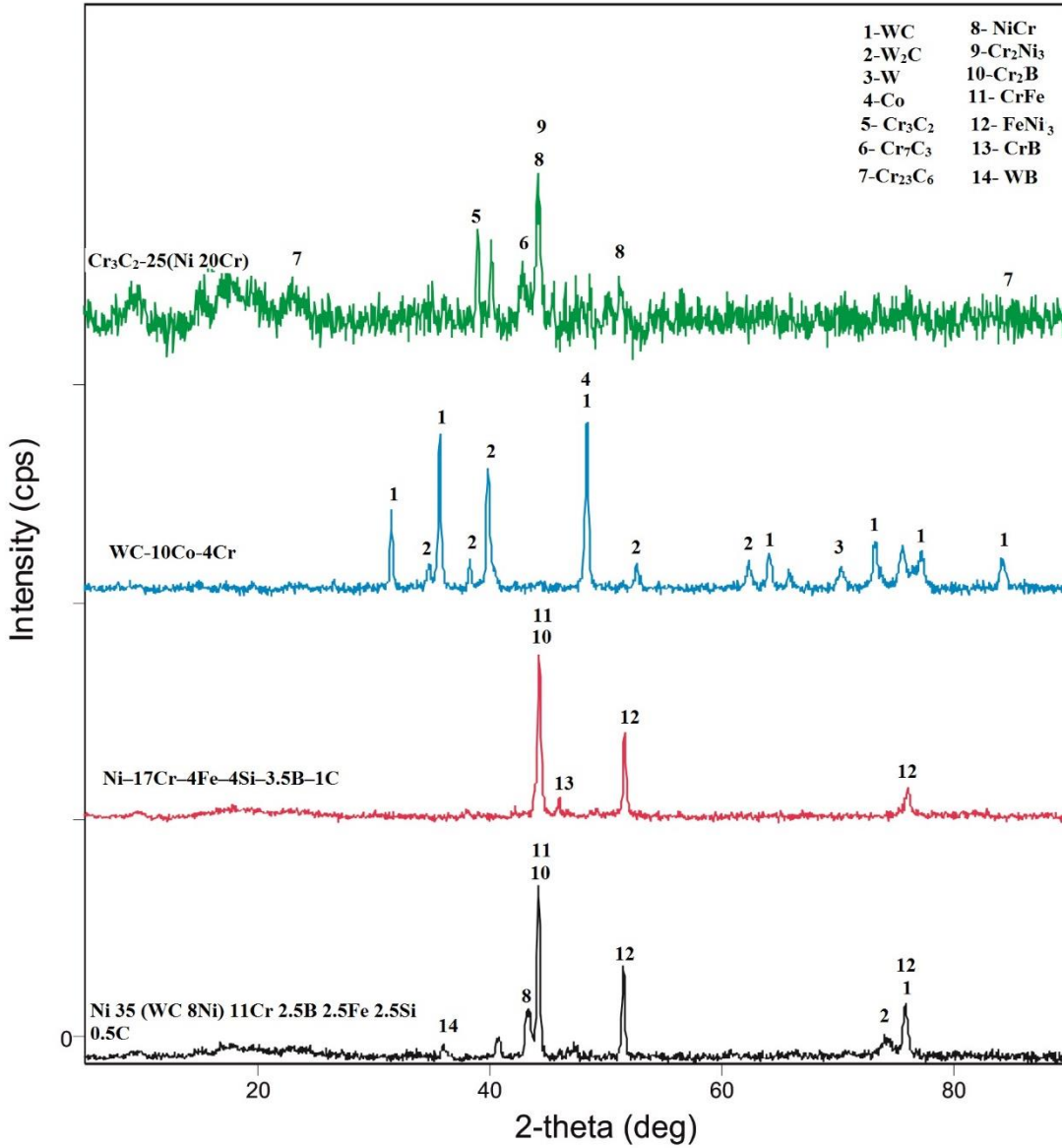
Tablo 6. FS ve HVOF yöntemleri ile üretilen kaplamaların bazı değerleri

Kaplama Prosesi	Kalınlık (μm)	Sertlik (HV)	Pürüzlülük (μm)	Porozite (%)
FS	893.36	771.5	0.15	1.8
FS	782.69	707.6	0.1	1.0
HVOF	660.54	984	0.25	3.2
HVOF	340.64	714	0.3	4.0

Tablo 6 incelendiğinde sertlik değerlerinin 714-984 $\text{HV}_{0.1}$ aralığında olduğu ve kaplamasız takımların sertlik değerlerinin $<355 \text{HV}_{0.1}$ civarında olduğundan 2-2,5 kat sertlik artışı sağlanmıştır. En yüksek sertlik değeri WC-10Co-4Cr tozu ile elde edilmiştir. WC içerikli tozlar ile yapılan kaplamaların daha sert oldukları tespit edilmiştir. Bu durum XRD analizlerinde belirlenen WC fazının oluşumuna atfedilebilir. Elde edilen kaplama tabakaları 893.36 –340.64 μm aralığında ve literatürdeki bir çok çalışmayla yarışır düzeyde olduğu tespit edilmiştir [54, 55, 56]. Yüzey pürüzlülüğünün 0,1-0,3 aralığında porozitenin ise %1-4 aralığında olduğu ve kaplamaların kabul edilebilir kaplamalar oldukları saptanmıştır.

4.2.3 FS ve HVOF kaplamaların XRD analizleri

Şekil 21’de FS ve HVOF ile kaplanmış numunelerin XRD analizleri verilmiştir. XRD analizleri sonucunda kaplama tozlarının içeriğine bağlı olarak çoklu fazlar tespit edilmiştir. Bu fazların termal genleşme katsayıları farklılığı göz önünde bulundurulduğunda aşınma dirençlerinin farklı koşullar için farklı aşınma dirençleri göstereceği belirtilmiştir [23].



Şekil 21. FS ve HVOF ile kaplanmış numunelerin XRD analizleri

Şekil 21 incelendiğinde farklı kaplama toz içeriklerinden dolayı farklı fazların elde edildiği görülmektedir. WC-10Co-4Cr tozu ile HVOF yöntemiyle kaplanan numunede WC, W₂C, W ve Co tespit edilmiştir. W₂C fazının oluşumunun WC'ün kısmi dekarbürizasyon sonucu oluştuğu bir çok araştırmacı tarafından belirtilmiştir [57,58]. Cr₃C₂-25(Ni-20Cr) tozunun HVOF yöntemiyle kaplanan numunede ise önceki çalışmalarda belirtilen [57] Cr₃C₂, Cr₇C₃, Cr₂₃C₆ fazları ile binder NiCr fazına ilaveten Cr₂Ni₃ fazı tespit edilmiştir. Literatürde Cr₃C₂'nin Cr₇C₃ veya Cr₂₃C₆ dekarbürize olmasının kaplama tabakalarının aşınma direnci üzerine bir olumsuz etkisinin olmadığı belirtilmiştir [59]. Ancak WC bazlı kaplamalarda dekarbürizasyon sert karbür ve oksit karbürlerin oluşumuna neden olduğundan aşınma dirençleri üzerine olumsuz etkilerinin olabileceği belirtilmiştir [57,59]. Flame spray ile üretilen kaplamalar incelendiğinde ise bor (B)

ve demir (Fe) elementlerinin faz oluşumlarında etkili oldukları görülmektedir. Bu kaplamaların içerikleri alaşım elemntleri yönünden daha zengin olduğundan CrB, FeNi₃, CrFe, Cr₂B fazları da tespit edilmiştir.

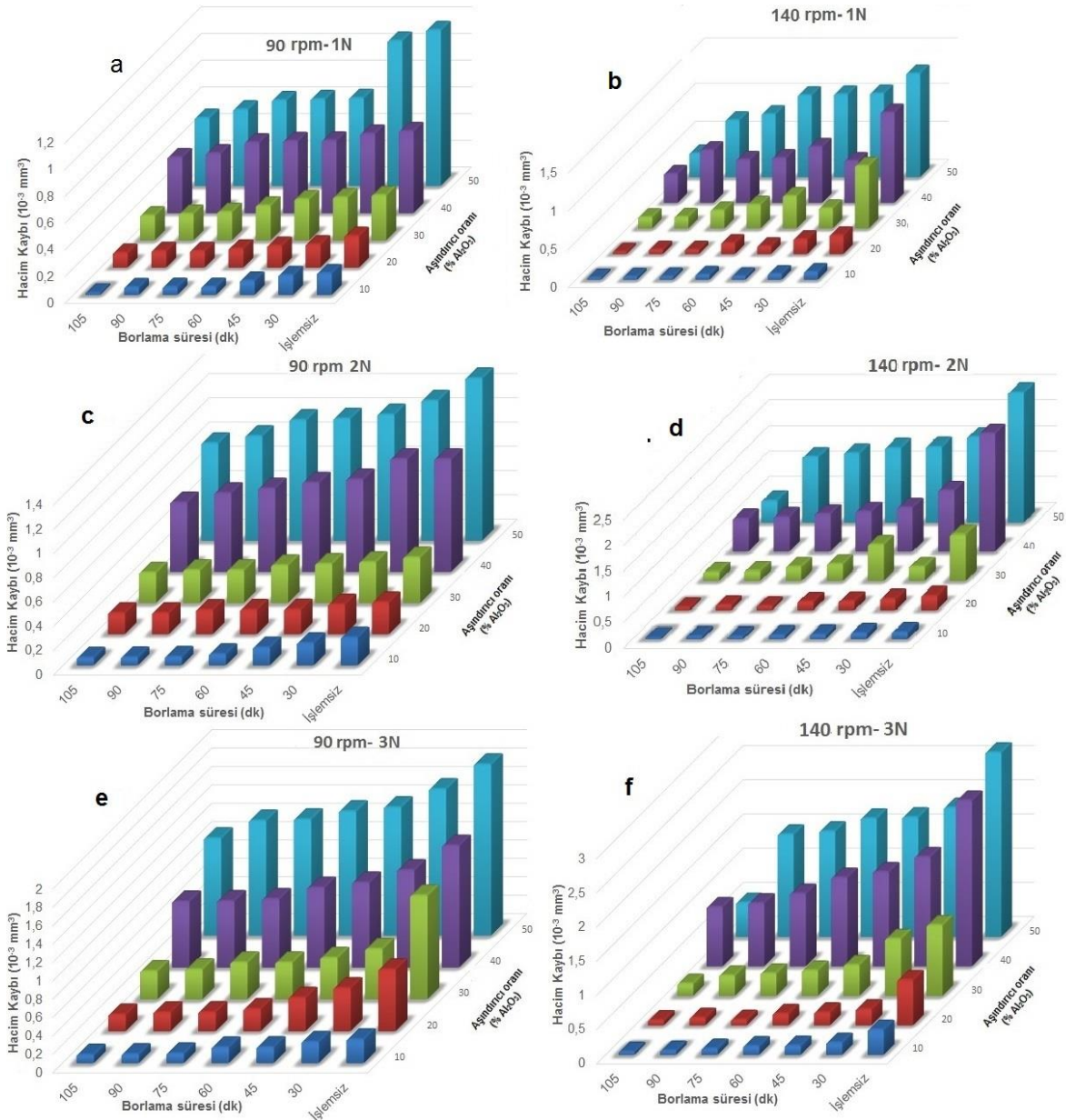
4.3 Mikro-Abrasyon Aşınma Test Sonuçları

Aşınma deneyi öncelikli olarak 30, 45 ve 60 dakika süre ile borlanmış numunelere ve herhangi bir işleme tabi tutulmayan çelik dişli sondaj matkaplarına uygulanmıştır. Borlanmış numunelerin tamamında süre artışı ile aşınma direnci arttığından projede yapılması planlanan 30,45 ve 60 dakika borlama parametrelerine ilaveten 75, 90 ve 105 dakika olmak üzere 3 borlama parametresi daha belirlenmiş ve bu parametrelerde borlanan numuneler aşınma testine tabi tutulmuştur. Ardından mevcut endüstriyel uygulamalarda sondaj matkaplarının yanak kısımlarına uygulanan 4 farklı kaplama tozuyla FS ve HVOF kaplama yöntemleri ile kaplanan malzemelere uygulanmıştır. Böylece nano boyutlu bor tozları ile kaplanan sondaj matkaplarının performansı hem herhangi bir işlem uygulanmayan matkaplarla hem de mevcut endüstride uygulanan kaplamalarla kıyaslanması sağlanmıştır. Aşınma sonuçlarının daha kolay anlaşılır olması için öncelikli olarak borlanmış malzemelerin aşınma deney sonuçları daha sonra da FS ve HVOF yöntemleri ile kaplanmış malzemelerin aşınma deneyi sonuçları şeklinde farklı başlıklarda verilmiştir.

