

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**MELONİTE İŞLEMİ UYGULANAN AISI 4140 ÇELİKLERİNİN İÇ YAPI,
MEKANİK VE TRİBOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Metal Öğrt. Yedigir Alaettin KONAK

**ARALIK 2017
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**MELONİTE İŞLEMİ UYGULANAN AISI 4140 ÇELİKLERİNİN İÇ YAPI, MEKANİK VE
TRIBOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Metal Öğrt. Yedigir Alaettin KONAK

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"YÜKSEK LİSANS (METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ)"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 02 / 11 / 2017

Tezin Savunma Tarihi : 22 / 12 / 2017

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Hamdullah ÇUVALCI

Trabzon 2017

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında
Yadigar Alaettin KONAK tarafından hazırlanan**

**MELONİTE İŞLEMİ UYGULANAN AISI 4140 ÇELİKLERİNİN İÇ YAPI, MEKANİK VE
TRİBOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

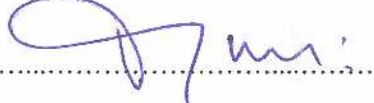
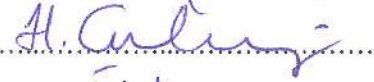
başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 21/ 11/ 2017 gün ve 1728 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Ümit ALVER

Üye : Prof. Dr. Hamdullah ÇUVALCI

Üye : Doç. Dr. Hakan ADATEPE


.....

.....

.....

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Melonite işlemleri uygulanan AISI 4140 çeliklerinin iç yapı, mekanik ve tribolojik özelliklerinin incelenmesi adlı tez konum kapsamında yürütölen ve tamamlanan bu çalışmada, bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, bu çalışmaların her aşamasında yardımlarını esirgemeyen danışman hocam sayın Prof. Dr. Hamdullah ÇUVALCI' ya teşekkür ederim. Teknik destek ve yardımlarını esirgemeyen Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünde bulunan hocalarıma, arkadaşlarıma ve teknisyenlere teşekkür ederim. Çalışma süresi boyunca desteklerini esirgemeyen Gök-Tem Kimya ve Metalurji Tic. Ltd. Şti. firma yetkilisi Aziz GÖKNİL' e, TİSAŞ Trabzon Silah Sanayi A. Ş. yetkililerine ve özellikle Makina Mühendisi Murat ALEMDAROĞLU' na teşekkür ederim.

Son olarak gösterdikleri özveri ve manevi desteklerinden dolayı aileme ve eşime teşekkür ederim.

Yadigar Alaettin KONAK
Trabzon 2017

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Melonite İşlemi Uygulanan AISI 4140 Çeliklerinin İç Yapı, Mekanik ve Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona danışmanım Prof. Dr. Hamdullah ÇUVALCI’ nın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 22 /12 /2017

Yadigar Alaettin KONAK

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	VIII
SUMMARY.....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
TABLolar DİZİNİ.....	XIV
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.1.1. Yüzey ve Termokimyasal Kaplamalar.....	1
1.1.1.1. Yüzey.....	1
1.1.1.2. Termokimyasal Kaplamalar.....	2
1.1.1.3 Nitrürleme.....	3
1.1.1.3.1. Gaz Nitrürleme.....	4
1.1.1.3.2. Tuz Banyosunda Nitrürleme.....	5
1.1.1.3.3. Plazma Nitrürleme.....	5
1.1.1.4. Karbürleme.....	7
1.1.1.4.1. Katı Ortamda Karbürleme.....	8
1.1.1.4.2. Sıvı Ortamda Karbürleme.....	8
1.1.1.4.3. Gaz Ortamda Karbürleme.....	9
1.1.1.5. Karbonitrürleme.....	9
1.1.1.5.1. Sıvı Karbonitrürleme.....	9
1.1.1.5.2. Gaz Karbonitrürleme.....	10

1.1.2.	AISI 4140 Çeliği.....	10
1.1.3.	Aşınma.....	14
1.1.3.1.	Aşınma Türleri.....	15
1.1.3.1.1.	Adhezyon ve Adhesif Aşınma.....	15
1.1.3.1.2.	Adhezyon Mekanizması.....	15
1.1.3.1.3.	Abrasiv Aşınma.....	16
1.1.3.1.4.	Erozyon Aşınması.....	16
1.1.3.1.5.	Kavitasyon Aşınması.....	17
1.1.3.1.6.	Korozyon ve Korozif Aşınma.....	18
1.1.3.1.7.	Yorulma Aşınması.....	20
1.1.4.	Sürtünme.....	21
1.1.5.	Melonite İşlemi.....	21
1.1.5.1.	Giriş.....	21
1.1.5.2.	Melonite İşlemi.....	21
1.1.6.	Literatür Özeti ve Çalışmanın Amacı.....	27
2.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	28
2.1.	Giriş.....	28
2.2.	Aşınma Deney Numunesinin Hazırlanması.....	29
2.3.	Kullanılan Tuzlar.....	31
2.4.	Tuz Banyosunun Hazırlanması.....	32
2.5.	Mikrosertlik Ölçümü.....	35
2.6.	SEM ve XRD İncelemeleri.....	35
2.7.	Aşınma Deneyi.....	36
3.	BULGULAR.....	40
3.1.	Malzemelere Ait Metalografik Görüntüler.....	40
3.2.	Kaplama Kalınlığının Belirlenmesi.....	48
3.3.	Numunelerin Mikrosertlik Ölçümü.....	50
3.4.	Aşınma İşlemine Tabi Tutulmuş Kaplanmamış ve Kaplanmış Numunelerin SEM Görüntüleri.....	50
3.5.	Aşınma Deney Sonuçları.....	65

4.	İRDELEME.....	68
5.	SONUÇLAR.....	70
6.	ÖNERİLER.....	71
7.	KAYNAKLAR.....	72

ÖZGEÇMİŞ



Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

MELONİTE İŞLEMİ UYGULANAN AISI 4140 ÇELİKLERİNİN İÇ YAPI,
MEKANİK VE TRİBOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Yadigar Alaettin KONAK

Karadeniz Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Metallurji ve Malzeme Mühendisliği

Danışman: Prof. Dr. Hamdullah ÇUVALCI

2017, 73 sayfa,

Bu çalışmada, AISI 4140 çeliğine melonite işlemi uygulanarak kaplandı. Kaplama işleminden sonra, kaplanmış ve kaplanmamış AISI 4140 çeliklerin sertlik değerleri laboratuardaki mevcut mikrosertlik cihazıyla tespit edildi. Aşınma performansları laboratuardaki mevcut aşınma test cihazı yardımı ile belirlendi. Aşınma testine tabi tutulan malzemelerin iç yapı ve aşınma yüzeyleri SEM de incelendi. Deneyler sonucunda melonite kaplanmış malzemelerin kaplanmamış malzemelere göre aşınma direncinin arttığı ve sürtünme katsayılarının ise azaldığı gözlemlendi. Ayrıca kaplanmış malzemelerin sertlik değerinin kaplanmamış malzemeye göre iki ile üç katı arasında arttığı belirlendi. Yapılan deneyler sonucunda melonite kaplanmış malzemelerin, kaplanmamış malzemelere alternatif olabileceği belirlendi.

Anahtar Kelimeler: AISI 4140 çeliği, Melonite işlemi, Aşınma

Master Thesis

SUMMARY

INVESTIGATION OF INTERIOR STRUCTURE, MECHANICAL AND TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF AISI 4140 STEELS USED IN MELONITE PROCESSING

Yadigar Alaettin KONAK

Karadeniz Technical University

The Graduate School of Natural and Applied Sciences

Metallurgy and Materials Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Hamdullah ÇUVALCI

2017, 73 pages

In this study, AISI 4140 steel was coated using Melonite coating method. After coating, the hardness values of the coated and uncoated AISI 4140 steels were determined by the microhardness tester in the laboratory. Wear performances were determined with the help of the wear tester in the laboratory. The internal structure and wear surfaces of the materials subjected to the wear test were examined in SEM. As a result of the experiments, it was observed that the melonite coated materials increased the wear resistance and the friction coefficients decreased as compared to the uncoated materials. It was also determined that the hardness value of the coated materials increased between two and three times that of the uncoated materials. As a result of the experiments, it was determined that the melonite coated materials could be an alternative to the uncoated materials.

Key Words: AISI 4140 steel, Melonite coating, Wear

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Plazma nitrüleme ekipmanının şematik gösterimi.....	6
Şekil 1.2. 4140 çeliğine ait TTT diyagramı.....	13
Şekil 1.3. 4140 çeliğine ait CCT diyagramı.....	14
Şekil 1.4. a) Kesme, b) Çatlak, c) Tekrarlı yük nedeniyle yorulma çatlak, d) Tane kopması.....	16
Şekil 1.5. a)Abrasif, b)Yorulma, c)Plastik deformasyon, d)Ergime, e) Ergime-Süperplastik akma, f)Atomik erozyon.....	17
Şekil 1.6. a) Kabarcık çarpmasının mekanizması, b) Deney sonunda metalik malzemede oluşan hasar görüntüsü.....	18
Şekil 1.7. a) Adesif aşınma önlenmiştir, b) Temas sonucu film zedelenmiş fakat adesif aşınma önlenmiştir, c) Aşınan film üzerinde oyuklarda meydana gelen anodik çözülme sonucu yoğun korozyon, d) Kontrolsüz adesif aşınma, yüzeyde hızlı korozyon.....	19
Şekil 1.8. a) Çatlak başlangıcı, b) Hareket düzlemi boyunca çatlak oluşumu, c) Sekonder çatlak başlangıcı, d) Aşınma parçacığının meydana gelmesi.....	20
Şekil 1.9. Melonite kaplama yönteminin şematik gösterimi.....	22
Şekil 1.10. Oksidasyon işleminin şematik gösterimi.....	22
Şekil 1.11. İşlem süresine göre nitrüleme sertlik derinliği.....	23
Şekil 1.12. Farklı işleme tabi tutulmuş malzemelerin korozyon davranışı.....	23
Şekil 1.13. İşlem süresi boyunca kaplanmış numunelerin korozyon direnci.....	24
Şekil 1.14. Farklı katmanların aşınma davranışı.....	24
Şekil 1.15. Farklı katmanların sürtünme katsayıları.....	25
Şekil 1.16. Melonite işlemi görmüş pistonlar ve miller.....	25
Şekil 1.17. Melonite işlemi görmüş cıvata ve somunlar.....	26
Şekil 1.18. Melonite işlemi görmüş dişli çarklar.....	26

Şekil 1.19. Melonite işlemi görmüş silah ekipmanları.....	26
Şekil 2.1. Kaplama işleminde kullanılan a) Fırın görünümü, b) Paslanmaz Çelik Pota Görünümü.....	29
Şekil 2.2. Aşınma deneyinde kullanılan numunenin teknik resmi.....	29
Şekil 2.3. Aşınma deney numunelerinin yakından görünümü.....	30
Şekil 2.4. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı.....	30
Şekil 2.5. Kaplama işleminde kullanılan deney düzeneği.....	33
Şekil 2.6. Tuz banyosunda kullanılan tuzun terazide tartımı.....	34
Şekil 2.7. Deney esnasında alınan kişisel güvenlik önlemleri.....	34
Şekil 2.8. Mikrosertlik ölçüm cihazı.....	35
Şekil 2.9. Taramalı elektron mikroskobu (SEM).....	36
Şekil 2.10. X ışınları analiz cihazı.....	36
Şekil 2.11. Aşınma deneyinde kullanılan test cihazı	37
Şekil 2.12. Aşınma test cihazı kontrol paneli.....	37
Şekil 3.1. 580°C de 2 saat melonite işlemine tabi tutulan numunelerin SEM Görüntüleri (a-b-c-d).....	40
Şekil 3.2. Kaplanmamış ve kaplanmış numunelerin element dağılımı; a) Kaplanmamış, b) Kaplanmış.....	41
Şekil 3.3. Farklı sürelerde kaplanmış ve kaplanmamış numunelerin XRD sonuçları.....	42
Şekil 3.4. 1 saatlik kaplama sonucu elde edilen numunenin SEM EDS analizi a) Analizlerin yapıldığı mikro yapı görüntüsü, b) Noktasal analizi ve c) Yeşil çizgi boyunca Fe, O, C ve N atomlarının dağılımını gösteren çizgi analizi.....	43
Şekil 3.5. 2 saatlik kaplama sonucu elde edilen numunenin SEM EDS analizi a) Analizlerin yapıldığı mikro yapı görüntüsü, b) Noktasal analizi ve c) Yeşil çizgi boyunca Fe, O, C ve N atomlarının dağılımını gösteren çizgi analizi.....	45