4.3.1 Borlanmış Numunelerin Aşınma Dirençleri

Borlanmış numunelere uygulanan mikro-abrasyon deneylerini yorumlamak için 3 gruba ayırmak faydalı olacaktır. Bunlar: Numunelerin borlama süresine bağlı olarak, aşındırıcı tipine bağlı olarak ve aşındırıcı süspansiyon oranına bağlı aşınma dirençlerinin tespitidir.

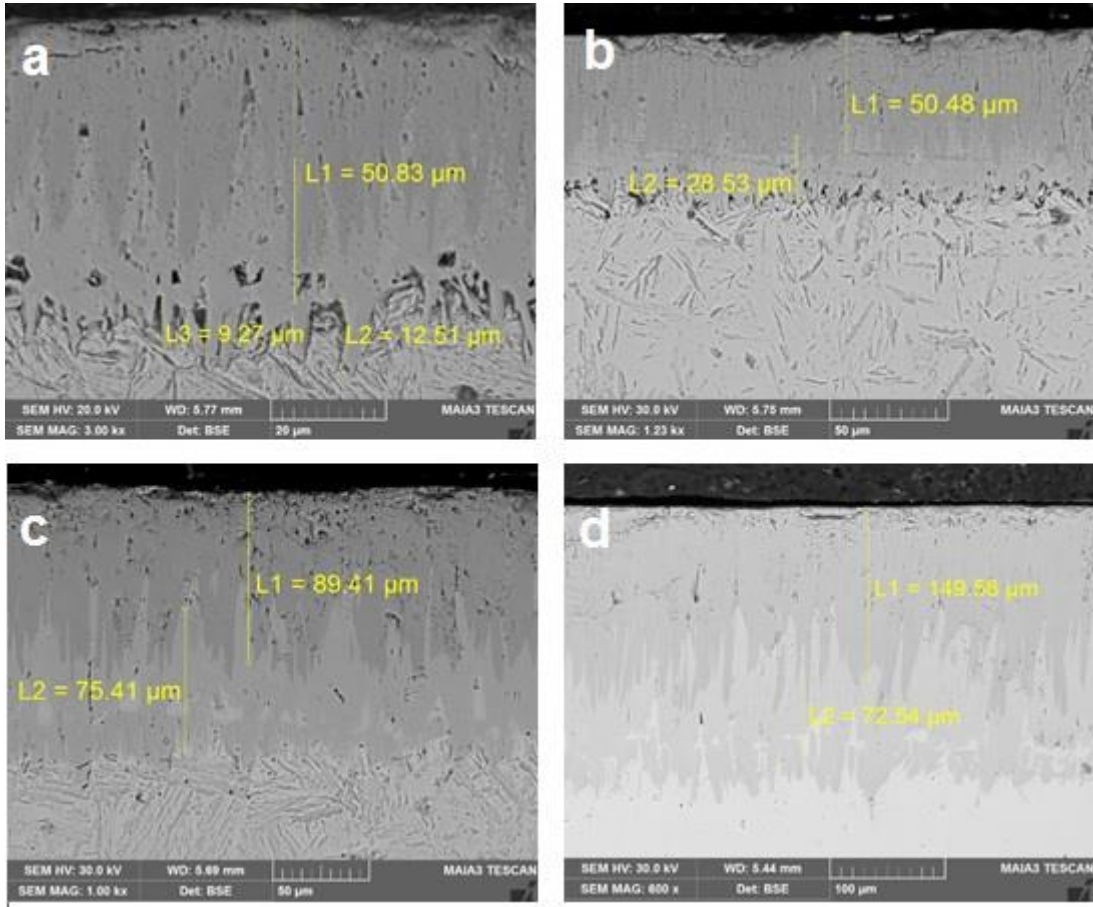
Borlama süresine bağlı olarak numunelerin aşınma performansları değerlendirildiğinde artan borlama süresine bağlı olarak numunelerdeki aşınma direnci artmıştır (Şekil 22 ve Şekil 24).



Şekil 22. Borlanmış numunelerin Al_2O_3 abrasiv aşındırıcı ortamındaki a) 90 rpm b) 140 rpm 1N c) 900 rpm 2N d) 140 rpm 2N e) 90 rpm 3N f) 140 rpm 3N yük altındaki hacim kayıpları

Bu durumu öncelikle artan borlama süresi ile birlikte numune yüzeyinde oluşan FeB ve Fe_2B bor tabaka kalınlıklarının artması ile açıklamak mümkündür. Çünkü 1000°C 'de 30 dakikada $35 \mu\text{m}$ lik bir kaplama tabakası elde edilirken 105 dakikada ise $200 \mu\text{m}$ kalınlığında bir tabaka elde edilmiştir. Artan tabaka kalınlığı numune mikrosertliklerinin de artmasında etkili olmuştur. Maksimum sertlik değerleri 60 dakikalık borlama işleminde 2176 HV olarak ölçülmüş bu değer 105 dakikalık borlama işleminde ise 2333 HV olarak tespit edilmiştir. Sertlik malzemelerin aşınma dirençlerinin artmasında önemli parametrelerinden birisidir. Ancak borlama işleminde kaplama tabakasının artışına paralel bir sertlik artışı elde edilmemiş olması oluşan fazların

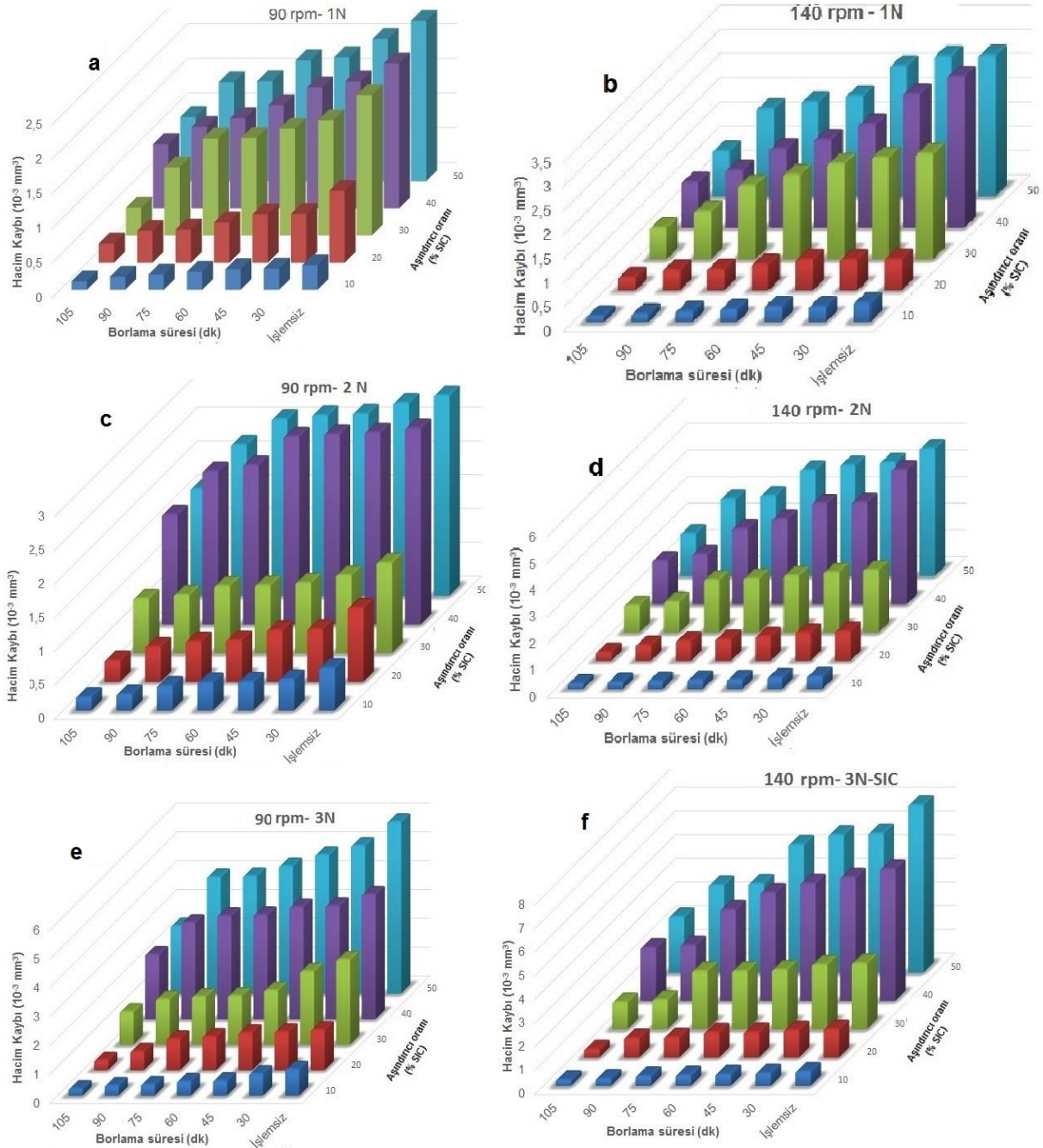
sertlik değerleri ile ilgilidir (Tablo 1). Borlama işleminde yüzeyde oluşan sert ve kırılğan tekli FeB tabakası veya FeB+Fe₂B tabakalarının aşınma direncini olumsuz etkilediğini belirtilmekteydi [26]. Ancak mikroyapı resimlerinden de görüldüğü üzere FeB nin altında yeterli kalınlıkta oluşan Fe₂B tabakasının olması ve yüzeyde çatlak meydana gelmemiş olması bu olumsuz etkiyi dengelemiştir (Şekil 23). Çimenoğlu vd. (2014) çift fazlı borür tabakalarının daha yüksek sertlik değerleri, daha fazla yük taşıma kapasiteleri olduğu ve yüksek sıcaklık aşınma dirençlerinin tek fazlı borür tabakalarından daha iyi olduğunu belirtmişlerdir. Aşınma direncindeki bu durumu çift fazlı borür tabakalarında meydana gelen daha düşük termal gerilmelere bağlamışlardır [60].



Şeki 23. 1000 °C'de a) 45 dk b) 60 dk c)90 dk d)105 dk sürelerde borlanan numunelerdeki fazların (FeB+Fe₂B) fazların ve kaplama tabakalarının kesit SEM görünümü

Sondaj matkaplarının çalışma koşulları göz önünde bulundurulduğunda farklı kaya formasyonlarında farklı aşındırıcı tiplerine maruz kaldıkları bilinmektedir. Bundan dolayı aşınma deneyleri iki farklı sertlik değerindeki aşındırıcılar kullanarak yapılmıştır. Aşındırıcı tipine bağlı olarak numunelerin aşınma dirençleri değerlendirilecek olursa SiC aşındırıcı solisyon ile aşınma işlemine tabi tutulan numunelerin hacim kayıpları Al₂O₃ ile işleme tabi tutulan numunelerden daha yüksek olmuştur (Şekil 22 ve Şekil 24). Bu durum aşındırıcı solüsyonun

sertliği ile ilgilidir. Çünkü çalışmada kullanılan aşındırıcı türlerinin içerisinde en yüksek sertlik değerine sahip aşındırıcı SiC partikülleridir (2900–3000 HV₃₀). Bu sertlik değeri borlama sonucu elde edilen sertlik değerinden daha fazladır. Al₂O₃'nin sertliği SiC aşındırıcı partiküllerinden az olsa da (2200–2100) elde edilen en yüksek borlama sertliği bu değerlere yaklaşmıştır. Dolayısıyla aşındırıcı partikül üzerine gelen normal kuvvet aynı olsa da Al₂O₃ partikülün yüzeye batma derinliği SiC' ye göre daha az olmuştur.



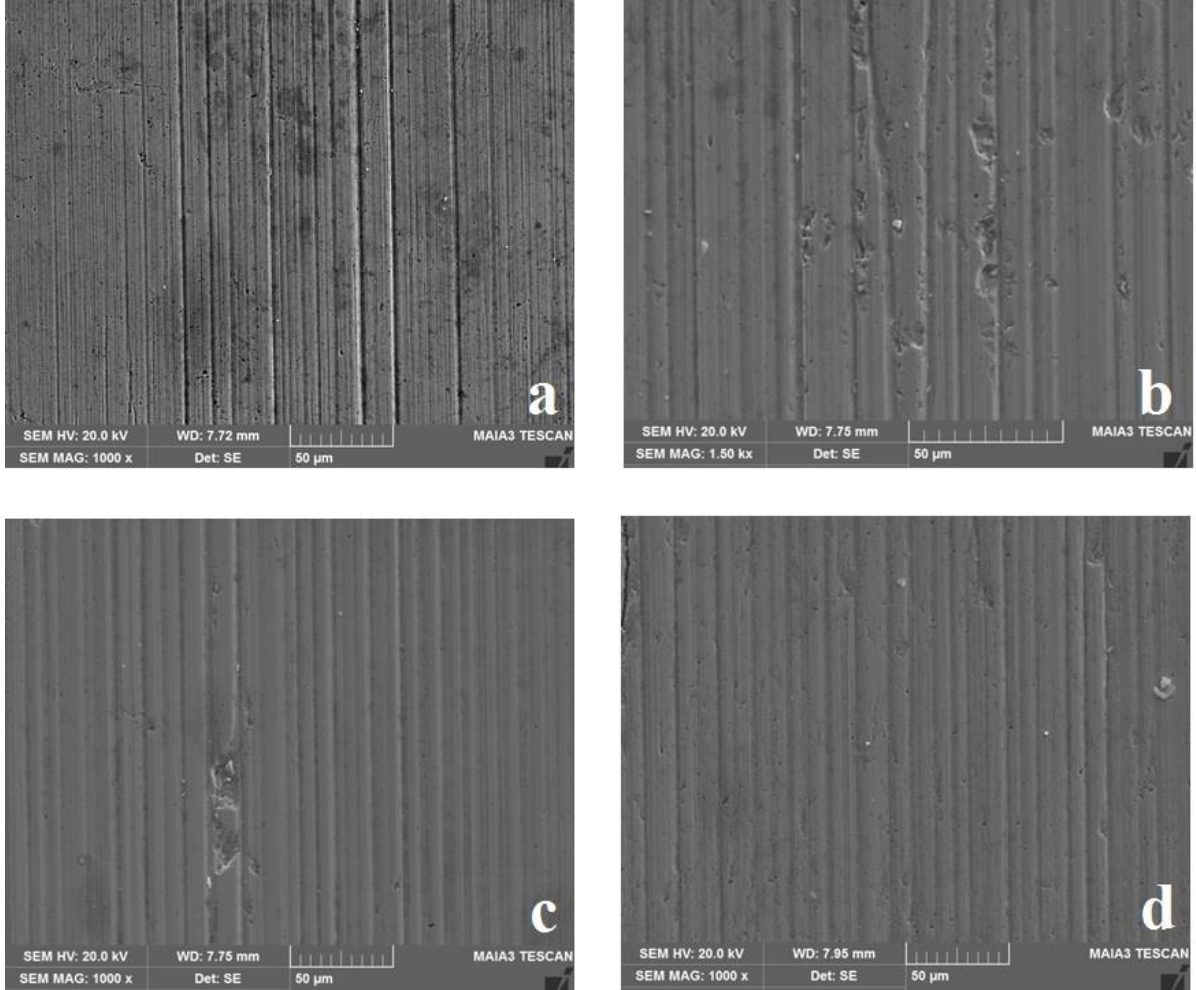
Şekil. 24 Borlanmış numunelerin SiC abrasiv aşındırıcı ortamındaki a) 90 rpm b)140 rpm 1N c) 900 rpm 2N d) 140 rpm 2N e) 90 rpm 3N f) 140 rpm 3N yük altındaki hacim kayıpları

Sondaj matkapları çalıştıkları tabakalara bağlı olarak dişlileri arasında belirli oranlarda kum, çakıl, kaya parçacıkları vb. aşındırıcılar ile temas halindedir. Bunu simule etmek için aşınma deneylerinde borlama çalışmaları için aşındırıcı süspansiyon içerisine %10-%50 aralığında aşındırıcı eklenerek yapılmıştır. Aşındırıcı konsantrasyonuna bağlı olarak numune kütle kayıpları incelenecek olursa (Şekil 22 ve Şekil 24) artan aşındırıcı konsantrasyonun artması hem Al_2O_3 hem de SIC aşındırıcı solüsyonunda numunelerdeki hacim kayıplarını arttırmıştır. Ancak bu artış %30 aşındırıcı konsantrasyonuna kadar yüksek oranda gerçekleşirken % 40 ve % 50 aşındırıcı konsantrasyonunda hacim kaybı değerleri düşmüştür. Bunun sebebini birim zamanda malzeme yüzeyine temas eden aşındırıcı partikül oranının artmasına bağlayabiliriz. Çünkü topun aşındırıcı partiküllere hareket vermesi ile karşı yüzey üzerinde kesme hareketi yapan abrasivlerin daha çok keskin köşe ile numune yüzeyinde iş göreceği ve daha fazla hacim kaybına sebep olacağı aşıkardır.

Yüke bağlı olarak numune hacim kayıpları değerlendirilecek olursa artan yükte birlikte numunelerin hacim kayıpları da yükselmiştir (Şekil 22 ve şekil 24). Bu artış aşındırıcı solüsyon içerisindeki partikül üzerine gelen yükün artması sonucu partikül üzerindeki gerilim artmasına bağlanabilir. Çünkü aşındırıcı top ile aşındırılan yüzey arasında sıkışan partiküle uygulanan yük artığında partikül aşındırılan malzemenin yüzeyine daha fazla batmaya çalışacaktır. Bu batma işleminde rol oynayan önemli parametrelerden birisi şüphesiz ki numune hacim sertliği olacaktır. Numune sertliğinin artması genellikle yüzeye batan abrasiv daha fazla direnç gösterileceğinden abrasiv partikülün nüfuziyeti azalacaktır. Ancak partikül üzerindeki yükün artması nüfuziyeti arttıracaktır. Malzeme yüzeyine nüfuz eden partikülün ikinci işlemi ise önündeki malzemeye kuvvet uygulayarak onu bağlı olduğu yüzeyden koparmak olacaktır. Burada ise numunenin mikroyapı ve mikro mekanik özellikleri önem arzedecektir [61]. 30-40 μm lik splatar halinde plastik deformasyon ile birbirine tutunan partiküller en zayıf oldukları splat bağları noktalarından abrasivin kesme etkisi ile koparlar. Böylece yüzeyden metal transferi gerçekleşir. Ayrıca artan yükte birlikte abrasiv partikül üzerine gelen yükün artması partikülün kırılmasına böylece kırılan aşındırıcıların daha fazla keskin köşeye sahip olmasına yol açacağından aşınma kayıplarının artmasında ikinci bir etkisi olmuştur.

Top ve aşındırılan numune arasında meydana gelen aşınma mekanizması abrasiv partikülün bu bölgedeki hareketi ile yakından ilgilidir. Eğer aşındırıcı partikül top üzerinde hareket edemez ise aşındırılan yüzey üzerinde bir seri paralel oluklar meydana getirilir. Bu tip aşınmaya grooving tipi veya iki cisimli abarasyon denir. Eğer aşındırıcı partikül iki yüzey arasında rahat ediyorsa kamalamaya benzer bir etki ile rolling tipi veya üç cisimli abarasyon meydana gelmektedir [62,63].

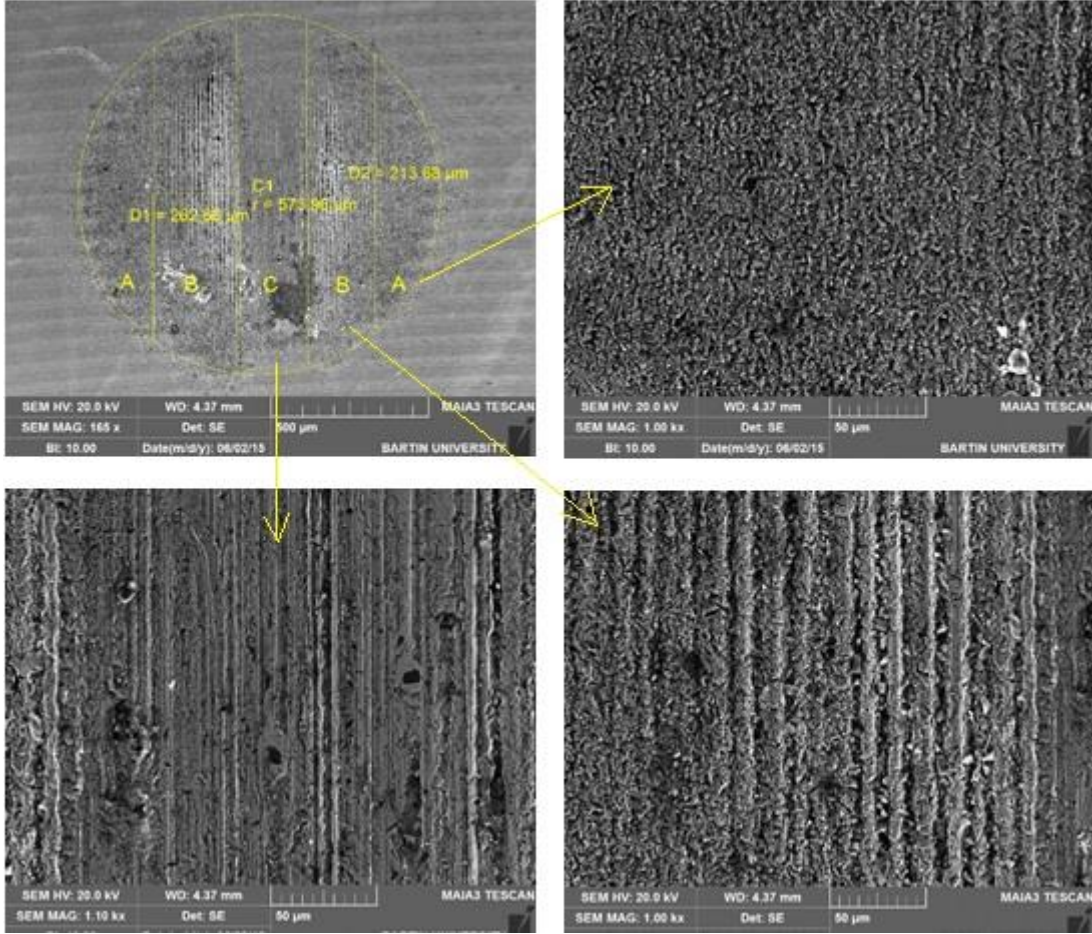
Borlanmış numunelerde meydana gelen aşınma tipleri incelendiğinde, Al_2O_3 abrasiv kullanılan deneylerde aşındırıcı süspansiyon içerisindeki abrasiv konsantrasyonu oranının değişmesi aşınma mekanizmasında değişim meydana getirmemiştir. Tüm Al_2O_3 abrasiv oranlarında mikro grooving aşınma tipi meydana gelmiştir.