Şekil 3.6. 3 saatlik kaplama sonucu elde edilen numunenin SEM EDS analizi a) Analizlerin yapıldığı mikro yapı görüntüsü, b) Noktasal analizi ve c) Yeşil çizgi boyunca Fe, O, C ve N atomlarının dağılımını gösteren çizgi analizi.....	47
Şekil 3.7. 2 saatlik kaplanmış numunelerin SEM kaplama kalınlığı görüntüsü.....	49
Şekil 3.8. 2 saatlik kaplanmış numunelerin SEM kaplama kalınlığı ölçüm görüntüsü.....	49
Şekil 3.9. Kplama süresinin sertliğe olan etkisinin gösterimi.....	50
Şekil 3.10. Kaplanmamış numunelerin 30 dakika boyunca, 5 N yük altında, 100 dev/dk hızında aşınma yüzey SEM görüntüleri a) Büyütme 250X b) Büyütme 1000X.....	52
Şekil 3.11. 580 °C’ de 2 saat Melonite işlemine tabi tutulan numunelerin 30 dakika boyunca, 5 N yük altında, 100 dev/dk hızında aşınma yüzey SEM görüntüleri. a) Büyütme 250X b) Büyütme 1000X.....	52
Şekil 3.12. Kaplanmamış numunelerin 60 dakika boyunca, 5 N yük altında, 100 dev/dk hızında aşınma yüzey SEM görüntüleri. a) Büyütme 250X b) Büyütme 1000X.....	53
Şekil 3.13. 580 °C’ de 2 saat Melonite işlemine tabi tutulan numunelerin 60 dakika boyunca, 5 N yük altında, 100 dev/dk hızında aşınma yüzey SEM görüntüleri. a) Büyütme 250X b) Büyütme 1000X.....	53
Şekil 3.14. Kaplanmamış numunelerin 90 dakika boyunca, 5 N yük altında, 100 dev/dk hızında aşınma yüzey SEM görüntüleri. a) Büyütme 250X b) Büyütme 1000X.....	54
Şekil 3.15. 580 °C’ de 2 saat Melonite işlemine tabi tutulan numunelerin 90 dakika boyunca, 5 N yük altında, 100 dev/dk hızında aşınma yüzey SEM görüntüleri. a) Büyütme 250X b) Büyütme 1000X.....	54
Şekil 3.16. Kaplanmamış numunelerin 120 dakika boyunca, 5 N yük altında, 100 dev/dk hızında aşınma yüzey SEM görüntüleri. a) Büyütme 250X, b) Büyütme 1000X.....	55
Şekil 3.17. 580 °C’ de 2 saat Melonite işlemine tabi tutulan numunelerin 120 dakika boyunca, 5 N yük altında, 100 dev/dk hızında aşınma yüzey SEM görüntüleri. a) Büyütme 250X b) Büyütme 1000X	55
Şekil 3.18. Kaplanmamış numunelerin 30 dakika boyunca, 15 N yük altında, 100 dev/dk hızında aşınma yüzey SEM görüntüleri. a) Büyütme 250X b) Büyütme 1000X.....	56

Şekil 3.19. 580 °C’ de 2 saat Melonite işlemine tabi tutulan numunelerin 30 dakika boyunca, 15 N yük altında, 100 dev/dk hızında aşınma yüzey SEM görüntüleri. a) Büyütme 250X b) Büyütme 1000X.....	56
Şekil 3.20. Kaplanmamış numunelerin 30 dakika boyunca, 25 N yük altında, 100 dev/dk hızında aşınma yüzey SEM görüntüleri. a) Büyütme 250X b) Büyütme 1000X.....	57
Şekil 3.21. 580 °C’ de 2 saat Melonite işlemine tabi tutulan numunelerin 30 dakika boyunca, 25 N yük altında, 100 dev/dk hızında aşınma yüzey SEM görüntüleri. a) Büyütme 250X b) Büyütme 1000X.....	57
Şekil 3.22. Kaplanmamış numunelerin 30 dakika boyunca, 35 N yük altında, 100 dev/dk hızında aşınma yüzey SEM görüntüleri. a) Büyütme 250X b) Büyütme 1000X.....	58
Şekil 3.23. 580 °C’ de 2 saat Melonite işlemine tabi tutulan numunelerin 30 dakika boyunca, 35 N yük altında, 100 dev/dk hızında aşınma yüzey SEM görüntüleri. a) Büyütme 250X b) Büyütme 1000X.....	58
Şekil 3.24. Kaplanmamış numunelerin 30 dakika boyunca, 5 N yük altında, 200 dev/dk hızında aşınma yüzey SEM görüntüleri. a) Büyütme 250X b) Büyütme 1000X.....	59
Şekil 3.25. 580 °C’ de 2 saat Melonite işlemine tabi tutulan numunelerin 30 dakika boyunca, 5 N yük altında, 200 dev/dk hızında aşınma yüzey SEM görüntüleri. a) Büyütme 250X b) Büyütme 1000X.....	59
Şekil 3.26. Kaplanmamış numunelerin 30 dakika boyunca, 5 N yük altında, 300 dev/dk hızında aşınma yüzey SEM görüntüleri. a) Büyütme 250X b) Büyütme 1000X.....	60
Şekil 3.27. 580 °C’ de 2 saat Melonite işlemine tabi tutulan numunelerin 30 dakika boyunca, 5 N yük altında, 300 dev/dk hızında aşınma yüzey SEM görüntüleri. a) Büyütme 250X b) Büyütme 1000X.....	60
Şekil 3.28. Kaplanmamış numunelerin 30 dakika boyunca, 5 N yük altında, 400 dev/dk hızında aşınma yüzey SEM görüntüleri. a) Büyütme 250X b) Büyütme 1000X.....	61
Şekil 3.29. 580 °C’ de 2 saat Melonite işlemine tabi tutulan numunelerin 30 dakika boyunca, 5 N yük altında, 400 dev/dk hızında aşınma yüzey SEM görüntüleri. a) Büyütme 250X b) Büyütme 1000X.....	61
Şekil 3.30. Kaplanmamış ve kaplanmış numunelerin yük ile ortalama sürtünme katsayısı ilişkisi.....	64
Şekil 3.31. Kaplanmamış ve kaplanmış numunelerin çalışma zamanı ile ortalama sürtünme katsayısı ilişkisi.....	64

Şekil 3.32. Kaplanmamış ve kaplanmış numunelerin dönme hızı ile ortalama sürtünme katsayısı ilişkisi.....	65
Şekil 3.33. Kaplanmamış ve kaplanmış numunelerin yük ile ağırlık kaybı ilişkisi.....	66
Şekil 3.34. Kaplanmamış ve kaplanmış numunelerin çalışma zamanı ile ağırlık kaybı ilişkisi.....	66
Şekil 3.35. Kaplanmamış ve kaplanmış numunelerin dönme hızı ile ağırlık kaybı ilişkisi.....	67



TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.1. AISI 4140 çeliğinin farklı standartlardaki karşılıkları.....	11
Tablo 1.2. AISI 4140 çeliğinin kimyasal kompozisyonu.....	11
Tablo 1.3. AISI 4140 çeliğinin ısı özellikleri.....	11
Tablo 1.4. AISI 4140 çeliğinin mekanik özellikleri.....	12
Tablo 1.5. AISI 4140 çeliğinin ısı işlem özellikleri.....	12
Tablo 1.6. AISI 4140 çeliğinin yaklaşık kritik sıcaklıkları.....	13
Tablo 2.1. Banyoların elde edilmesinde kullanılan tuzların özellikleri.....	31
Tablo 2.2. Kullanılan tuzların fiziksel özellikleri.....	32
Tablo 2.3. Kaplanmamış numunelerin aşınma deneyinde kullanılan parametreler	38
Tablo 2.4. 2 saat melonite işlemine tabi tutulan numunelerin aşınma deneyinde kullanılan parametreler.....	39
Tablo 3.1. AISI 4140 numunelerin ortalama sürtünme katsayıları.....	63

SEMBOLLER DİZİNİ

Ti	: Titanyum
Nb	: Niobyum
C	: Karbon
V	: Vanadyum
N	: Azot
Fe	: Demir
Mn	: Magnezyum
P	: Fosfor
S	: Kükürt
Mo	: Molibden
Cr	: Krom
Si	: Silisyum
NH_3	: Amonyak
NaCN	: Sodyum siyanür
BaCO_3	: Baryum karbonat
Al_2O_3	: Alümina
SiO_2	: Silisyum dioksit veya slika
CaO	: Kalsiyum oksit
Fe_2O_3	: Demir oksit
Fe_3C	: Demir karbür

CO ₂	: Karbondioksit
Na ₂ CO ₃	: Sodyum karbonat
C ₁₅	: Ortalama 0,15 karbonlu sementasyon çeliği
C ₄₅	: Ortalama 0,45 karbonlu alaşımsız ıslah çeliği
N	: Newton
42CrMo4	: 4140 veya ıslah çelikleri
16MnCr5	: Sementasyon çelikleri
X38CrMo5	: Düşük P ve S alaşımı içeren sıcak iş takım çeliğidir.
X20Cr13	: 420 kalite paslanmaz çelik
mm	: Milimetre
cm	: Santimetre
sa	: Saat
dk	: Dakika
mbar	: Milibar
HV	: Vickers sertlik değeri
HB	: Brinell sertlik değeri
HRC	: Rockwell sertlik değeri
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
°C	: Sıcaklık ölçü değeri (santigrat)
MPa	: Mega paskal
µm	: Mikrometre
XRD	: X-ışınları difraktometresi
mg	: Miligram
Ω	: Ohm

m^2 : Metrekare

ΔT : Delta T



1.GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

1.1.1. Yüzey Ve Termokimyasal Kaplamalar

1.1.1.1. Yüzey

Yüzey, bir maddenin dış ortamla temasta olan kısmı veya çevreyle olan sınırı olarak tanımlanır. Diğer bir ifadeyle yüzey, maddeyi çevreleyen ve onun geometrisini oluşturan yine maddenin kendisinden meydana gelen bir tabakadır. Maddenin çevreyle olan etkileşimi aynı maddenin yüzeyi üzerinden olmaktadır. Bu etkileşimlerin bazılarında malzemenin tamamına mâl olan özellikleri büyük ölçüde yüzey tarafından belirlenmektedir [1].

Malzemelerin yüzey özelliklerine bağlı özellikler aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Sürtünme ve aşınma özellikleri
- Korozyon davranışları
- Yüzeye bağlı mekanik özellikleri (Yorulma)
- Dış görünüm ve renkleri
- Optik özellikleri
- Fotoelektrik özellikler
- Komşu maddeye difüzyon özellikleri
- Yapışma özellikleri
- Elektrik kontak özellikleri
- Isıl elektron emisyon özellikleri

Görüldüğü gibi bu tür özelliklerin istendiği malzemelerde, malzemenin tamamını geliştirmek yerine sadece yüzeyini geliştirmek yeterli olabilmektedir. Buna örnek olarak dış görünümünün değiştirilmesi ve korozyondan korunmak amacıyla metal malzemelerin boyanması verilebilir.

Bazı durumlarda malzemenin yüzeyinden beklenen spesifik özellikler açısından malzeme yetersiz kalabilir ve daha farklı özelliklere sahip başka bir malzemeye ihtiyaç duyulabilir, bu gibi durumlarda tüm malzemeyi iyileştirmek veya değiştirmek yerine

sadece yüzeydeki malzemeyi değiştirmek büyük bir kaynak tasarrufu sağlamaktadır. Buna uygun bir örnek altın kaplamalı eşyalardır.

Bazı hallerde ise yüksek nitelikli malzemeyi kütleli olarak üretmek teknolojik veya ekonomik olarak mümkün olmayıp, aynı malzemeyi yüzeye yapıştırmak, kaplamak mümkün olmaktadır. Buna tipik örnek, kütle olarak sadece toz metalürjisi yöntemiyle küçük parçalar halinde üretilen sert karbürlerin geniş yüzeyli metallerin üzerine kaplanması verilebilir [1].

Gelişen teknolojinin hızlı bir şekilde ilerlemesinin sonucu olarak ihtiyaç duyulan çalışma koşullarında kullanılan makine yapı elemanları ve malzemeleri: özellikle aşınma, korozyon, erozyon, yorulma, oksidasyon ve yüksek sıcaklığa dayanım konularındaki talepleri tam olarak karşılayamamaktadır.

Farklı çalışma ortamlarının etkileri ile metalik malzemelerin kimyasal yapıları ve fiziksel özelliklerinde değişimler ortaya çıkmaktadır. Bu değişimlerin olumsuz etkilerini azaltmak, üretilen parçanın ömrünü ve kalitesini arttırmak ve bazı mekanik özelliklerini iyileştirmek amacıyla çeşitli metalik ve metalik olmayan kaplama yöntemleri geliştirilmiştir.

Yüzeye uygulanan iyileştirmeler malzemenin tüm kesitinin sadece çok küçük bir oranını tutmasına rağmen, elde edilen malzemenin ömrünü 10-100 kat arttırabilmektedir. Malzeme ömründe meydana gelen artış, malzemelerin yüzey işlemlerinin teknolojik ve ekonomik olarak ne kadar önemli olduğunu gözler önüne sermektedir [1].

1.1.1.2. Termokimyasal Kaplamalar

Termokimyasal işlemler veya termokimyasal difüzyon işlemi kavramları, karbürleme, dekarbürizasyon, nitrürleme, borlama gibi farklı yöntemleri kapsar.