Şekil 25. 1000 °C'de 60 dakika süre ile borlanmış ve 140 rpm ve 1 N yük altında a) %10 b)30 c)40 d)50 Al_2O_3 abrasiv süspansiyon ile aşındırılan yüzeylerin SEM görünümü.

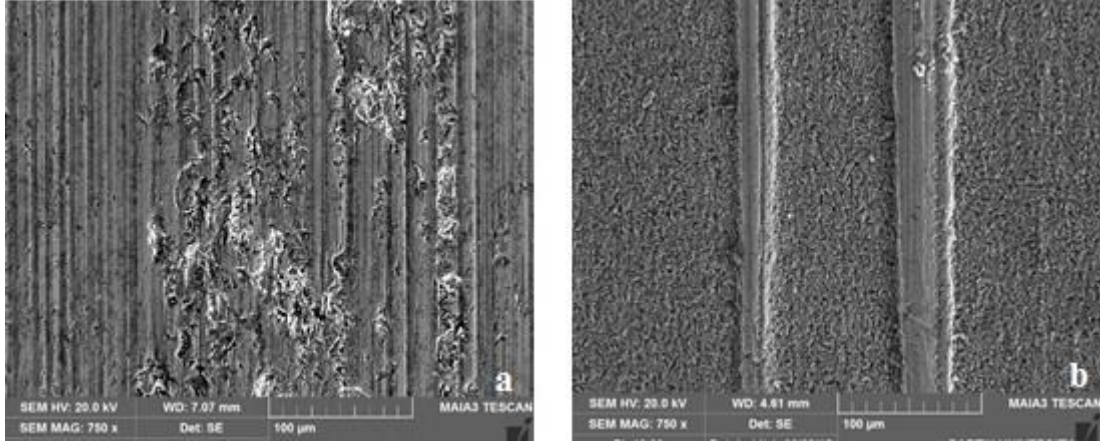
Borlanmış numunelerin SIC ile aşındırıcı kullanılan deneylerde ise aşındırıcı süspansiyon oranının artışı ile aşınma mekanizması değişmiştir [63-65]. Şöyle ki düşük aşındırıcı konsantrasyon oranlarında (% 10-20) ile aşınma deneyine tabi tutulan numunelerde grooving tipi abarasyon mekanizması etkin iken % 30 luk konsantrasyon değerinin grooving tipi abarasyondan rolling ve miksed tip abarasyonsa bir geçiş olduğu görülmüştür. Bu durum Şekil 26 da verilen SEM aşınma fotoğrafında açıklanmaya çalışılmıştır. Öncelikle makro boyutta alınan aşınma fotoğrafı üzerinde 3 farklı aşınma tipi dikkat çekmektedir (Şekil 26). Bu SEM resminde C ile işaretlenen daha düzgün ve pürüzsüz olarak oluşan bölge yükün en fazla etkili olduğu bölgedir. Bu bölgede aşındırıcı partiküller çelik bilya altında yuvarlanmadan kayma etkisi ile numune yüzeyinden

partikül kopartmışlardır. Az miktarda oluşan oluklar ise yine bu bölgeden alınan SEM aşınma yüzey fotoğrafında görülmektedir. B ile ifade edilen bölgenin büyük büyütmedeki fotoğrafı incelenirse grooving tipi aşınma mekanizmasının baskın hale geldiği görülmektedir. Ancak olukların arasında ve üzerinde meydana gelen rolling tipi aşınmalarda dikkat çekmektedir. A En dış bölgede ise mekanizmanın tamamen rolling tipi aşınma mekanizmasına döndüğü görülmektedir. Bu durum SIC'ün sahip olduğu sertlik değerinin borlanmış numunelerden çok daha yüksek olmasına atfedilebilir.



Şekil 26. 1000 °C'de 60 dakika süre ile borlanmış ve 140 rpm ve 1 N yük altında ,%30 SIC abrasiv süspansiyon ile aşındırılan numunenin SEM görünümü.

Şekil 27 herhangi bir işlem uygulanmayan çelik dişli sondaj matkabından alınan numunenin 140 rpm ve 1N yük altında %10 ve %50 Al₂O₃ aşındırıcı konsantrasyonuna sahip çözelti ile aşınma işlemine tabi tutulan numunenin SEM aşınma izi fotoğrafı verilmiştir.



Şekil 27. İşlemsiz çelik dişli sondaj matkabının 140 rpm 1 N yük altında a)%10 Al₂O₃ b)%50 SiC abrasive süspansiyon ile aşındırılan numunenin SEM görünümü.

Herhangi bir işlem uygulanmayan çelik dişli sondaj matkabından alınan numunede ise hem her iki süspansiyon çeşinin gerek 10% gerekse 50% oranlarındaki solüsyon ile yapılan çalışmalarda borlanmış malzemelerin SiC ile aşındırılmaları sonucu meydana gelen yapıya benzer hem mikro grooving hem de mikro rolling (mixed tip) aşınma tip aşınma mekanizmaları gözlemlenmiştir.

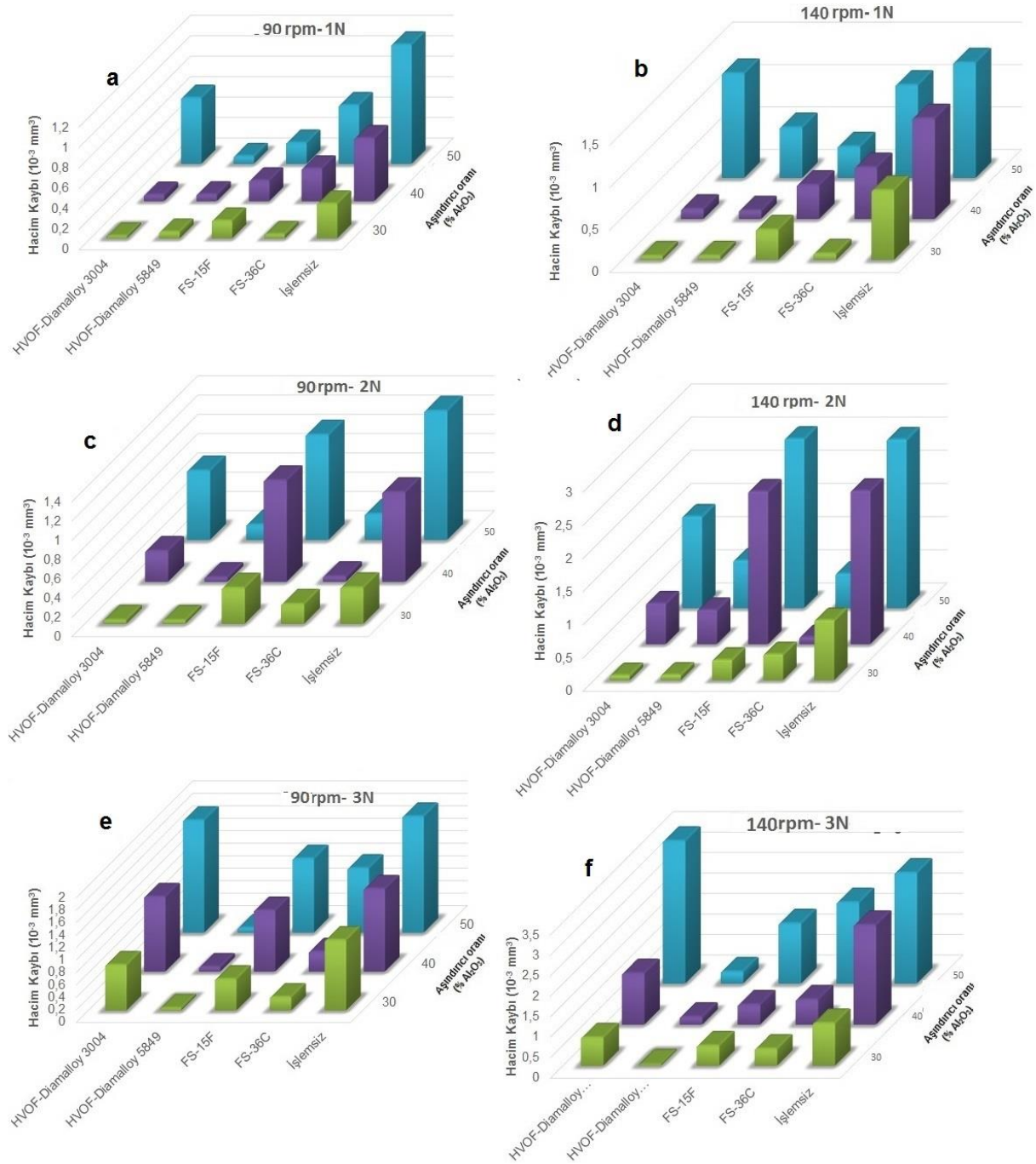
Borlanmış numunelerin Al₂O₃ ile aşındırılmaları sonucu yapıda sadece mikro grooving aşınma mekanizmasının görülmüş olması yüksek yüzey sertlikleri ve borun yağlayıcı etkisinin aşınma mekanizmasının değişiminde etkili olduğunu göstermektedir. Çünkü elde edilen borür kaplamalarının sertlik değerleri (60 dk'da 2176 HV) Al₂O₃ abrasive aşındırıcının sertlik değerine yakındır. Ancak SiC abrasive aşındırıcının sertlik değeri çok daha yüksek olduğundan borlama işlemi buradaki aşınma mekanizmalarının değişiminde etkili olmamıştır.