Bu yöntemlerin amacı, yabancı element atomlarının malzemeye difüzyonuyla malzemenin yüzeyini ve yüzey kalitesini değiştirmektir. Bu şekilde üretilen tabakalarla, malzemeler istenilen kullanım amacına uygun özellikler kazanır.

Difüzyon esaslı kaplama proseslerinde, metalik (Ti, V, Nb) veya metalik olmayan (C, N, B) kaplama malzemesi ile altlık malzemesi arasında kimyasal bir etkileşim söz konusudur. Taban malzemesi ile tabaka arasındaki bu elementel bir alışveriş sonucu altlık kaplama arasında kuvvetli bağlar oluşur [2].

Termokimyasal kaplama yöntemleri şunlardır:

- Nitrürleme
- Karbürleme (Sementasyon)
- Borlama
- Karbonitrürleme

1.1.1.3. Nitrürleme

Nitrürleme, iş parçası yüzeyinin azotca zenginleştirildiği bir termokimyasal işlemdir. Azotun malzeme yüzeyine difüzyonu sonucu malzemenin yüzeyinde aşınma direncinin iyi olduğu sert bir tabaka oluşur. Nitrürleme, 500-600°C gibi bir sıcaklık aralığında, yani demir matrisli malzemelerin ferrit faz bölgesinde uygulanan bir yüzey işlemidir [3].

Nitrürlemenin amacı; malzeme yüzeyinin aşınma direncinin artırılması, korozyon dayanımının, yorulma dayanımının, yüksek hız çeliğinden imal edilmiş kesme takımlarında, soğuk ve sıcak iş çeliklerinde kullanım ömrünün istenilen seviyelere iyileştirilmesidir.

Nitrürlemenin kullanım alanları olarak ise otomobillerde dişli kutuları, takım elemanlarında, basınçlı döküm parçaları, hidrolik parçalar, projektör parçaları ve pres parçaları örnek olarak gösterilebilir.

Nitrürleme işleminin özelliklerini şu şekilde sıralayabiliriz:

- Nitrür bileşikleri nitrürleme işlemi esnasında oluşan çok sert ve gevrek bileşiklerdir.
- Nitrürleme işleminde, çelik yüzeyindeki azot iç kısımlara doğru difüze olur ve 5-15 µm boyutlarında çok ince nitrür çökeltileri oluşturmak için reaksiyona girer.
- İşlem sonrası su vermek gerekli değildir.
- İşlem süresi çok uzundur (40-90 saat).
- Sıvı nitrürlemede azot sağlayıcı ortam olarak NaCN ve KCN içeren banyolar kullanılır.
- Nitrürleme işleminde yeterli tabaka kalınlığı 0,5 mm civarındadır.

Nitrürleme işleminin avantajları:

- Çok yüksek sertlik değerine (1300 HV' ye kadar) ulaşılabilir.
- Ani soğutma ortamlarına ihtiyaç yoktur.
- Çelik seçimine bağlı olarak nitrür tabakası 500°C' ye kadar özelliğini kaybetmez.
- Yüksek aşınma dayanımı gösterir.
- Alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklere yüksek bir korozyon direnci sağlar.
- Düşük sıcaklıklarda gerçekleştiği için parçalarda minimum çarpılma sağlar.

Nitrürleme işleminin dezavantajları ise şunlardır:

- Etkili sert tabaka kalınlığı, gaz ortamında nitrürleme ile 0,7 mm ile sınırlıdır.
- Uzun işlem süreleri gereklidir.
- Sıcaklık arttıkça nitrürleme süresi kısılmasına rağmen sertlikte azalma meydana gelir.

Nitrürleme yöntemleri; gaz nitrürleme, tuz banyosunda nitrürleme, plazma nitrürleme, toz nitrürlemedir.

1.1.1.3.1. Gaz Nitrürleme

Yaygın olarak bir gaz nitrürleme sisteminde amonyak gazı kullanılır. Çelik, gaz sızdırmayan fırınlarda 500-600°C arasında amonyak gazı ile etkileşime sokulur. Amonyak gazı parçalanır ve atom halinde ayrılan azot, çelik yüzeyine difüze ederek yüzeyde nitrürleri oluşturur. Gaz nitrürleme süresi 40-110 saat arasında değişebilir, nitrürleme süresinin artması yüzey sertliğinin azalmasına neden olur [4].

Üretilen atomik azot gazı, azot konsantrasyonu ve sıcaklığa bağımlı olarak çelik yüzeyine emilir, çelik yüzeyinin alt tabakasında farklı bileşimlerde demir nitrürler oluşur. İyi bir nitrürleme işlemi için çelik yüzeyinde sürekli amonyak gazı sağlayan gaz akışı gereklidir. Azot miktarının fazla olması çelik yüzeyinde kalın demir nitrür tabakasının oluşumuna neden olabilir. Bu katman çok kalın olursa taşlama yapılması gerekir.

1.1.1.3.2. Tuz Banyosunda Nitrürleme

Tuz banyosunda (sıvı) nitrürleme, erimiş potasyum (K) ve sodyum (Na) siyanür tuzları (siyanatlar) içeren siyanürlü esaslı tuz banyolarında yapılır. Bu ortamda, yüksek sıcaklıklarda siyanürden (CN) karbon ayrışmasına benzer şekilde, düşük sıcaklıklarda azot ayrıştırılarak malzemeye verilir. Siyanür banyosunda 500- 600°C sıcaklıklarda siyanür tuzundaki karbon (C) ve azot (N) çelik yüzeyine difüze olur. Sıvı nitrürlemede düşük sıcaklıklarda daha yüksek sertliğe ulaşılabilmesi ve küçük kaplama derinliklerinde, aynı derinliğe daha kısa sürede ulaşılabilmesi sıvı nitrürlemenin gaz nitrürlemeye göre üstün tarafıdır.

Parçaların tuz banyolarına daldırılıp alınması da, gaz fırınlarındaki nitrürlemeye göre daha kolaydır. Ayrıca koruyucu kaplama yapmaya gerek kalmadan, bölgesel olarak kısmi daldırma yapılarak, bölgesel nitrasyon yapılabilir. Ancak dezavantajı, ısınma hızının yüksek olması nedeniyle daha çok deformasyon oluşma ihtimalinin olmasıdır. Hız çeliklerinin dışında, sıvı nitrürleme işlemi daha az kullanılır. Daha çok yüksek aşınma dayanımına sahip yüzey elde etmek veya değişken yüklenme hallerinde yüksek süreli dayanım oluşturmak için uygun bir yöntemdir. Bazı özel durumlarda havada soğutma işlemi de uygulanabilir. Bu nitrürleme işlemi özellikle yüksek aşınma dayanımının istenildiği yerlerde tercih edilen bir yöntemdir [5].

1.1.1.3.3. Plazma Nitrürleme

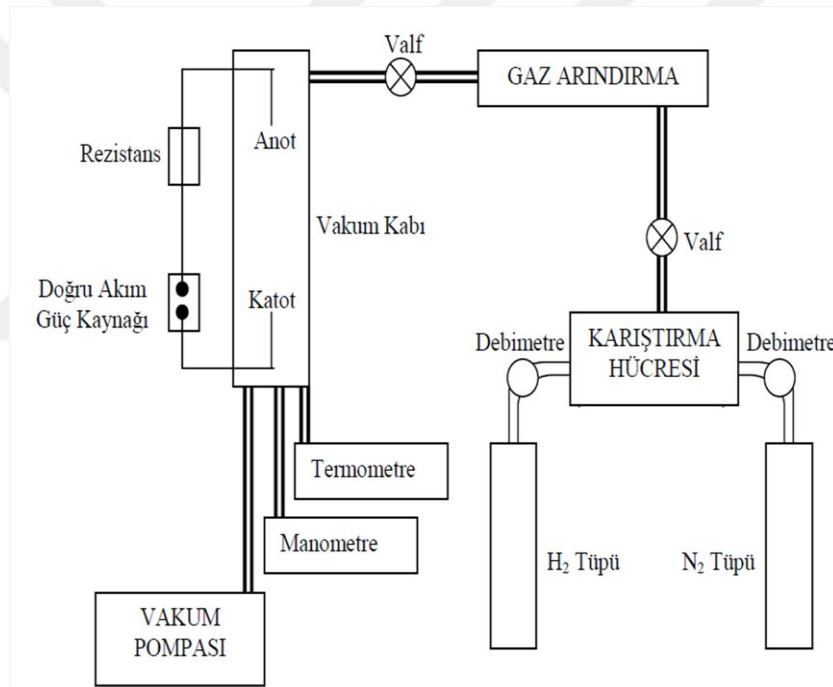
Gelişmiş bir yüzey sertleştirme yöntemi olan plazma nitrürleme, dökme demir, titanyum, çelik ve sinterlenmiş ürünlerin metalurjik, mekanik ve yüzey özelliklerinin iyileştirilmesinde kullanılmaktadır.

Vakum altında yapılan bu işlem, diğer nitrürleme yöntemlerine göre doğa dostu bir yöntem olup hem metalurjik hem de yüzey kalitesi açısından en iyi performansı sağlamaktadır. İşlem sıcaklığı düşük olduğu için, iş parçalarında boyutsal çarpılmaların azaltılması ve çekirdek özelliklerinin olumsuz yönde değişmemesi sağlanır.

Plazma nitrürleme yöntemi uzun zamandır kullanılan bir yöntemdir. Adını işlem sırasında kullanılan gaz karışımının oluşturduğu plazmadan alan yöntemde temel prensip, vakumlu bir ortamda azot atomlarının elektrik verilerek iyonlara dönüştürülmesi ve katot olarak yerleştirilen parça yüzeyine iletilmesidir. Bu işlem, 1-10 mbar gibi basınçlı vakum ortamında, 400-1000 V gerilim altında uygulanan doğru akımın azotu $N \rightarrow N^+ + e^-$

iyonlarına ayırması ve iyon haline gelen azot atomlarının malzeme yüzeyine iletilerek difüzyona uğratılmalarıyla gerçekleşir [6].

Şekil 1.1’ de plazma nitrürasyon yönteminin uygulandığı sistemin şematik resmi verilmiştir. Plazma nitrürleme sistemi; gaz dağıtım sistemi, elektrik güç kaynağı ve vakum fırını olmak üzere üç ana parçadan oluşmaktadır. Güç kaynağının kapasitesi, nitrürasyon yapılacak yüzey alanına bağlı olarak değişmektedir. 400-700 V arasında doğru akım sağlanabilen transformatörlerde akım yoğunluğu 1 mA/cm^2 civarındadır. Gaz jeneratöründe üretilen gazda N_2/H_2 oranı genellikle % 2 ile % 20 aralığında değişmektedir. Vakum pompası 1-10 torr basınç aralığında çalışmaya uygundur. Nitrürasyon işlemi boyunca malzeme yüzeyin sıcaklığı ölçülmektedir [7].



Şekil 1.1. Plazma nitrürleme cihazlarının şematik gösterimi [7]

Nitrürlenmiş malzemenin yapısı, yüzeyde beyaz tabaka onun hemen altında difüzyon tabakası ve en altta da çekirdek bölgesi olarak bilinen ana malzeme olmak üzere 3 bölümde incelenebilir.

Nitrürleme işleminde, azotun çeliğe iletildiği en üst yüzey tabakası azotun en yüksek miktarda bulunduğu bölgedir. Bu tabaka oldukça sert ve gevrek bir yapıya sahiptir. Yüzeyden içeriye doğru ilerledikçe azot atomlarının, demir kafesinde arayer atomu olarak yer aldığı ya da çeliğin bileşimindeki nitrür yapıcı elementlerle oluşturduğu ince dağılmış

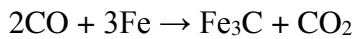
alaşım nitrürlerinin yer aldığı difüzyon tabakasına gelinir. Çeliğin daha alt bölgelerine doğru gidildikçe azot miktarı ve dolayısı ile sertlik azalır ve sonunda azotun difüze olamadığı çekirdek bölgesine ulaşılır. Beyaz tabaka ve difüzyon tabakasının yapısal özellikleri, iyon nitrürlenmiş çeliklerin özelliklerini belirleyen en önemli parametrelerdir. Beyaz tabaka, iyon nitrürlenmiş çeliklerin aşınma davranışını iyileştirip, korozyon özelliklerinin artmasına katkı sağlarken, difüzyon tabakası da çeliklerin tribolojik özellikleri ve yorulma dayanımını arttırıcı yönde etki gösterir [8].

En dıştaki nitrür tabakası olan beyaz tabaka, nital ile dağlandıktan sonra beyaz renkte görülen tabakadır. Bu tabaka nitrürleme esnasında difüzyon tabakasının üzerinde Fe_2N_3 ve Fe_4N demir nitrür bileşiklerinden oluşan çok sert bir tabaka olup, parçanın kullanımı sırasında pul pul dökülerek alttaki nitrür tabakasının da yüzeyinin aşınmasına yol açmaktadır. Beyaz tabakanın kalınlığı; nitrürleme sıcaklığı, zaman, ortamın azot içeriği ve parçanın kimyasal bileşimine bağlı olarak değişmektedir [9].

1.1.1.4. Karbürleme (Sementasyon)

Sementasyon çelikleri karbon oranları % 0,2'nin altında olan çeliklerdir. Sementasyon işlemi sonrası yüzeyleri sert ve aşınmaya dirençli, iç kısımları ise yumuşak ve tok olması istenilen darbeleri ve değişen kuvvete maruz kalan dişli çarklar, miller, makaralar, kesici takımlar gibi uygulama alanlarına sahiptir.

Malzemede bileşiği oluşturan atomlar, hangi ortam olursa olsun aynı kimyasal bileşime sahip olmak için difüzyon olarak isimlendirilen yayılma eğilimindedirler. Karbürleme veya sementasyon işlemi, düşük karbonlu çeliklerin yüzeyine atomsal karbon difüze edilmesi esasına dayanır ve gerekli olan karbon, verici ortamdan sağlanır [10].

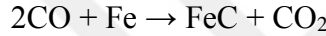


Tipik olarak, sementasyon prosedürü sonunda 60-63 HRC'lik bir kabuk sertliği ve 10-40 HRC'lik bir çekirdek sertliği elde edilmekle beraber, kabuk ve çekirdek sertlikleri; çeliğin kimyasal bileşimine, iş parçasının kesit kalınlığına ve ısıtma işlem prosedürüne bağlıdır. Sementasyon işlemi yapıldığı ortama göre 3 şekilde uygulanmaktadır: Katı ortamda karbürleme (kutu sementasyon), sıvı ortamda karbürleme, gaz ortamında karbürleme işlemi [11].

1.1.1.4.1. Katı Ortamda Karbürleme

Karbürleme işlemi katı ortamda gerçekleşir. Katı karbürleme ortamlarının temel bileşeni odun kömürüdür. Ayrıca meşe kömürü, kok ve linyit kullanılabilir. Bu maddelerin daha etkili karbon verebilmeleri için gaz oluşumunu teşvik eden baryumkarbonat (BaCO_3) veya sodyumkarbonat (Na_2CO_3) ile karıştırılmaları gerekir.

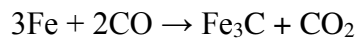
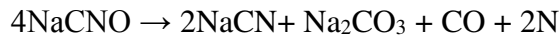
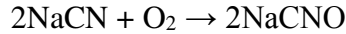
Katı ortamda karbürleme sisteminde aşağıdaki şekillerde termokimyasal tepkimeler meydana gelir. Sıcaklığın yükselmesi ile kutu içerisindeki havanın oksijeni ile reaksiyona girerek CO_2 oluşturur. CO_2 'de havanın oksijeni ile reaksiyona girerek CO meydana getirir. Karbürleme işlemi karbon monoksit gazı ile olur.



Sıcaklığın artmasıyla yukarıdaki reaksiyona göre CO oluşumu artar. Ortaya çıkan CO gazı numunelerin yüzeylerinde ayrışarak CO_2 ve atomik karbon meydana getirir. Atomik karbon östenit faza gelmiş olan çelik tarafından emilerek bünyede çözünür. Böylece numunelerin yüzeyleri karbonca zenginleşmiş olur. Açığa çıkan CO_2 tekrar odun kömürü ile reaksiyona girer ve CO gazı meydana getirir ve reaksiyonlar aynen devam eder [12].

1.1.1.4.2. Sıvı Ortamda Karbürleme

Sıvı karbürleme ortamı olarak tuz banyoları sodyum siyanür (NaCN), potasyum siyanür (KCN), kalsiyum siyanür ($\text{Ca}(\text{CN})_2$) içerisinde, katı ortama göre daha kısa sürelerde, fakat aynı derece yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilir. Yüksek banyo sıcaklıklarında ($850-930^\circ\text{C}$) siyanürün çeşitli reaksiyonları sonucu karbon, iş parçası yüzeyine yayılır. Bu yöntemde karbürleme reaksiyonları şu şekildedir:



İlk reaksiyon siyanür tuzu ile havanın ara yüzeyinde oluşur. Diğer iki reaksiyon ise, tuz banyosu ile çelik arasında meydana gelir. Tuz eriyiğinin ısı iletimi daha iyi olduğu için,

işlem süresi kısadır (5-60 dk), çarpılma ve tane büyümesi olasılığı azalır. Bunlar sıvı ortamda karbürlemenin avantajları olarak söylenebilir. Bunun yanında yöntemin sakıncaları; yatırım masraflarının yüksek, siyanür tuzlarının çok zehirli olmasıdır [13].

1.1.1.4.3. Gaz Ortamında Karbürleme

Gaz ortamında karbürleme işlemi, yüzey kalitesinin korunabilmesi ve işlem temizliği yanında, hem kontrol edilebilirliği hem de tekrarlanabilirliği bakımından büyük endüstriyel uygulamalarda tercih edilir. Karbon verici gaz ortamı doğalgaz, metan, etan, propan, havagazı, azot vb. olabilir. Gazın bileşimine göre karbürleme etkisi değişir ve yüzeyde istenen karbon konsantrasyonu elde edilebilir. Prensip olarak 4 farklı gaz üretme yöntemi vardır :

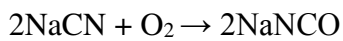
- Karbürleme sıvısının fırın içine damlatılması
- Gaz üreten bir cihaz yardımıyla fırına gaz gönderilmesi
- Gaz ve havanın doğrudan girişi
- Bir vakum fırınında karbürleme [13].

1.1.1.5. Karbonitrürleme

Bu işlem ile çeliğe karbürlemedekinden daha az karbon fakat önemli miktarda azot da verilir. Oluşan nitrürlerin katkısıyla, su vermeden sonra eğer sertliğinde ki kabuk genellikle karbürlemeden daha düşük sıcaklık ve daha kısa sürede elde edilir. Östenitte çözünen azot kritik soğuma hızını düşürdüğü için yağ hatta gazla soğutma dahi martenzitik yapının meydana gelmesini sağlar [14].

1.1.1.5.1. Sıvı Karbonitrürleme

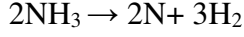
Düşük sıcaklıktaki sıvı karbürlemeye benzer. Ancak verilen azot miktarını yükseltmek için siyanat oranının artırılması gerekir. % 30 siyanür içeren taze banyo yaklaşık 12 saat 700°C’de yaşlandırılır.



Yukarıda ki reaksiyon ile yeteri kadar siyanat meydana gelir. Bundan sonra asıl işlem 760°C- 850°C arasında gerçekleştirilir [14].

1.1.1.5.2. Gaz Karbonitrürleme

Gaz karbürleme de kullanılan atmosfere %2-12 amonyak katılarak çoğunlukla 790°C-850°C arasında yapılır. Gaz halindeki amonyağın sıcak iş parçası yüzeyinde;



olarak ayrışmasıyla çeliğe karbonun yanında azot da verilmiş olur. Sıcaklık aralığının altında çalışılıp östenit + ferrit bölgesine fazla girilirse, ferritte karbonun çok az çözünebilmesinden dolayı çeliğin, yapısına karbon alması güçleşir. Sıcaklık aralığının üstüne çıkılırsa parçanın su verme sonucu çarpılma dışında amonyağın molekül azot ve hidrojene ayrışması ağırlık kazanır [14].

1.1.2. AISI 4140 Çeliği

AISI 4140, düşük alaşımlı Cr-Mo'li ıslah çeliklerinin en yaygın kullanım alanına sahip olup, krom-molibden çeliği olarak da bilinmektedir. 4140 serisi çeliği, düşük alaşımlı yapı çelikleri, dövme kalite çelikler, orta karbonlu çelik ve alaşımlı çelik olarak da isimlendirilir.

Kimyasal bileşimleri karbon miktarı bakımından sertleştirilmeye elverişli olan ve ıslah işlemi sonunda belirli yükler altında yüksek tokluk özelliği gösteren alaşımlı yapı çelikleridir. İndüksiyon edilebilirliği iyidir.

Kullanım alanları arasında; otomobil ve uçak yapımında, krank mili, aks mili ve kovani, yivli mil ve benzeri sünekliği yüksek parçalar, ayrıca dişli çark ve bandaj gibi parçaları sayabiliriz. Ayrıca, soğuk çekme mil ve çubukları, makine çelikleri, yaylar, türbin motorları, turbo jeneratörlerin fren halka ve kolları, gemi zincir ve demirleri yapımında ve birçok yerde kullanılmaktadır [15].

Tablo 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, ve 1.6' da 4140 çeliğine ait kimyasal kompozisyonlar, mekanik, ısıl işlem, ısı ve elektrik özellikleri ile kritik sıcaklıklar görülmektedir.

Tablo 1.1. 4140 çeliğinin farklı standartlardaki karşılıkları [15]

AISI-SAE	DIN	EN	AFNOR	JIS
4140	1,7225	42CrMo4	42 CD 4	SCM 440 (H)

Tablo 1.2. 4140 çeliğinin kimyasal kompozisyonu [15]

ELEMENT	% AĞIRLIK
C	0,38-0,45
Mn	0,75-1,00
P	0,035 (maks)
S	0,04 (maks)
Si	0,15-0,30
Cr	0,80-1,10
Mo	0,15-0,20

Tablo 1.3. 4140 çeliğinin ısı özellikleri [15]

ÖZELLİKLER		SICAKLIK (°C)
Isıl Genleşme ($10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	12,3	20-100
Isıl İletkenlik (W/m-K)	42,7	100
Özgül Isı (J/kg-K)	473	150-200

Tablo 1.4. 4140 çeliğinin mekanik özellikleri [15]

ÖZELLİKLER		SICAKLIK (°C)
Yoğunluk (x1000kg/m ³)	7,70-8,03	25
Poison Oranı	0,27-0,30	25
Elastisite Modülü (GPa)	190-210	25
Çekme Dayanımı (MPa)	655,00	25
Akma Dayanımı (MPa)	417,10	25
% Uzama	25,70	25
% Kesit Daralması	56,90	25
Sertlik (HB)	197	25
Darbe Dayanımı (J)	54,50	25
Elektrik Direnci (10 ⁻⁹ Ω-m)	12,30	20

Tablo 1.5. 4140 çeliğinin ısıtma işlem özellikleri [15]

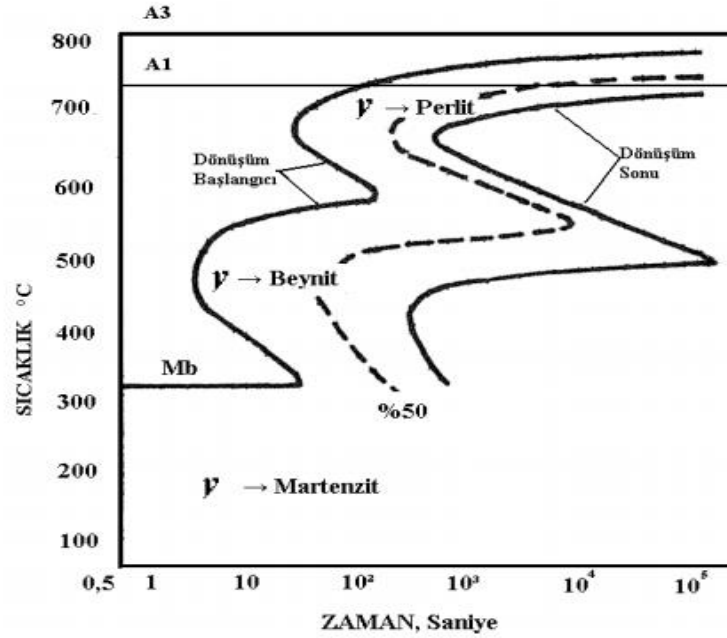
Özellikler	Koşullar	
	Sıcaklık (°C)	Soğutma
Sıcak Şekil Verme	850-1050 °C	
Normalizasyon	840-880 °C	
Yumuşak Tavlama	680-720 °C	
Sertleştirme	820-860 °C	Su
	820-860 °C	Yağ

Tablo 1.6. 4140 çeliğinin yaklaşık kritik sıcaklıkları [15]

Element	Mf	Ms	Ar ₁	Ac ₁	Ar ₃	Ac ₃
Sıcaklık (°C)	260 °C	343 °C	680 °C	732 °C	743 °C	804 °C

4140 çeliği aynı gruptan çeliklerle kıyaslandığı zaman orta derecede sertleşebilir ancak onlara nazaran dayanım ve tokluğu ise daha iyidir. Fakat çalışma ortamlarındaki performansı normal değerlerdedir. Yüksek karbon içeriğinden dolayı daha iyi sertleşir ve mukavemeti artar. Çekme dayanımları 1650 MPa' a kadar çıkabilir. Sertleştirme ve temperleme ısıl işlemine uygundur. Çalışma ortamlarında ki dayanımı 480 °C'den sonra hızlı bir şekilde azalır. Isıl işlem ve gerilme konsantrasyonu ile çeşitli sıcaklıklarda dönüşüme uğrayabilirler [16].