4.3.2 FS ve HVOF ile Üretilen Kaplamaların Aşınma Test Sonuçları

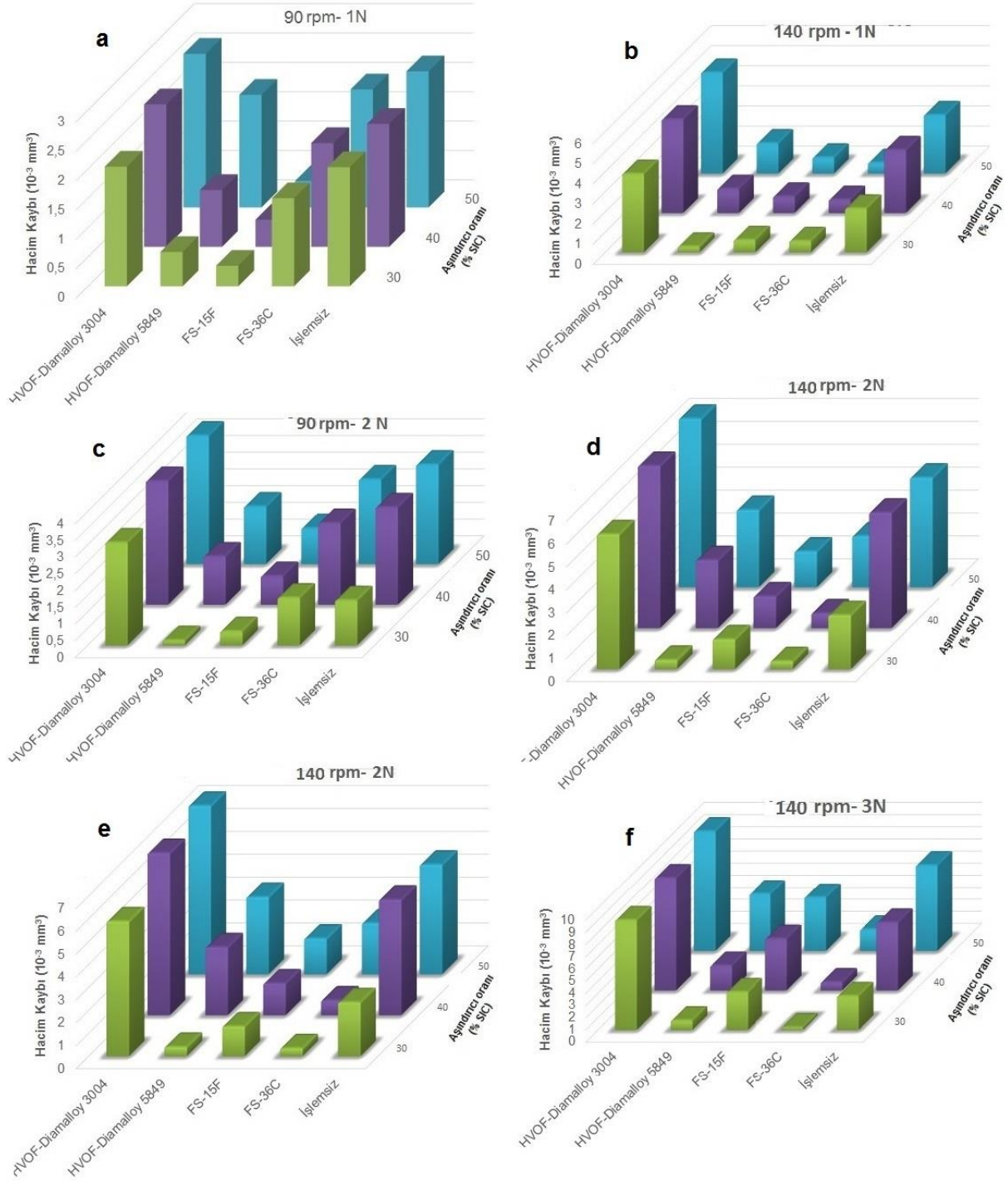
Aşınma esnasında fiziksel ve kimyasal birçok mekanizma aşınma çiftleri üzerinde hüküm sürer. Aşınma çiftlerinin yüzeylerinde meydana gelen aşınma mekanizmalarının oluşmasında, kontak geometrileri, yüzey pürüzlüğü, mikroyapısal özellikler, tane boyutu, kırılma tokluğu, hıza, yük, sıcaklık, süre ve çevre önemli parametrelerdir [61,66]. Bundan dolayı FS ve HVOF kaplamalarda bu özelliklerin kontrolü önem arz eder.

Şekil 30 ve Şekil 31 de 1N, 2N ve 3N yük altında ve 3 farklı aşındırıcı konsantrasyonunda (%30, %40 ve %50) 90 ve 140 d/dk lık kayma hızında Al₂O₃ ve SiC aşındırıcı süspansiyonları kullanılarak gerçekleştirilen sabit top mikro abrasyon aşınma testinden sonraki hacim kayıpları

verilmiştir. Hacim kayıplarının hesaplanmasında daha önceki çalışmalar da kullanılan denklemden faydalanılmıştır [67,68].



Şekil 28. FS ve HVOF ile kaplanmış numunelerin Al₂O₃ abrasiv aşındırıcı ortamındaki a) 90 rpm 1N b)140 rpm 1N c) 90 rpm 2N d) 140 rpm 2N e) 90 rpm 3N f) 140 rpm 3N yük altındaki hacim kayıpları



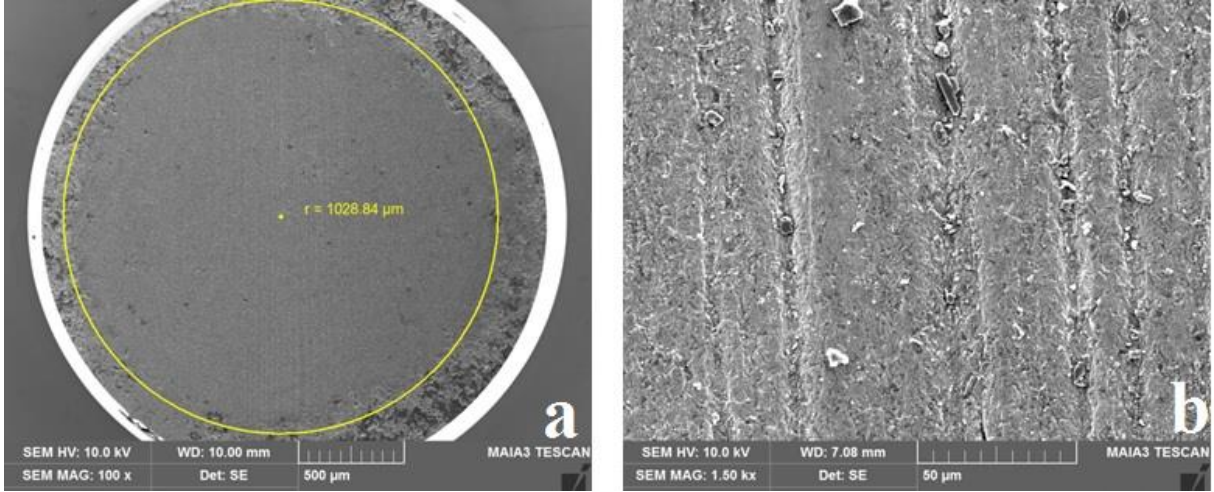
Şekil. 29 Borlanmış numunelerin SIC abrasiv aşındırıcı ortamındaki a) 90 rpm b)140 rpm 1N c) 90 rpm 2N d) 140 rpm 2N e) 90 rpm 3N f) 140 rpm 3N yük altındaki hacim kayıpları

Şekil 28 ve Şekil 29 den görüldüğü üzere numunelere uygulanan yük artışı ve aşındırıcı süspansiyon oranları borlanmış malzemelerde olduğu gibi hacim kayıplarını artırmıştır. Bu artışın sebebi yük artışı ile solisyon içerisindeki partiküllerin aşındırılan malzeme yüzeyine daha derin batmasından kaynaklanmıştır. Hacim kayıplarında yük ve solisyona bağlı hacim

kayıplarının artışı borlanmış malzemelerin aşınma dirençleri kısmında detaylı açıklanmıştır. Ancak her bir kaplama işlemleri farklı aşınma koşulları için farklı aşınma dirençleri göstermiştir. Şekil 30'dan görüleceği Al_2O_3 aşındırıcı solisyon kullanılarak yapılan aşınma deneylerinde; 140 rpm 3N ile aşınma koşulu haricindeki (HVOF 3004 tozu ile üretilen) tüm numunelerin hacim kayıpları işlemsiz numuneden daha iyi iyi olmuştur. En az hacim kaybı WC-10Co-4Cr kaplama tozu kullanılarak HVOF yöntemi ile kaplanan numunede elde edilmiştir. Bu durum numunelerin sertlikleri ve yüzey pürüzlülüklerine bağlanabilir (Tablo 5). Numunelerdeki hacim kayıpları farklı deney koşullarında farklılık gösterdiğinden birbirleriyle kıyaslanması borlanmış numunelere göre daha karmaşıktır [23]. Ayrıca bu karmaşıklığın sebebi sertlik ölçümlerinde bahsedildiği üzere aynı bölge içerisinde farklı sertlik değerlerinin elde edilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Çünkü Termal spray kaplamaların doğasında var olan toz partiküllerinin ergime durumuna göre (kısmı ergime veya tam ergime) dekarburizasyonu sonucu aynı bölgede farklı fazların oluşabilmesi homojen kaplamaların oluşmasına olanak tanımaz.

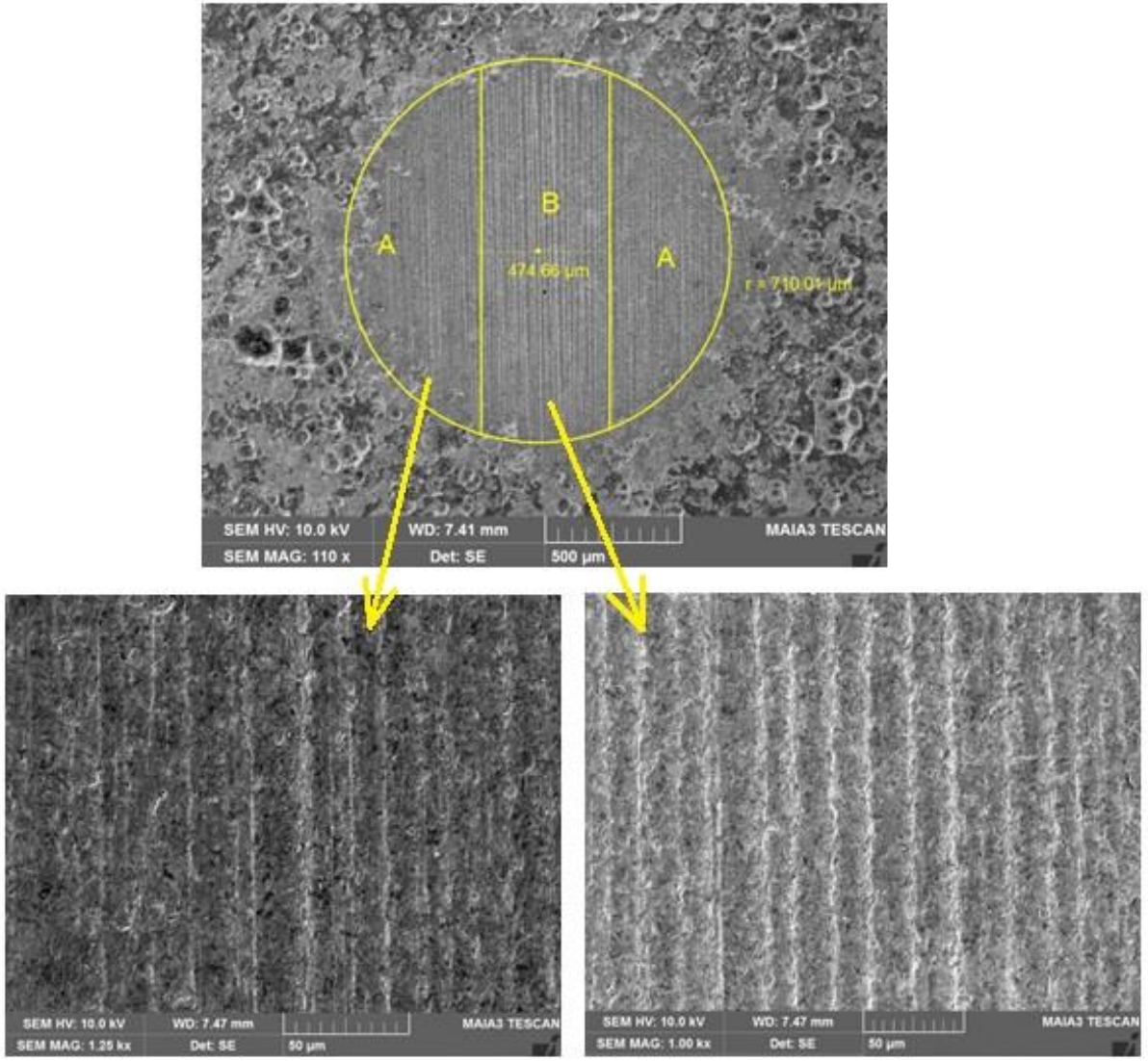
Aynı şartlarda SiC içeren solüsyon ile gerçekleştirilen mikro abrasyon testlerinde Al_2O_3 solisyona göre hacim kayıplarını yükselmiştir. Bu durum borlanmış malzemelerde de gözlemlenmiş ve SiC'ün sertliğinin Al_2O_3 'e göre daha sert olmasına bağlanmıştır. Özellikle Diamalloy 3004 ile kaplanmış numunedeki hacim kayıpları kaplanmamış numuneden fazla olmuştur. Bu durum mikroyapı çalışmalarında bahsedildiği üzere bu numunedeki oksit, porozite ve çatlak olumsuzluklarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Pileggi vd. (2015) HVOF ile üretilen krom karbür içerikli kaplamaların tribo-korozyon davranışlarını inceledikleri çalışmalarında aşındırıcıların bu porozite çatlaklarından içeri girerek kaplama tabakasının dökülmesine ve dolayısıyla kaplanmamış numunelerden daha düşük aşınma dirençlerine sebep olacağını belirtmişlerdir.