TTT (Time- Temperature- Transformation) ve CCT (Continuously- Cooling- Transformation) diyagramları sıcaklık ve zamana bağlı olarak çelikte gerekli ısıl işlem özelliklerini ve oluşabilecek yapının tahmin edilmesini sağlar.

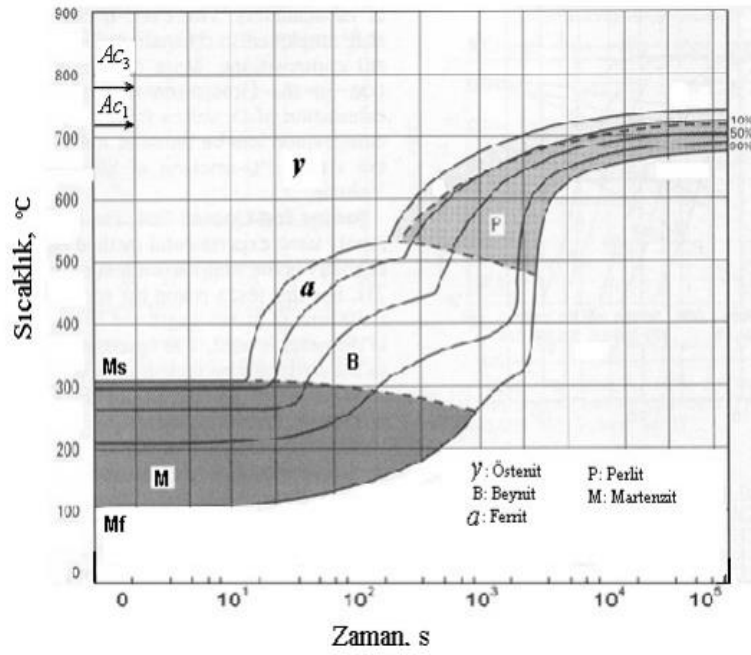


Şekil 1.2. 4140 çeliğine ait TTT diyagramı [18]

Şekil 1.2.' de İzotermik dönüşüm için 4140 çeliğine ait TTT diyagramı görülmektedir. İstenilen iç yapının elde edilmesi için çelik belirlenen sıcaklığa ısıtılır,

burada dönüşüm gerçekleşene kadar belli bir süre bekletilir ve dönüşüm gerçekleşince tekrar soğutulur.

4140 çeliğine ait CCT diyagramı Şekil 1.3' de görülmektedir. Bu diyagram özel soğutma ortamlarında ulaşılabilen soğutma hızının, östenitten martenzite veya beynitten perlitte faz dönüşümünün etkilerini içermektedir. Bu diyagramlar su verme ortamının etkilerinin teorik olarak görülebileceği diyagramlardır [17].



Şekil 1.3. 4140 çeliğine ait CCT diyagramı [18]

CCT diyagramı ile soğutma hızları sonunda malzemedeki yapılar görülür. Çok hızlı soğutma (örneğin su) ile yapının tamamen martenzite dönüşeceği açık bir şekilde görülmektedir. Çok hızlı olmamak kaydıyla örneğin yağda soğutularak beynitik bir yapı elde edilebilir. Yine Şekil 1.3.' de malzemede ferrit ve perlit yapısı oluşturmak için yavaş soğuma gerektiği görülmektedir.

1.1.3. Aşınma

Aşınma, bir cisimden mekanik etkiler sonucu olarak ve istenmeyen biçimde parçacık kopması olayıdır. Makine parçalarında meydana gelen aşınma, birbirlerine göre izafi harekete sahip makine parçası yüzeylerinin, çeşitli mekanik etkiler sonucunda

birbirlerinden parça koparması olarak tanımlanabilir. Aşınma olayının türleri aşağıda detaylı biçimde açıklanmıştır [19].

1.1.3.1. Aşınma Türleri

1. Adhezyon ve Adhesiv aşınma
2. Abrasiv aşınma
3. Erozyon aşınması
4. Kavitasyon aşınması
5. Korozyon ve korosif aşınma
6. Yorulma aşınması

1.1.3.1.1. Adhezyon ve Adhesiv Aşınma

Adhesiv aşınma, yüksek aşınma miktarları ve aynı zamanda yüksek ve değişken sürtünme katsayısı ile karakterize edilen önemli bir aşınma türüdür. Birbiri üzerinde kayan yüzeyler adhesiv aşınma nedeni ile hızla hasara uğrar ve kayma hareketi sürtünme katsayısının yüksekliği nedeni ile durabilir. Metaller adhesiv aşınmaya eğilimlidir. Bu nedenle yağlamanın kesintiye uğraması durumunda metal yüzeyler hızla adhesiv aşınma nedeni ile zarar görecektir. Birbiri üzerinde hareket eden yüzeyler adhezyon etkisinden uzaklaştırılmazsa aşınma kaçınılmazdır [22].

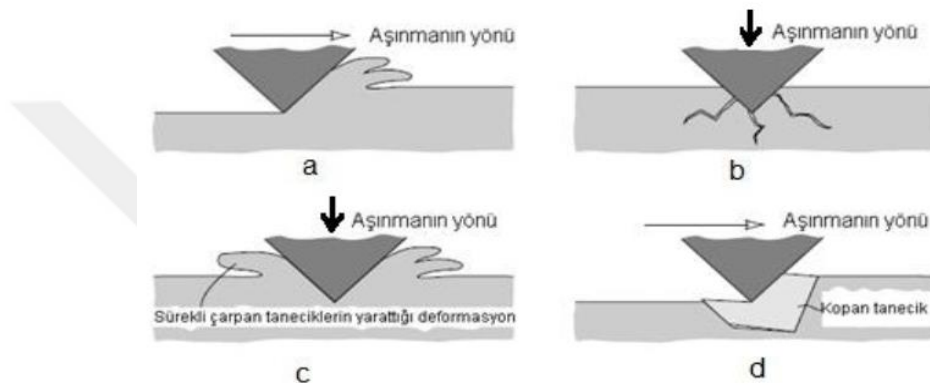
1.1.3.1.2. Adhezyon Mekanizması

Belli koşullar mevcut olduğunda, katıların çoğu, temas ettiği diğer katılarla yapışmaya eğilimlidir. Tesadüfen yan yana gelmiş katıların tümünde bu etkinin görülmemesinin nedeni, arada oksijen, yağ, su ya da kirleticiler gibi ortamların varlığıdır. Atmosferimiz ve organik maddeler, yüzeylerin adhezyonunu engelleyen tabakalar oluşturur. Ayrıca yüzey düzgünsüzlüğü ve sertlik de adezyon yeteğini azaltan unsurlardır. Adhezyon ve kayma konusunda, yüksek vakum altında gerçekleştirilen tribolojik deneyler, açık havada elde edilenlerden çok farklı sonuçlar vermektedir [22].

1.1.3.1.3. Abrasiv Aşınma

Katı bir cisim, kendisi ile eşit sertlikte ya da daha sert parçacıklara sahip başka cisim ile temas halinde ise meydana gelir. İçinde az miktarda sert parçacık bulunan yumuşak bir madde, toz halde olsa dahi abrasiv aşınmaya neden olabilir. Örnek vermek gerekirse, az miktarda silika lifleri ihtiva etmesi nedeni ile toz şeker üretimi sırasında yüksek sertlikte çelik makine parçaları dahi aşınmaktadır [20].

Şekil 1.4' de malzemelerin maruz kaldığı abrasiv aşınma şekilleri gösterilmiştir.



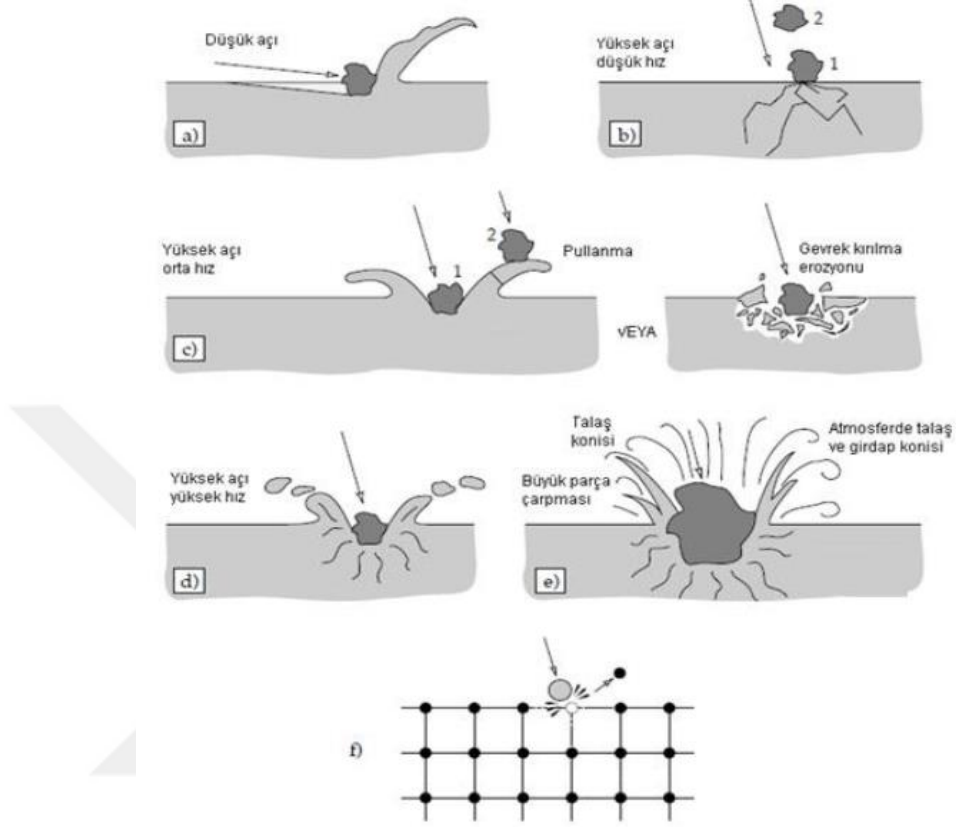
Şekil 1.4. a) Kesme, b) Çatlak, c) Tekrarlı yük nedeniyle yorulma çatlağı, d) Tane kopması [19]

1.1.3.1.4. Erozyon Aşınması

Erozyon aşınması, katı ya da sıvı parçacıkların bir cisme sürekli çarpması durumunda gözlenir. Makine parçalarının erozyon aşınmasına maruz kalması sık rastlanan bir durumdur. Tozlu bir alandan geçen jet uçağının türbin kanatlarından, çamurlu suyu aktaran pompanın kanatlarına kadar geniş bir alanda örneklerle rastlamak mümkündür. Genelde makine parçasının mukavemetinin yeterli olması, erozyon aşınması karşısında dayanımı garanti etmez [20].

Erozyon aşınmasının mekanizmasını incelerken, parçacıkların aşınan cisme çarpma açısı, çarpma hızı ve parçacık boyutu ana parametreler olarak ele alınır. Parçacıkların katı ve sert olması durumunda abrasiv aşınma şartlarının meydana gelme olasılığı yüksektir. Sıvı parçacıkların erozyona neden olması durumunda abrasiv aşınma yerine sürekli tekrarlayan çarpmaların yarattığı gerilmeler ana faktör olarak etki ederler [20].

Şekil 1.5' de malzemelerin maruz kaldığı erozyon aşınma şekilleri gösterilmiştir.



Şekil 1.5. a) Abrasif, b) Yorulma, c) Plastik deformasyon, d) Ergime, e) Ergime- Süperplastik akma, f) Atomik erozyon [19]

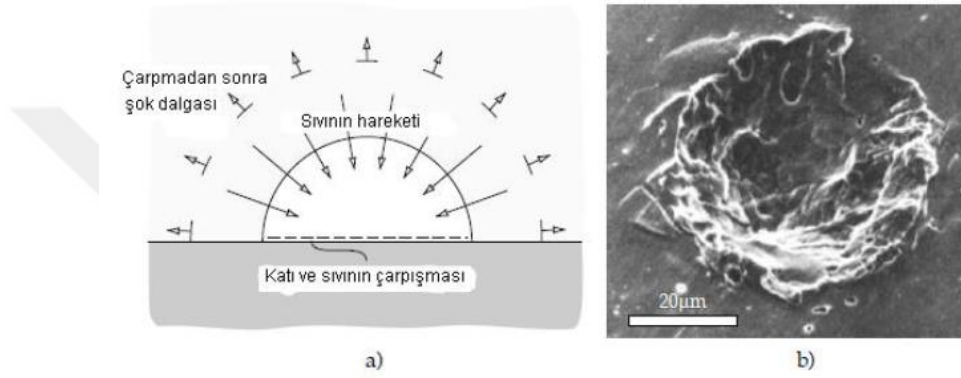
1.1.3.1.5. Kaviteasyon Aşınması

Kaviteasyon aşınması, sıvı (gemi pervanesi) ya da yaş buhar (türbin kanadı) içinde hareket eden katıların yüzeyinde meydana gelir. Aşınma, katı cismin yüzeyinde bir dizi delik ya da çukur oluşumu şeklinde ilerler. Bu yolla makina parçasının tamamı eriyip yok olabilir. Kaviteasyon nedeni ile, aşınan parçanın (pervane gibi) hareketi kısıtlanmak zorunda kalabilir [20].

Kaviteasyon mekanizması: Kaviteasyonun karakteristik işleyişi, katı cismin yüzeyinde gaz kabarcığı oluşması ve bu kabarcığın patlaması, açıklanan bu olayın sürekli olarak tekrar etmesi olarak açıklanabilir. Kabarcık oluşmasının nedeni, sıvı içinde erimiş

durumda bulunan gazların düşük basınç (veya vakum) nedeni ile sıvıdan ayrılmasıdır. Vakum oluşmasının nedeni, sıvının değişken bir geometrik formdan akmasıdır. Küçük çaplı borudan büyük çaplı boruya geçiş gibi. Pervanenin su içinde hareketi de buna benzer ani geçişler yaratır. Kavitasyonu önlemenin ideal yolu negatif basıncın oluşmasını engellemektir fakat pratikte bunun imkansız olduğu bellidir [20].

Şekil 1.6' da malzemelerin maruz kaldığı kavitasyon aşınma şekilleri gösterilmiştir.



Şekil 1.6. a) Kabarcık çarpmasının mekanizması, b) Deney sonunda metalik malzemede oluşan hasar görüntüsü [19]

1.1.3.1.6. Korozyon ve Korozi Aşınma

Korozi aşınma, hem yağlı hem de yağsız yüzeylerde olmak üzere geniş bir aralıkta etkilidir. Temel olarak bu tür aşınma, aşınan materyal ile korozi madde (bir kimyasal madde, reaktif yağlayıcı ya da oksijen gibi) arasındaki bir kimyasal reaksiyondur. Genel olarak korozi aşınma dediğimizde atmosferik oksijenin etkisi ile meydana gelen kimyasal reaksiyonları kastederiz. Bu aşınma türünde ilginç bir karakteristik nokta mevcuttur. Aşınma miktarı hızla artarken sürtünme katsayısı düşer. Aslında bu durum, korozi aşınma mekanizmasının belirlenmesinde yararlı bir unsurdur [21].

Adezyonu önleme amaçlı yüzey kimyasal reaksiyonları, eğer denetim altında alınmazlarsa, yüzeyden malzeme kaybına neden olabilirler. Eğer bir malzeme (metal) yüzeyde tabaka oluşturacak biçimde korozyona uğramış ise ve aynı zamanda yüzeyi üzerinde kayabilen bir başka cisimle temas halinde ise aşağıdaki 4 durumdan biri ortaya çıkabilir [19].

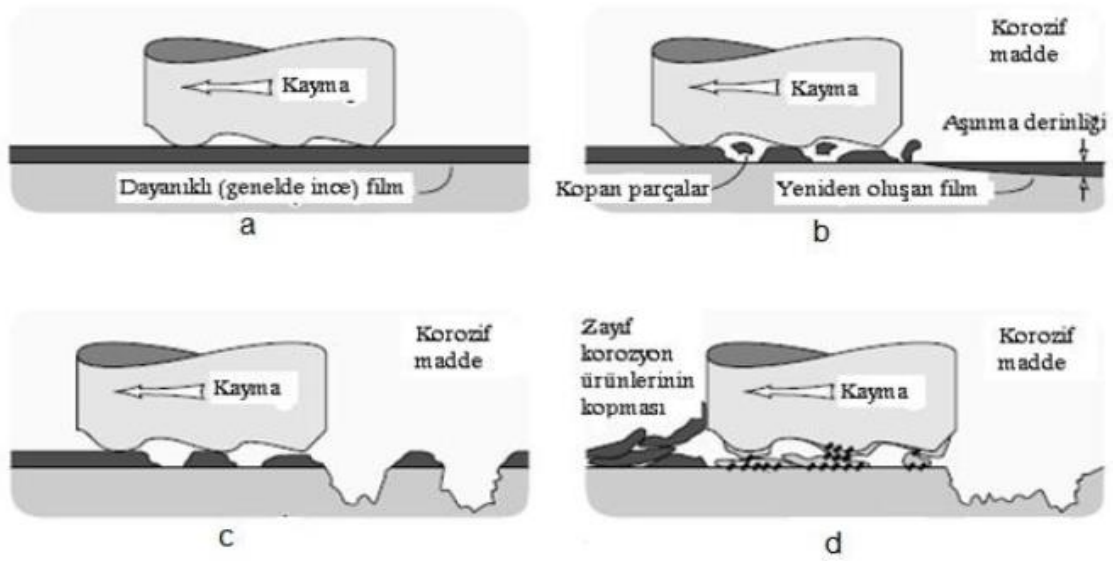
- Dayanıklı bir yağlayıcı tabaka oluşur ve bu tabaka hem korozyonu hem de aşınmayı önler,

- Yüzeylerin birbirini üzerinde kayması halinde kısa ömürlü ve dayanıksız bir film tabakası oluşur. Bu filmin hasar görmesi ile yüksek miktarda aşınma ortaya çıkar. Sürtünme katsayısı düşebilir ya da aynı kalabilir.

- Koruyucu yüzey filmi bir nedenle (pitting gibi) aşınabilir. Kalan film parçası ile ana malzeme arasında galvanik pil teşekkül eder. Bunun sonucunda yüzeyde hızlı bir aşınma baş gösterir.

- Korozyon ve aşınma prosesleri kendi başlarına ayrı ayrı etkirler ve bu iki prosesin yaratacağı aşınmanın toplamı kadar aşınma gözlenir.

Şekil 1.7' de malzemelerin maruz kaldığı korozyon ve koroziif aşınma şekilleri gösterilmiştir.

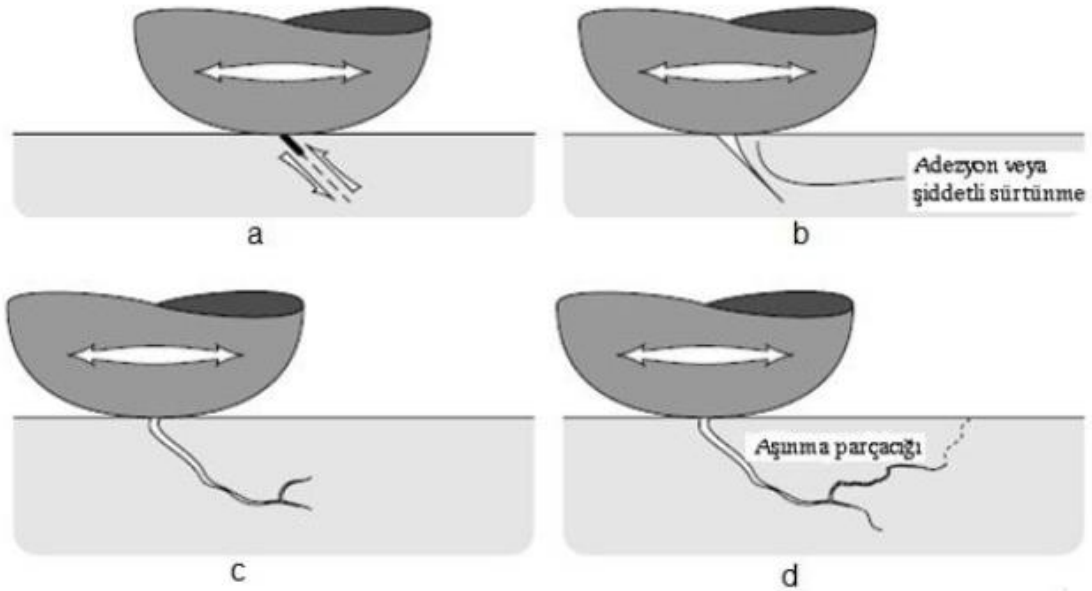


Şekil 1.7. a) Adesif aşınma önlenmiştir, b) Temas sonucu film zedelenmiş fakat adesif aşınma önlenmiştir, c) Aşınan film üzerinde oyuklarda meydana gelen anodik çözülme sonucu yoğun korozyon, d) Kontrolsüz adesif aşınma, yüzeyde hızlı korozyon [19]

1.1.3.1.7. Yorulma Aşınması

İyi yağlama koşulları sağlanmış parçalar arasında adezyon etkisinin olmadığını kabul etmemize rağmen yine de aşınma olabilmektedir. Bunun nedeni bir yüzeydeki çıkıntıların (pürüzlerin) diğer yüzeye kadar uzanması sonucunda meydana gelen deformasyonlardır. Pürüzlülüklerin (asperitilerin) diğer yüzeye teması sırasında yüksek gerilmeler oluşur. Bu durum birçok defa tekrar edince yorulma çatlakları ve sonucunda aşınma meydana gelir. Bu şartlar altında oluşan aşınma, çatlak başlangıcı, çatlak büyümesi ve kırılma biçiminde gelişir. Aşınmış yüzeylerde, aşınmamış olanlara göre büyük miktarda deformasyon görülür. Gerilme ve malzemenin mikro yapısındaki değişimler, aşınma prosesinde güçlü etkiye sahiptir. Literatürde “temas yorulması” ya da “yüzey yorulması” isimleri ile adlandırılan olaylar, yüzey üzerinde başka bir cismin tekrarlı yuvarlanması sonucunda oluşan yorulma kaynaklı hasarlardır. Bu olaya rulmanlarda ve benzeri yuvarlanmalı mekanizmalarda rastlanmaktadır [19].

Şekil 1.8' de malzemelerin maruz kaldığı yorulma aşınma şekilleri gösterilmiştir.



Şekil 1.8. a) Çatlak başlangıcı, b) Hareket düzlemi boyunca çatlak oluşumu, c) Sekonder çatlak başlangıcı, d) Aşınma parçacığının meydana gelmesi [19]

1.1.4. Sürtünme

Bir katı cismin kendisiyle temas eden başka bir katı cismin bağıl hareketine veya hareket ihtimaline karşı gösterdiği dirençtir. Birbiri ile temasta olan yüzeyler arasındaki sürtünme hareketi kayma, yuvarlanma veya bu iki hareketin bileşimi şeklindedir [24]. Bağıl hareket yapan yüzeyler arasında bağlayıcı madde konulup konulmamasına göre sürtünme kuru, sınır ve sıvı olmak üzere üçe ayrılır. Birbirlerine göre bağıl hareketle olan yüzeyler doğrudan doğruya temasta iseler kuru, yüzeyler bir yağlayıcı tarafından ayrılıyorlarsa sıvı, yağlayıcı yüzeyleri birbirinden tam olarak ayırmıyorsa sınır sürtünme meydana gelir [24].

1.1.5. Melonite İşlemi

1.1.5.1. Giriş

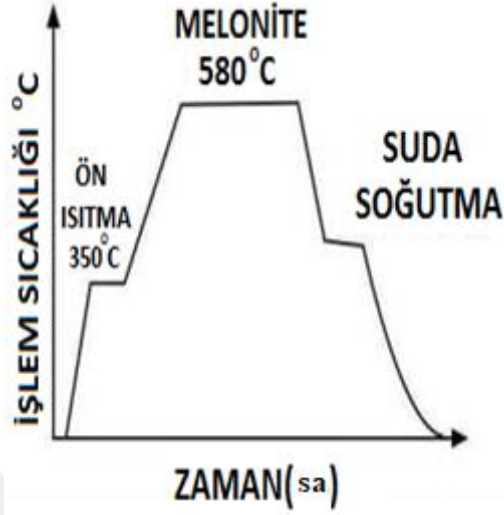
Bir difüzyon yöntemi olan nitrasyon, yaklaşık 50 seneden beri dünya demir ve çelik endüstrisine hizmet vermektedir. İlk önceleri yalnızca nitrasyon çeliklerine uygulanan bu yöntem, dana sonra geliştirilen tuz banyosu teknolojisiyle kendisine bir çok kullanım sahası yaratmıştır. Bu yöntem çelik, sinter ve dökme demirden mamul her parçaya uygulanarak, aşınma direnci ve korozyon mukavemetini arttırmaktadır.

Bir çok durumda tuz banyosunda yapılan nitrasyon işlemi, sementasyon veya sert krom kaplama gibi diğer yüzey işlem yöntemlerine alternatif olmuş ve kalitenin yanında yüksek ekonomiklik sağlamıştır. Enerji ve hammadde fiyatlarındaki artışlar, endüstrinin her sahasında tasarrufa gidilmesini gerektirmektedir. Bu zorunluluk tuz banyolu nitrasyon işlemine tam olarak uymaktadır. İşlem, düşük uygulama sıcaklığı, kısa işlem süresi, düşük işletme maliyetlerinin yanında çevreyi koruma özelliğine de sahiptir. Tuz banyosundaki nitrokarbürleme işlemi dünya literatürüne TENİFER (Tufftride) yöntemi olarak geçmiştir [25].