FS ve HVOF kaplamaların aşınma mekanizmaları incelendiğinde ise kaplama yöntemlerindeki farklılıklar farklı aşınma mekanizmalarının oluşumuna neden olmuştur. Şekil 32'de FS yöntemiyle 36C tozu ile üretilen kaplamanın % 30 solüsyon içeriği ile teste tabi tutulan numune üzerinden alınan SEM mikroyapısı görülmektedir. ASTM G77 standartlarında gerçekleştirilen test sonucunda elde edilen aşınma izleri beklenildiği şekilde dairesel geometride oluşmuştur. Aynı fotoğrafın daha büyük görüntüsü incelenecek olursa ağırlıklı olarak mikrogroving tipi aşınmanın olmasının yanında çok az miktarlarda da mikro rolling tipi aşınma mekanizmalarının etkin olduğu görülmüştür (Şekil 30b).



Şekil 30. FS yöntemi 36 C tozu ile üretilen numunenin 140 rpm 1N yük ve %30 SIC solüsyon ile aşınma deneyi sonrası numunenin a) 100X b) 1500 X SEM görünümü

Şekil 31'de FS yöntemiyle 15F tozu ile üretilen kaplamanın 140 rpm 1N yük ve %50 Al₂O₃ solüsyon içeriği ile teste tabi tutulan numune üzerinden alınan SEM mikroyapısı görülmektedir.

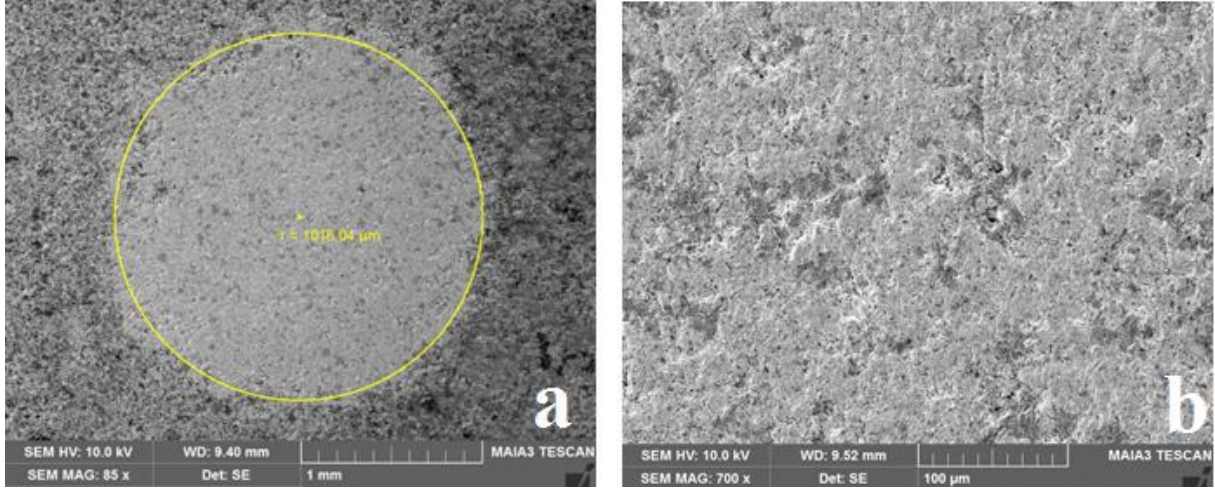


Şekil 31. FS yöntemi 15 F tozu ile üretilen numunenin 140 rpm 1N yük ve %50 SIC solisyon ile aşınma deneyi sonrası numunenin SEM görünümü

FS 15F numunesi %50 abrasiv solüsyon içeriği ile teste tabi tutulan numunenin SEM mikroyapıları incelenecek olursa iki bölgeden söz edilebilir (Şekil 31). Bunlardan birincisi B ile işaretlenen diğeri ise A ile işaretlenen bölgelerdir. B bölgesinin daha büyük boyuttaki SEM micrograph incelenirse bu bölgede mikrogroving tipi aşınma mekanizması baskındır. Ancak mikrorolling tipi aşınmada sistemde mevcuttur. A bölgesi incelendiğinde ise mikrorolling tipi aşınmanın daha baskın olduğu görülmektedir.

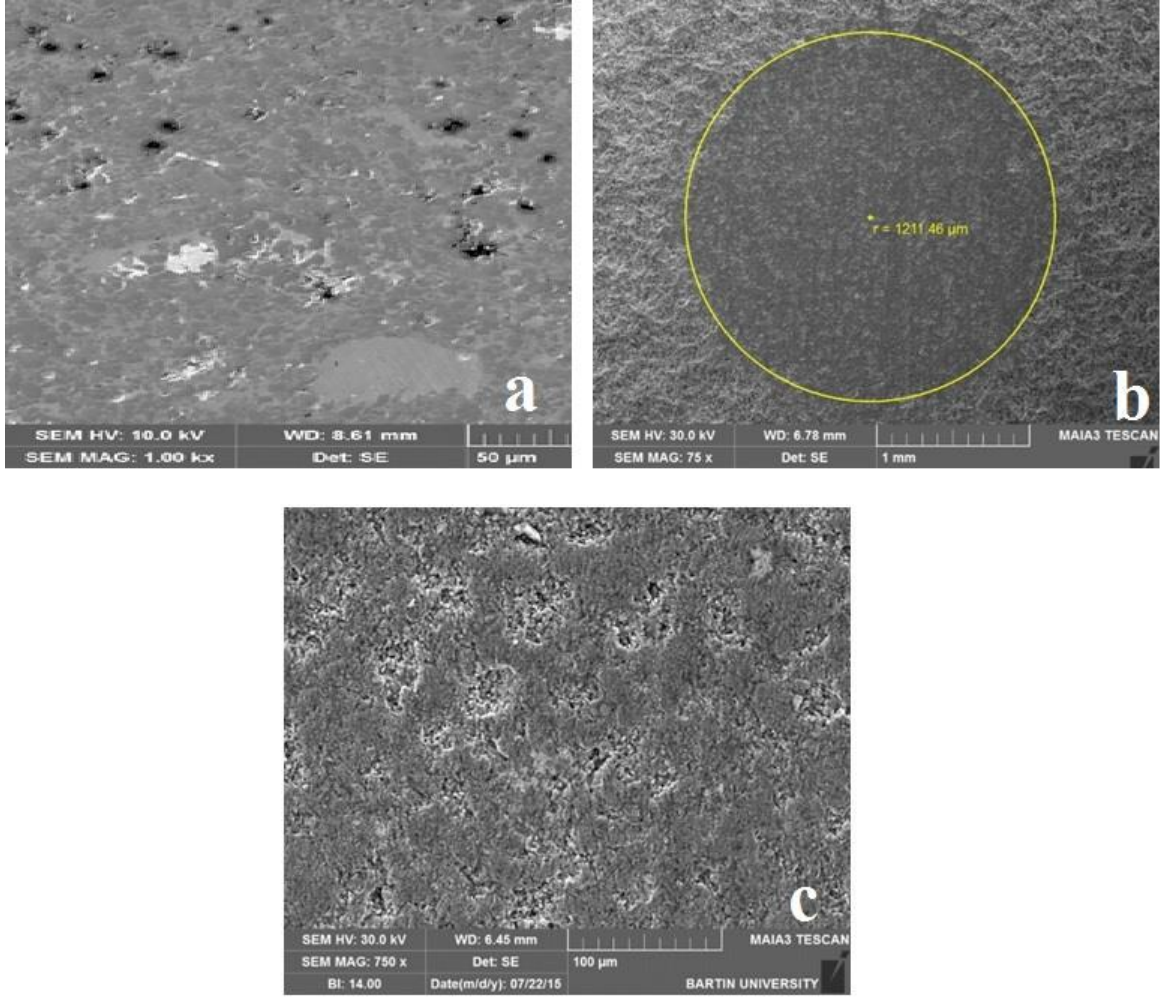
HVOF yöntemiyle üretilen numunelerde ise aşınma mekanizmasının tamamen değiştiği görülmektedir. Şekil 32 incelendiğinde aşınma mekanizmasının tamamen mikrorolling tipi aşınma tipine döndüğü görülmektedir. Bu durum numune mikroyapısı ile alakalıdır. Çünkü

numuneler içerisinde en yüksek hacim sertliğine sahip numunedir (Tablo 6). Bir malzemenin sertliğinin artması tokluk değerini düşecektir. Malzemelerin kırılma tokluklarının düşmesi ise kırılmalıklarının artmasına sebebiyet verecektir.



Şekil 32. HVOF yöntemi Diamalloy 5849 tozu ile üretilen numunenin 140 rpm, 1N ve %50 SIC solisyon ile aşınma deneyi sonrası a) 85X b)700X SEM görünümü

Şekil 33'de HVOF yöntemi ile Diamalloy 3004 tozu ile üretilen kaplamanın aşınma işlemi öncesi yüzey görünümü ve kaplama sonrası yüzey görünümü verilmiştir.