1.1.5.2. Melonite İşlemi

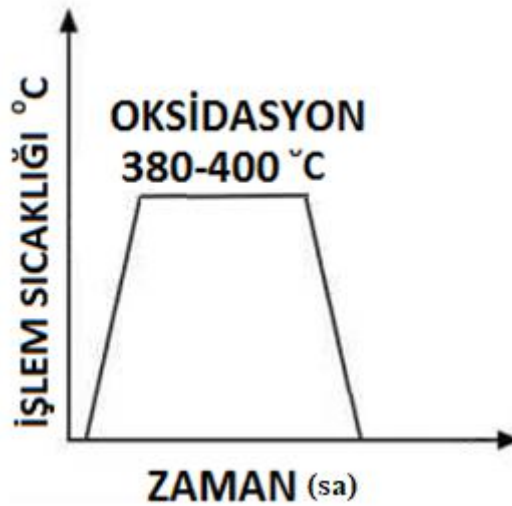
Bu yöntem 580°C’ de numunenin Titanyum veya paslanmaz çelik bazlı bir potada 2 saat bekletilmesiyle gerçekleşmektedir. Süre sonunda çıkarılan numuneler suda soğutulur. Malzemelerin korozyona karşı dirençli olması istendiği durumlarda ise, melonite işlemi sonunda numuneler 20 dakika boyunca 380 ile 400°C’ de oksidasyon işlemine tabi tutulur. Oksidasyon işlemi sonunda malzeme su ile yıkanır [25].

Şekil 1.9’ da melonite yöntemi şematik olarak verilmiştir. Ön ısıtma ile başlanılan çalışma, sıcaklık 580°C ’ ye çıkarılarak maksimum sıcaklığa ulaşılmış olur. Bu sıcaklıkta 2 saat beklenildikten sonra numuneler çıkarılarak soğutulur.



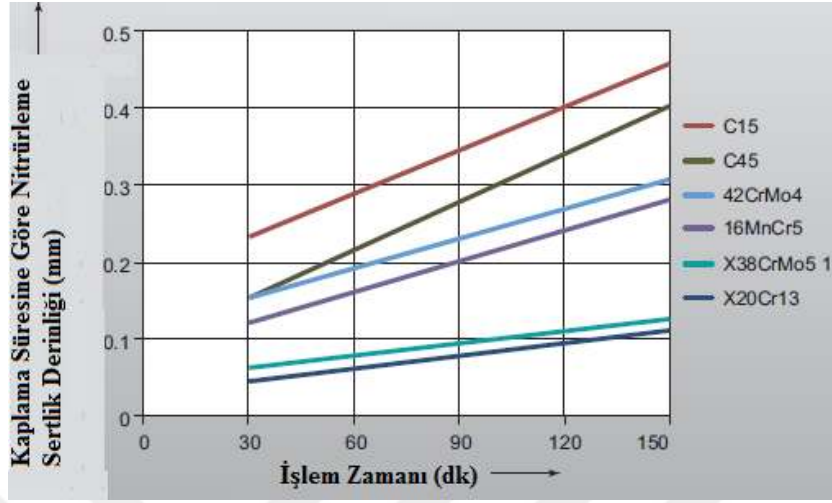
Şekil 1.9. Melonite kaplama yöntemi şematik gösterimi [25]

Şekil 1.10’ da oksidasyon işlemi şematik olarak verilmiştir. Fırın 380 ile 400°C ’ ye çıkarıldıktan sonra numuneler fırın içerisinde yaklaşık 20 dakika bekletilir. İşlem sonunda numuneler su ile yıkanır.



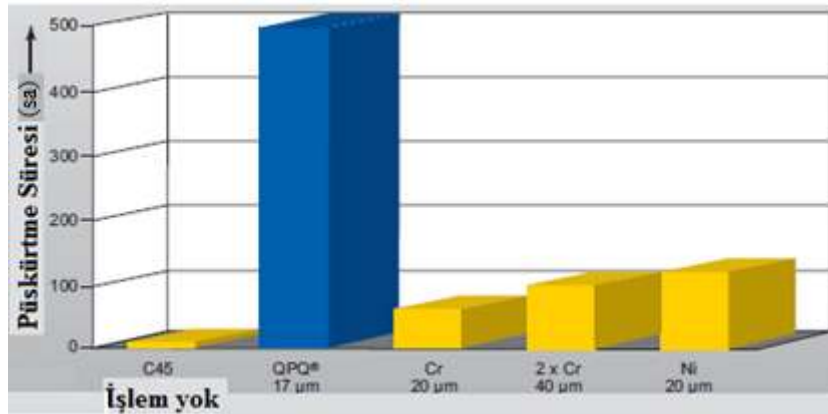
Şekil 1.10. Oksidasyon işlemi şematik gösterimi [25]

Şekil 1.11' de 580°C' de nitrasyon zamanına bağlı olarak değişik çeliklerin toplam nitrasyon derinlikleri verilmiştir.



Şekil 1.11. İşlem süresine göre nitrülme sertlik derinliği [26]

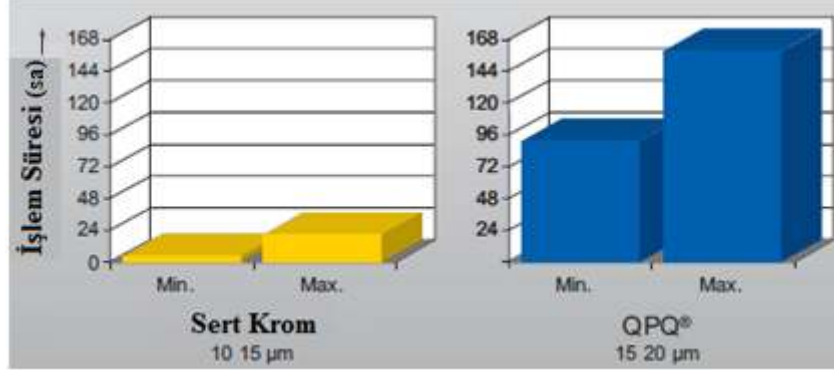
Şekil 1.12' de %5 tuz püskürtme testine tabi tutulmuş farklı malzemeler görülmektedir. Şekil incelendiğinde deney şartlarında QPQ (Quench Polish Quench) yaklaşık 500 saat korozyona karşı direnç göstermiştir. QPQ işlemi melonite işleminin bir başka adlandırılmasıdır. Burada ilk Q harfi nitrasyon işlemini demektir. P harfi nitrasyon işleminden sonra parlatma işlemini açıklamaktadır, sondaki Q harfi ise korozyona karşı direncin artması için yapılan oksidasyon işlemini açıklamaktadır.



Şekil 1.12. Farklı işlemlere tabi tutulmuş malzemelerin korozyon davranışı [26]

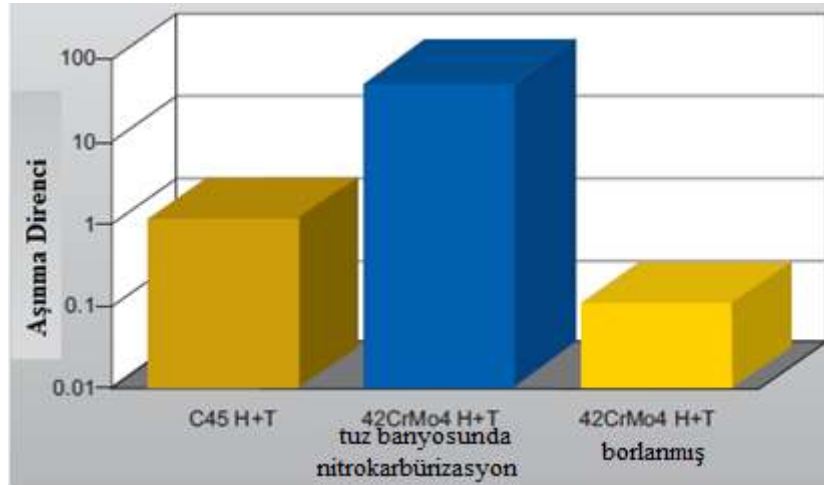
Şekil 1.13' de numuneler en zor korozyon testlerinden biri olan asetik asit (AASS) testine tabi tutulmuştur. Şekilde sert krom ve QPQ işlemi görmüş numuneler karşılaştırılmıştır. Deney sonucuna bakıldığında QPQ işlemi görmüş numunenin ilki

yaklaşık 92 saat, ikincisi ise yaklaşık 159 saat korozyona karşı direnç göstermiştir. Bunun yanında sert krom kaplanmış numune yaklaşık 21 saat korozyon direnci gösterebilmiştir.



Şekil 1.13. İşlem süresi boyunca kaplanmış numunelerin korozyon direnci [26]

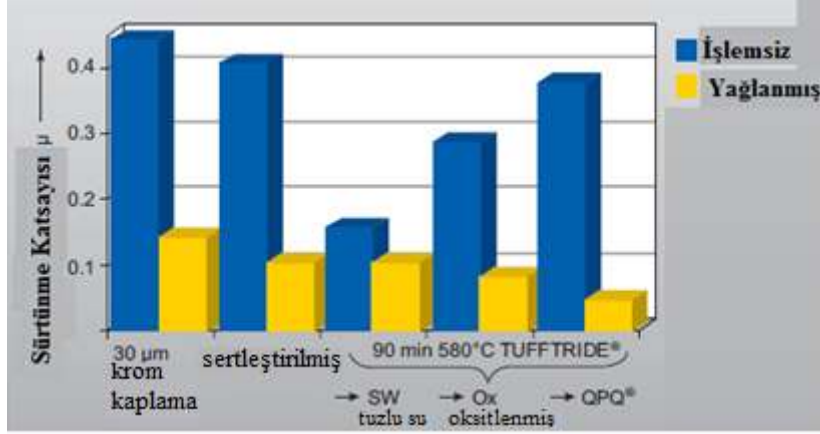
Şekil 1.14' de sertleştirilmiş, tuz banyosunda nitrokarbürizasyon ve borlama işlemi görmüş numunelerin aşınma davranışı hakkında bilgi vermektedir. Şekil incelendiğinde nitrokarbürizasyon işlemi görmüş numunenin diğer numunelere göre yüksek aşınma direnci gösterdiği görülmektedir.



Şekil 1.14. Farklı katmanların aşınma davranışı [26]

Şekil 1.15' de farklı katmanların sürtünme katsayıları gösterilmiştir. Şekile bakıldığında krom kaplanmış, sertleştirilmiş, tuzlu suya daldırılmış, oksitlenmiş ve QPQ

işlemine tabi tutulmuş numunelerin kıyaslaması yapılmıştır. En düşük sürtünme katsayısına sahip numunenin QPQ işlemine tabi tutulan numune olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 1.15. Farklı katmanların sürtünme katsayıları [26]

Melonite hem ekonomik hem de diğer yöntemlere göre daha kolay ve hızlı sonuç alınmasından dolayı gün geçtikçe uygulama alanını artırmaktadır. Şekil 1.16 ile 1.19 arasında bazı kullanım alanları gösterilmiştir.



Şekil 1.16. Melonite işlemi görmüş pistonlar ve miller [27]



Şekil 1.17. Melonite işlemi görmüş cıvatalar ve somunlar [27]



Şekil 1.18. Melonite işlemi görmüş dişli çarklar [27]



Şekil 1.19. Melonite işlemi görmüş silah ekipmanları [27]

1.1.6. Literatür Özeti ve Çalışmanın Amacı

Melonite yöntemi dünya genelinde farklı ülkelerde hem ekonomik olması hem de çevre dostu olması özelliklerinden dolayı gün geçtikçe uygulama alanını genişletmektedir. Melonite işlemine tabi tutulan malzemeler, uygulanan deneylerde diğer malzemelere göre üstün özellik göstermektedir.

Boßlet ve arkadaşları tenifer (QPQ) işleminden sonra korozyon davranışı ve aşınma davranışı incelemiştir. QPQ işlemi görmüş malzemenin yaklaşık 500 saat korozyona karşı direnç gösterdiğini belirlemiştir [26].

Boßlet ve arkadaşları sertleştirilmiş, tuz banyosunda nitrokarbürizasyon ve borlama işlemi görmüş malzemelerin aşınma davranışlarını inceledikleri çalışmada tuz banyosunda nitrokarbürizasyon işlemi görmüş malzemenin diğer malzemelere göre yüksek aşınma direnci gösterdiğini tespit etmişlerdir [26].

Göknil, Tenifer yöntemiyle yapılan nitrasyon işleminde oluşan toplam nitrasyon tabakası iki ayrı tabakadan oluştuğu belirtmiştir. Bunlar dış yüzeydeki bağlantı tabakası ile onun altındaki difüzyon tabakasıdır. Bağlantı tabakası demirnitritten oluşmaktadır. Kimyasal bileşimi, yapısı ve özelliği açısından bu tabaka ana malzemeye bağımlı olmayıp, yapısal açıdan metalik özellik göstermez. Bu tabaka aşınmaya ve korozyona karşı mukavemet sağladığı gibi sıcak yırtılma ve çatlamaya karşıda dayanıklı olduğunu belirlemiştir. Bu tabakada ölçülen sertlikler kullanılan çeliğe göre 800 HV civarında olduğunu tespit etmiştir. Bu tabaka nitrasyondan sonra yapılan metalografik incelemede az dağlanabilme özelliğinden dolayı altındaki difüzyon tabakasından rahatlıkla ayırt edilebildiğini belirlemiştir [25].