Şekil 33. HVOF yöntemi Diamalloy 3004 tozu ile üretilen numunenin a) aşınma deneyi öncesi yüzey 140 rpm 1N ve %50 SIC solisyon aşınma deneyi sonrası b) 85X c)700X SEM görünümü

Şekil 33 incelendiğinde ise numune yüzeyinde 10-20 µm (aşındırıcı partikül boyutu) büyüklüğünde kırılma ve buna bağlı dökülmelerin olduğu görülmektedir. Bu durum hem mikro yapı çalışmalarında hem de hacim kaybı grafikleri kısmında belirtildiği üzere bu numunenin yüksek oranda porozite ve yüzey çatlakları içermesine bağlanmış SEM resimleri ile desteklenmiştir (Şekil 33a). Bu numune en fazla hacim kaybının yaşandığı numune olarak kaydedilmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu projede çelik dişli sondaj matkapları 1000 °C de 30 dk, 45 dk,60 dk, 75 dk, 90dk ve 105 dk'lık sürelerde nano bor tozu ile borlama işlemine tabi tutulmuş sonrasında ise mikro-abrasyon aşınma testine tabi tutulmuşlardır. Ayrıca yapılan kaplamalar endüstride bu matkaplara uygulanan kaplamalar ile de kıyaslanmıştır. Elde edilen bulgular aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

1-Tüm deney koşullarında elde edilen borür tabakalarının morfolojisi testere dişli, homojen yoğun ve ince tanelidir. Buna karşın FS ve HVOF ile üretilen kaplamalarda ise bu işlemlerin doğasında mevcut olan bir miktar porozite ve yüzey pürüzlülükleri tespit edilmiştir.

2-Borür tabakalarını kalınlığı artan süre ile parabolik olarak artmıştır. Borür tabakası kalınlıkları 32-202 µm aralığında artan süreye bağlı olarak artmıştır. HVOF ile üretilen kaplama kalınlıkları 340-660 µm aralığında, FS ile üretilen kaplamaların kalınlıkları ise 782-893 µm olarak ölçülmüştür.

3- 350 HV civarında sertlik değerlerine sahip çelik dişli sondaj matkapları borlama işlemi sonucunda yüzeyde 1386- 2333 HV sertlik değerlerine ulaşılmıştır. Borür kaplama tabakasında homojen sertlikte bölgeler oluştuğu tespit edilmiştir. Ancak sertlik değerleri yüzeyden matrise doğru azalmıştır. FS ve HVOF yöntemleriyle ise 714-984 HV aralığında kaplamalar üretilmiştir. FS ve HVOF ile üretilen kaplamaların sertlik değerlerinde matrise doğru bir azalma olmamıştır. Ancak aynı bölge içerisindeki sertlik dağılımlarının borlama ile üretilmiş kaplamalara göre daha heterojen olduğu tespit edilmiştir.

4- XRD analizleri sonucunda borlanan numunelerde baskın faz olarak FeB ve Fe₂B fazlarının yanında CrB, Cr₂B, Mo₂B, Ni₂B, Mn₂B ve TiB fazlarının eser miktarda oluştuğu tespit edilmiştir. FS ve HVOF kaplamalarda ise kaplama tozlarının kimyasal bileşimine bağlı olarak literatürde elde edilen fazlar tespit edilmiştir (Bölüm 4.2.3).

5- VDI 3198 indentasyon testine göre üretilen tüm borür kaplamalar kabul edilebilir niteliktedir.

6- Tüm borlanan numuneler borlanmamış numunelere göre daha iyi aşınma direnci göstermiştir. Artan borlama süresi ile aşınma direnci artmıştır. 60 dk süre ile borlanan numunelerde 4 katı aşınma direnci elde edilmişken borlama süresinin 105 dakikaya çıkarılması ile 10 katı aşınma dirençleri elde edilmiştir.

7- FS ve HVOF ile üretilen kaplamalarda ise; HVOF Diamalloy 3004 haricindeki kaplamalar aşınma dirençlerini genellikle artırmışlardır. Bu yöntemlerle üretilen kaplama tabakaları

kimyasal bir bağa sahip olmadıklarından özellikle kuvvet artışı ve aşındırıcı solüsyonun artışı durumunda hacim kayıpları daha fazla gerçekleşmiştir.

8- Yükün ve aşındırıcı solüsyon içerisindeki abrasiv oranının artması tüm numunelerdeki hacim kayıplarının artmasında etkili olmuştur.

9- Borlama ısıtma işlemi Al_2O_3 aşındırıcı süspansiyonun kullanıldığı uygulamalarda aşınma mekanizmasının değişiminde etkindir. Borlanmamış numunede aşındırıcı solüsyon oranlarına göre grooving, rooling ve karışık aşınma mekanizmaları görülmüş borlanmış numunelerde ise sadece mikro grooving tipi aşınma mekanizması görülmüştür. Ancak SIC'ün aşındırıcı süspansiyon olarak kullanıldığı deneylerde bu etki gözlemlenmemiştir.

10- FS ve HVOF ile kaplı numunelerin sertlik ve mikroyapı oluşumları numunelerin aşınma mekanizmalarında önemli rol oynamıştır. FS ile kaplı numunelerde mikro grooving ve rolling aşınma mekanizmaları görülürken HVOF kaplamalarda ise sadece mikro rolling tipi aşınma mekanizması meydana gelmiştir.

11- Yüksek yüzey sertlikleri ve kaplama tabakalarının yüzey özellikleri aşınma mekanizmasının değişiminde etkili rol oynadığı görülmüştür.

Proje sonuçları Nano boyutlu bor tozları kullanılarak geleneksel borlama yöntemlerine göre kısa sürelerde yapılan borlama işleminin çelik dişli sondaj matkapları için kullanılabileceğini göstermiştir. Fakat bu tozların maliyetinin 100 gr toz için 650 \$ olmasının yanında 15-30 gün aralığında teslimat süresi vardır. Dolayısıyla mevcut durumda gerek ülkemizde gerekse de yurtdışından Nano boyutlu tozların maliyeti yüksek olduğundan endüstriyel uygulamalarda kullanımı yoktur. Sadece bilimsel çalışmalarda ve savunma sanayinde sınırlı olarak kullanılmaktadır. Oysa Nano boyutlu tozlarla yapmış olduğumuz çalışmalar bu tozların mikron boyutlu tozlara göre çok daha kısa sürede (30 dakika) mekanik özellikler ve aşınma dirençleri bakımından daha iyi kaplamaların elde edilebilmesinin yanında enerji maliyeti ve işi verimliliği bakımından çok daha üstündür. Bundan dolayı Nano boyutlu tozların tek sınırlaması olan yüksek maliyetlerinin makul seviye indirgenmesi üzerine çalışmalar yapılmalıdır.

6. KAYNAKLAR

1. Özyalcınlar Mühendislik Sondaj ve Maden İşleri, <http://www.ozyalcınlarsondaj.com.tr>, Sivas, 2011.
2. Ersoy, A., 2008. Sondaj Teknikleri ve Uygulamaları, Cilt no:1, Adana Nobel kitabevi, 350.
3. Göktürk, A., 1983. Sondaj Tekniği, İTÜ Maden Fakültesi Yayınları.
4. Sezer, V., 1974. Sondaj Tekniği, MTA yayınları.
5. Yalçın, A., 1991. Sondaj Yöntemleri ve Uygulamaları, TMMOB, Maden Müh. Odası Yayınları, 1991.
6. Özdemir, A., 2012. Kayaların Delinebilirliği Sondajcılık Uygulamalarına Giriş, Ankara.
7. Grimes, R.E., Felderhoff, EC*, Brown, H., 1992. "Heavy Weight Rock Bits Increase Penetration Rates in Hard Rock," Oil & Gas L, pp. 76 - 79.
8. Bobo, R.A.. 1968. "Drilling - Three Decades Back, One Ahead," JPT, pp. 700 - 708.
9. Bilgin, N., 1991. Maden İşletmelerinde Kullanılan Deliciler, Çalışma Şartları ve Ekonomisi, İTÜ Maden Fak, Maden Müh, Bölümü.
10. Cummins, K. W., 1973. A worldwide directory of stream ecologists. Michigan State University Institute of Water Research. Technical Report No. 28.
11. Moore, PX., 1986. Drilling Practices Manuel, Second Edition, Oklahoma, USA, pp. 363 » 399.
12. Praillet, R., 1990. "Blasthole Drilling, Rotary Drilling and The Four Kingdoms1 WME, pp. 20 – 22.
13. Ulutan, M., AISI 4140 Çeliğinin Yüzey Sertleştirme İşlemleri ve Kaplama Yöntemleri Sonrası Mekanik Davranışlarının Araştırılması, Doktora Tezi (Ph. D.), Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2007.
14. Ozdemir, O., Omar, M. A., Usta, M., Zeytin, S., Bindal, C., Üçışık, A.H., 2009. " An investigation on boring kinetics of AISI 316 stainless steel", Vacuum 83, 175–179.

15. Şen, Ş. Özbek, I. Sen, U. ve Bindal, C., 2001. "Mechanical behavior of borides formed on borided cold work tool steel", Surface and Coat. Technol. Vol. 135, pp. 173-177.
16. Karamış, M.B, Nair, F, Selçuk, B., 1995. "Borlanmış malzemelerin tribolojik özellikleri", 6. Denizli Malzeme Sempozyumu Bildiri Kitabı S:446-454.
17. Sinha, A. K., 1991. Boriding (Boronising), ASM Handbook, Vol. 4, J. Heat Treating, pp. 437-447.
18. Baştürk, S., Erten, M., 2006. "Borlama ile yüzey sertleştirme çalışmaları", Mühendis ve Makine, (2006) 47 (563), 57-74.
19. Yurtseven, R., 2008. "Tel Çekme Sanayinde Borlamanın Endüstriyel Uygulaması", Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
20. Astakhov, V. P., 2006. Tribology of metal cutting, Elsevier press
21. Smith, G.T., 2008. Cutting Tool Technology, Springer press.
22. Yang, X., Wu, S., Kang, Y., Wang, X., Xia R., 2014. "Pitting mechanism of cemented carbide tool in the early stage of rock drilling", Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials, Vol: 42 pp.103–107.
23. Reyes, M., and Neville, A., 2014. "Degradation mechanisms of Co-based alloy and WC metal–matrix composites for drilling tools offshore", Wear, Vol: 255, pp 1143-1156.
24. Figueroa, M., Garcia, E., Stephen M.S., Rodil, S., 2014. "Preliminary Tribological study and tool life of four commercial drills", Tribology Transactions, Vol:57, pp. 581-588.
25. Guobiao, L., Zhongjian, Z., Zhihai, Q., Xiang, L., Jiahua, W., Feifei, Z., 2013. "Boronizing mechanism of cemented carbides and their wear resistance", Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials", V, 41, pp. 351-355.
26. Almeida, F.A., Carrapichano, J.M., Fernandes A.J.S., Sacramento, J., Silva, R.F., Oliveira, F.J., 2011. "Nanocrystalline, Int. Journal of Refractory Metals and Hard

Materials” V: 29, pp. 618–622.

27. Wei, Q., Yu, Z.M., Ashfold, M. N.R., Ye, J., Ma, L. Synthesis of micro- or nano-crystalline diamond films on WC-Co substrates with various pretreatments by hot filament chemical vapor deposition, Applied Surface Science, (2010) 256, 4357-4364.
28. Baştürk, S., Şenbabaoglu, F., İslam, C., Erten, M., Lazoğlu, İ., Gülmez, T., 2010. "Titanium machining with new plasma boronized cutting tools", Manufacturing Technology, V:59, pp. 101-104.
29. Nurol teknoloji, Tungsten Karbür Delme ve Sondaj Uçları, <http://nurolteknoloji.com/tr/sektorler/ozel-tungsten-karbur-wc-urunler.html> erişim tarihi 10.09.2013
30. Kaftanoğlu, B., Dökmetaş, N., Kübik Bor Nitrür (C-BN) Kaplamalar, 3. Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu, 04-05 Ekim 2012, Ankara, Türkiye
31. Mates Malzeme Ekipman, Petrol Sondajı Ekipmanları Aşınma Önleme, Aşınmaya Karşı Çözümler, <http://www.mates-e.com/a-oil.php> erişim tarihi 10.09.2013.
32. Günen, A., Ulutan, M., Gök, M.S., Kurt, B., Orhan N., 2014. "Friction and wear behaviour of borided AISI 304 stainless steel with nano particle and micro particle size of boriding agents", Journal of the Balkan Tribological Association, V:20, No 3, pp. 362–379.
33. Culha O., Toparli, M., Sahin, S. and Aksoy, T. 2008. "Characterization and determination of FexB layers' mechanical properties", Journal of Materials Processing Technology, V: 206 pp. 231-240.
34. Campos-Silva, I., Balankin, A.S., Sierra A.H., Lopez-Perrusquia, N., Escobar-Galindo, R. and Morales-Matamoros, D., 2008. "Characterization of rough interfaces obtained by boriding", Applied Surface Science, V:255 pp. 2596-2602.
35. Gunes, I., 2013. "Wear behaviour of plasma paste boronized of AISI 8620 steel with borax and B₂O₃ paste mixtures", Journal of Materials Science and Technology, [V: 29, Issue 7](#), pp. 662–668.

36. Tabur, M., İzciler, M., Gül, F. and Karacan, İ. 2009, "Abrasive wear behavior of boronized AISI 8620 steel". *Wear*, V:266 pp.1106-1112.
37. Oliveria, C.K.N., Casteletti, L.C., Lombardin, A., Totten, G.E. and Heck, S.C. 2010. "Production and characterization of boride layers on AISI D2 tool steel", *Vacuum*, V:84, pp. 792-796.
38. Şen, Ş., 1998. Termokimyasal Borlama İşlemi ile AISI 5140, AISI 4140 Ve AISI 4340 Çeliklerinin Yüzey Performanslarının Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
39. Günen, A. Gök, M.S., Erdoğan, A., Kurt, B., Orhan, N., 2013. "Investigation of mikro-abrasion wear behavior of boronized stainless steel with nanoboron powder", *Tribology Transactions*, Volume: 56; Issue:3 pp:400-409.
40. Ozbek, I. and Bindal, C., 2002. "Mechanical properties of boronized AISI W4 steel", *Surface and Coatings Technology*, V:154 pp.14-20.
41. Uslu, I., Comert, H., Ipek, M., Ozdemir, O. and Bindal, C., 2007. "Evaluation of borides formed on AISI P20 steel", *Mater and Des.* V:28, pp. 55-61.
42. Taktak, Ş., 2007. "Some mechanical properties of borided AISI H13 and 304 steels", *Materials and Design*, V:28, pp.1836-1843.
43. Ozdemir, Ö., Usta M., Bindal C. and Üçışık A.H., 2006. "Hard iron boride (Fe₂B) on 99.97 wt% pure iron", *Vacuum*, V:80, pp. 1391-1395.
44. Pertek, A. and Kulka, M., 2002. "Characterization of complex (B+C) diffusion layers formed on chromium and nickel-based low-carbon steel", *Applied Surface Science*, V:202, pp. 252-260.
45. Campos, I., Ramirez, G., Figueroa, U., Martinez, J. and Morales, O., 2007. "Evaluation of boron mobility on the phases FeB, Fe₂B and diffusion zone in AISI 1045 and M2 steels", *Applied Surface Science*, V:253 pp. 3469-3475.
46. Taktak, S., 2006. "A study on the diffusion kinetics of borides on boronized Cr-based steels", *J. Mater. Sci.*, V:41, pp.7590-7596.
47. Ozbek, I. and Bindal, C., 2011. "Kinetics of borided AISI M2 high speed steel", *Vacuum*, V:86 , pp. 391-397.
48. Kartal, G., Eryilmaz, O.L., Krumdick, G., Erdemir, A. and Timur, S., 2011. "Kinetics of electrochemical boriding of low carbon steel", *Appl. Surf. Sci.* 257, pp. 6928-6934.
49. Gunes, I., Ulker, S. and Taktak, S., 2011. "Plasma paste boronizing of AISI 8620,

52100 and 440C steels”, Mater. and Des. 32 pp. 2380-2386.

50. Chen, X. J., Yu, L. G., Khor, K. A., Sundararajan, G., 2008. “The Effect of Boron-Pack Refreshment on the Boriding of Mild Steel by the Spark Plasma Sintering (SPS) Process”, Surface and Coatings Technology, V:202, pp. 2830-2836.
51. Yu, L. G., Chen, X. J., Khor, K. A., Sundararajan, G., 2005. “FeB/Fe₂B Phase Transformation During SPS Pack-Boriding: Boride Layer Growth Kinetics”, Acta Materialia, 53, pp. 2361-2368.
52. Daimler Benz adhesion test. Verein Deutscher Ingenieure (VDI) Richtlinie 3198;7: 1992.
53. Pileggi, R., Mario Tului M., Stocchi, D., Lionetti S., 2015, “Tribo-corrosion behaviour of chromium carbide based coatings deposited by HVOF.” Surface & Coatings Technology, 268, pp. 247–251.
54. Maria W. Richert, Borys Mikułowski, Pawel Pałka, Agnieszka Hotłoś, Malgorzata Perek-Nowak, 2013, “The effect of chemical composition and thermal sprayed method on the chromium and tungsten carbides coatings microstructure,” Journal of Surface Engineered Materials and Advanced Technology, 3, 1-5.
55. Kembaiyan, K.T., Keshavan, K., 1995, “Combating severe fluid erosion and corrosion of drill bits using thermal spray coatings, Wear, 186-187, pp. 487-492.
56. Bolelli, G., Lusvarghi, L., Giovanardi, R., 2008, A comparison between the corrosion resistances of some hvof-sprayed metal alloy coatings, Surface & Coatings Technology 202, pp. 4793–4809.
57. Stewart, D.A., Shipway, P.H., McCartney, D.G., 2000. Acta Mater. V:48 pp. 1593.
58. Murthy, J.K.N., and Venkataraman, B., 2006, Abrasive wear behaviour of WC–CoCr and Cr₃C₂–20(NiCr) deposited by hvof and detonation spray processes, Surface & Coatings Technology, 200, pp. 2642– 2652.
59. Vuoristo, P., Niemi, K., Makela, A., Mantyla, T., “Proceedings of the 7th National Thermal Spray Conference”, 20–24 June 1994. Boston, Massachusetts, 1994, p. 121.
60. Çimenoğlu, H., Atar, E., Motallebzadeh, A., 2014. “High temperature tribological behavior of borided surfaces based on the phase structure of the boride layer, Wear, 309, pp.152–158.
61. Gök MS, Küçük Y, Koc V, Gencil O, Brostow W., 2011. “Application of Taguchi method to study abrasive wear behaviour of ceramic coated specimens with plasma technique’ Mechanics of Advanced Materials and Structures, 18, 389–395.
62. Habig, K.H., Chatterjee-Fischer, R., 1981. “Behaviour of Boride Layers Alloyed Steels,” Tribology International, V:14 Issue:4, pp. 209-215.

63. Batista, J.C.A., Matthews, A., Godoy, C., 2001. "Microabrasive wear of PVD duplex and single-layered coatings", *Surface Coating Technology*, V:142-144, pp. 1137–1143.
64. Batista, J.C.A., Godoy, C., Matthews, A., 2002. "Micro-scale abrasive wear testing of duplex and non-duplex (single-layered) PVD (Ti,Al)N, TiN and Cr-Ncoatings", *Tribology International*, Vol. 35, No. 6, pp. 363–372.
65. Batista, J.C.A., Joseph, M.C., Godoy, C., Matthews, A., 2002. "Micro-abrasion wear testing of PVD TiN coatings on untreated and plasma nitrided AISI H13 steel", *Wear*, Vol. 249, No. 10-11, pp. 971–97.
66. Sin, H., Saka, N., and Suh, P. , 1979. "Abrasive Wear Mechanisms and the Grit Size Effect", *Wear*, vol. 5 Issue:1, pp. 163-190.
67. Schiffmann, K. I., Bethke, R., Kristen, N., 2005. "Analysis of perforating and non-perforating micro-scale abrasion tests on coated substrates", *Surface and Coatings Technology*, 200 (7), pp. 2348–2357.
68. Hutchings I.M., 1998. Abrasive and Erosive Wear Tests For Thin Coatings: Aunified Approach, *Tribology International*, 31 (1–3), pp. 5–15.

TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje Yürütücüsü:	Yrd. Doç. Dr. ALİ GÜNEN
Proje No:	213M629
Proje Başlığı:	Çelik Dişli Sondaj Matkaplarında Takım Ömrünün Artırılması
Proje Türü:	3001 - Başlangıç AR-GE
Proje Süresi:	18
Araştırmacılar:	ERDOĞAN KANCA
Danışmanlar:	ERGÜL YAŞAR, BÜLENT KURT
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi:	İSKENDERUN TEKNİK Ü.
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri:	01/05/2014 - 01/11/2015
Onaylanan Bütçe:	69725.0
Harcanan Bütçe:	36662.88
Öz:	<p>Son yirmi yılda sondaj kesici takımların tungsten karbür gibi ileri mühendislik malzemelerden üretilmesiyle takım performanslarında bir artış elde edilmiş olsa da maliyet artışının önüne geçilememiştir. Bu projede tungsten karbid uçlu takımlara göre çok daha ucuz olan ve bölgemizde (Çukurova ve Amik ovası) genellikle su sondajları uygulamalarında yaygın bir şekilde kullanılan çelik uçlu sondaj takımlarının nano boyutlu bor tozu ile kısa sürede kaplanması sonucunda aşınmanın azaltılarak takım ömürlerinin arttırılabilirliği incelenmiştir. Projede çelik dişli sondaj takımları temokimyasal bir yöntem ile 1000 °C? de 30 dk, 45 dk ve 60 dk sürelerde, geleneksel borlama yöntemlerine göre daha kısa sürede, Nano bor tozu ile kaplanmıştır. Borlanan numuneler, optik mikroskobu, SEM, X-ışını, mikrosertlik, adhezyon testi ve mikro abrasyon aşınma testlerine tabi tutulmuş, sodaj matkaplarına uygulanan mevcut kaplamalarla ve herhangi bir işlem uygulanmayan numune ile kıyaslanmıştır. Borlama işlemi sonucunda, borlama süresinin artışına bağlı olarak kaplama tabakasının kalınlığı 32-202 ?m, sertlik değerleri ise 1386-2333 HV olarak ölçülmüştür. Borlama işlemi yüzey sertliğini yaklaşık 4-6 kat arttırmıştır. Aşınma deneyleri sonucunda borlanan tüm numunelerin aşınma dirençleri borlanmayana numuneye göre arttığı tespit edilmiştir. Borlama süresi artışına paralel olarak aşınma direncinin arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca elde edilen kaplamaların mevcut endüstride kullanılan kaplamalardan daha üstün performans gösterdiği belirlenmiş ve yöntem ile ilgili patent başvurusu yapılmıştır.</p>
Anahtar Kelimeler:	Sondaj matkabi, nanobor, aşınma, mikro-abrasyon
Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu Mu?:	Hayır
Projeden Yapılan Yayınlar:	1- Micro-Abrasion Wear Behavior of Thermal Spray Coated Steel Tooth Drill Bits (Bildiri - Uluslararası Bildiri - Poster Sunum), 2- ZEMİN DELME AYGITLARININ AŞINMA DİREÇLERİNİN ARTTIRILMASI İÇİN YÖNTEM (Patent - Ulusal - Başvuru),