Bu çalışmada silah sanayisinde kullanılan 4140 çeliğinin, namlu malzemesi olarak kullanıldığı süre boyunca meydana gelen aşınma miktarını düşürerek, sertlik değerinin artması amaçlanmıştır. Bunun için 4140 çelikten alınan numuneler melonite işlemine tabi tutulmuş, iç yapı, mekanik ve tribolojik özellikleri incelenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Giriş

Bu çalışmada numuneler 580°C sıcaklıkta 2 saat boyunca melonite işlemine tabi tutulmuştur. Melonite işlemi sonrasında numunelerin korozyon dirençlerini artırmak için paslanmaz çelik bazlı bir potada 380-400°C sıcaklıklarda 20 dakika boyunca oksidasyon işlemine tabi tutulmuştur. Oksidasyon işlemi sonrasında numuneler tuz banyosundan çıkarıldı ve suyla yıkanarak soğutma işlemi gerçekleştirildi.

Melonite sonrasında oluşan tabakanın morfolojik incelemeleri ZEISS marka LS 10 model taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile yapıldı. Kaplanmış ve kaplanmamış numunelerin metalografik işlemlerinden sonra yüzeylerin incelenmesinde kaplama kalınlığının ölçülmesinde ve oluşan fazların belirlenmesinde SEM analizleri detaylı olarak yapılmıştır. Kaplanmış ve kaplanmamış numunelerin sertlik değerleri VICKERS INNOVA mikrosertlik test cihazında ölçüldü. Kaplanmış ve kaplanmamış numunelerin faz tanımlamaları için PANalytical X'Pert³ POWDER marka X ışınları difraktometre (XRD) cihazı kullanılmıştır. Bu işlem, 40kV ve 30mA koşullarında ve CuK α (1,54059 Å) radyasyonu altında gerçekleştirildi. XRD çekimleri 20-80° ve 2 θ arasında gerçekleştirildi. Melonite kaplanmış ve kaplanmamış numunelerin aşınma davranışı PLINT marka universal sürtünme ve aşınma test cihazında incelenmiştir.

Deney işlemine başlamadan önce Şekil 2.1' de görülen fırın ve paslanmaz potanın tasarım ve imalatı tarafımızdan yapılmıştır. Şekil 2.1' de görülen fırın için yüksek ısıya dayanıklı tuğlalara kanal açılarak gerekli ısıyı sağlayacak rezistans tel sarıldı ve sistemin çalışması için gerekli elektriksel bağlantılar yapıldı. Aynı şekilde görülen paslanmaz çelik pota tedarik edildi. Melonite ve oksidasyon işleminde özel pota malzemesi seçilmesinin tek nedeni, potanın mamulle birlikte nitrasyon olmasının istenmemesidir. Demir pota bu işlem için uygun değildir. Demir rahatlıkla nitrasyona uğrayabildiği için, zamanla pul pul atarak tuz eriğini kirletir ve bunlar Siyanit ve Siyanat tespitlerini imkânsızlaştırarak tuzun bozulmasına neden olur.

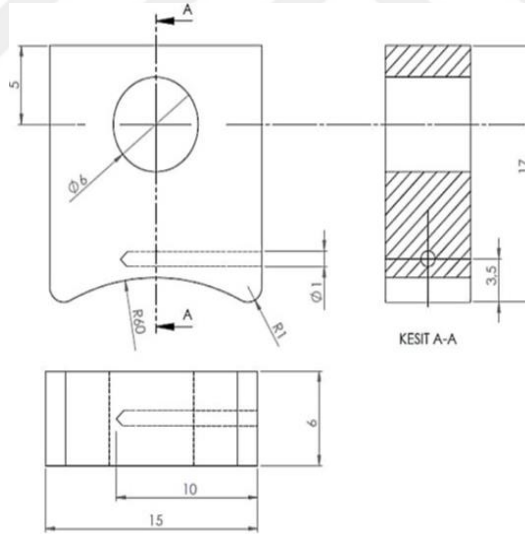


a)

b)

Şekil 2.1. Kaplama işleminde kullanılan; a) Fırın görünümü b) Paslanmaz çelik pota görünümü

2.2. Aşınma Deney Numunesinin Hazırlanması



Şekil 2.2. Aşınma deneyinde kullanılan numunelerin teknik resmi

Numunelerimiz gerekli talaşlı imalat işlemleri uygulandı ve Şekil 2.2’ deki ebatlara getirildi. Şekil 2.2’ de görüldüğü gibi deney sırasında ve deney sonrasında numunelerin sıcaklık değerini ölçmek için termokupl deliği açılmıştır.

Şekil 2.3' de talaşlı işlem sonrasında hazırlanan numunelerin yakından görünümü verilmiştir.



Şekil 2.3. Aşınma deney numunelerinin yakından görünümü

Talaşlı imalat sonrasında kaplama işlemine geçilmeden numunelerimiz zımparalama ve parlatma işlemine tabi tutuldu. Daha sonra numuneler Şekil 2.4'de görülen MAHR yüzey pürüzlülük ölçme cihazıyla yüzey pürüzlülük değerleri ölçüldü. Numunelerin yüzey pürüzlülük değeri $0,5 (\pm 0,01) \mu\text{m}$ olarak tespit edildi.



Şekil 2.4. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı

Parlatma işleminden sonra numuneler %3 lük Nital (1-10 ml HNO₃ + 90-99 ml metanol veya etanol) ile dağlama işlemine tabi tutuldu.

2.3. Kullanılan Tuzlar

Bu çalışmada kaplama ve oksidasyon banyosunun hazırlanması için 4 farklı tuz kullanılmıştır. Kullanılan bu tuzlar NT-Reg, NT-1 ve NaCN ve oksidasyon banyosu için NT-Oksi tuzudur. Bu tuzlar Orion Isı Teknoloji Sanayi ve Tic. Ltd. şirketinden temin edilmiştir. Kullanılan tuzların özellikleri Tablo 2.1 ve Tablo 2.2' de verilmiştir. Tablo 2.1' de bulunan CAS numarası Amerika kimya derneğinin bir alt bölümü olan kimyasal özetler hizmetinin vermiş olduğu numaradır. EINEC numarası ise kimyasal maddelerin Avrupa listesindeki numarasıdır.

Tablo 2.1. Banyoların elde edilmesinde kullanılan tuzların özellikleri

Kullanılan Tuz	İçindekiler	CAS Numarası	EINEC Numarası	Ağırlık %
NT-Reg	Melon	68649-66-1	272-034-6	≥ 95
NT-1	Potasyumsiyanat	590-28-3	209-676-3	≥ 25
	Potasyumkarbonat	584-08-7	209-529-3	< 20
	Sodyumkarbonat	497-19-8	207-838-8	≥ 20
NT- Oksi	Potasyumhidroksit	1310-58-3	215-181-3	> 25
	Sodyumhidroksit	1310-73-2	215-185-5	> 5
NACN	Sodyumsiyanür	143-33-9	-	-

Tablo 2.2. Kullanılan tuzların fiziksel özellikleri

Kullanılan Tuz	Fiziksel Durum	Renk	Ph	Erime Noktası (°C)	Yoğunluk (g/cm ³)	Çözünürlük (g/L)
NT-Reg	Katı	Sarı	7.50	580	1.71	-
NT-1	Katı, Toz	Beyaz	10-12	500	1.70	315
NT-Oksi	Katı, Toz	Beyaz	14,00	200	1.80	100
NACN	Katı, Toz	Beyaz	-	564	1,6	1097

2.4. Tuz Banyosunun Hazırlanması

Kaplama için öncelikle, yapacağımız çalışmanın herhangi bir güvenlik sorunu meydana getirmemesi için Şekil 2.5’ de görülen koruyucu oda imal edilmiştir. Saç levhalar kaynak işlemiyle birleştirildikten sonra koruyucu oda, hem içeriden hem de dışarıdan gerekli işlem yapılarak sızdırmazlık sağlanmıştır. Herhangi bir sızdırma durumuna karşı dedektör kullanılmıştır. Ayrıca Şekil 2.7’ de görüldüğü dibi deney sırasında gaz maskesi, ısıya dayanıklı eldiven ve koruyucu önlük kullanılmıştır. Koruyucu odanın kirli hava atış bacasına yüksek basınca sahip egzost fanı monte edilmiştir. Deney esnasında tuz banyosunu kafes kapağını açmadan rahat bir şekilde görebilmek için kafes içine ısıya dayanıklı aydınlatma tesisatı yapılmıştır. Tüm işlemler tamamlandıktan sonra gerekli kontroller yapılarak deney işlemine başlanmıştır.



Şekil 2.5. Kaplama işleminde kullanılan deney düzeneği

Melonite işlemi için gerekli tuz banyosu hazırlanmıştır. Şekil 2.1' de görülen potanın hacmi hesaplandı.

$$Hacim = \pi r^2 x h \quad (1)$$

$$= \pi x 6^2 x 16 = 1808,6 \text{ cm}^3 \quad (2)$$

$$1808,6 x 1,7 = 3074,6 \text{ cm}^3 \quad (3)$$

$$NT-1 = (3074,6 x 85) / 100 = 2.613,4 \text{ kg} \quad (4)$$

$$NACN = (2.613,4 x 10) / 100 = 261,3 \text{ gr} \quad (5)$$

Hacim değeri 1,7 lik sabit bir katsayıyla çarpıldı. Çıkan değer %85 alındı. Alınan bu değer kullanacağımız NT-1 tuz miktarı (kg) dır. NT-1 miktarının %10 alındı. %10 luk kısım kullanacağımız NACN tuzunun miktarıdır. Fırın 300°C ön ısıtmaya tâbi tutuldu. Şekil 2.6' da görüldüğü gibi miktarları belirlenen tuzlar tartılarak potaya eklenmiştir. NT-1 tuzunun öncelikle yarısı ve NACN tuzunun tamamı mevcut potaya konuldu.



Şekil 2.6. Tuz banyosunda kullanılan tuzun terazide tartımı



Şekil 2.7. Deney esnasında alınan kişisel güvenlik önlemleri

Pota fırın içerisine yerleştirildi ve fırın sıcaklığı 580°C ' ye çıkarıldı. Potadaki tuz eridikten sonra kalan NT-1 tuzu potaya ilave edildi. Eklenen tuzda eridikten sonra, potaya 20-25 dakika boyunca daha iyi karışım oluşturması için kompresörden hava üflendi. Daha sonra tuz banyomuz için gerekli olan NT-Reg tuzu miktarının analizle belirlenebilmesi için tuz banyomuzdan 10 mm kalınlığında paslanmaz bir çubuk kullanılarak numune alındı.

Alınan numune analiz için Gök-Tem Kimya ve Metalurji Tic.Ltd.Şti. firmasına gönderildi. Yapılan analiz sonucuna göre potamıza 100 gr NT-REG tuzu eklendi. Potamıza eklenen bütün tuzların erime işlemi tamamlandı. Tuz banyomuz hazır hale geldi. Daha

önce hazırlanmış olduğumuz numunelerimizi 2 mm kalınlıkta çelik tel yardımıyla tuz banyosuna daldırıldı. 580 °C de 2 saat süresi boyunca bekletildi.

2 saatlik süre sonunda melonite tuz banyosundan numuneler çıkarıldı. Numuneler tasarlanan ikinci fırın içerisinde, ikinci potamızda 380-400 °C’ de eritilen NT-OKSİ tuzuna daldırıldı. Yaklaşık 20 dakika sonunda çıkarılan numuneler su ile yıkandı.

2.5. Mikrosertlik Ölçümü

Yüzeyi kaplanmamış ve kaplanmış olan numunelerin mikrosertlikleri Şekil 2.8’ de görülen Innova mikrosertlik test cihazında ölçülmüştür. Numunelere uygulanan yük 50 gram olup bekleme süresi 10 saniye olarak seçilmiş ve ortalamaları alınmıştır. Her bir farklı numuneden yedi ölçüm noktası seçilmiştir ve ortalamaları alınmıştır.



Şekil 2.8. Mikrosertlik ölçüm cihazı

2.6. SEM ve XRD İncelemeleri

Çalışmada kullanılan kaplanmış ve kaplanmamış numunelerin morfolojik incelemeleri Şekil 2.9’ da görülen ZEISS marka LS 10 model taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile yapılmıştır. Kaplanmış ve kaplanmamış numunelerin metalografik işlemlerinden sonra yüzeylerin incelenmesinde kaplama kalınlığının ölçülmesinde ve oluşan fazların belirlenmesinde SEM analizleri detaylı olarak yapılmıştır.



Şekil 2.9. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

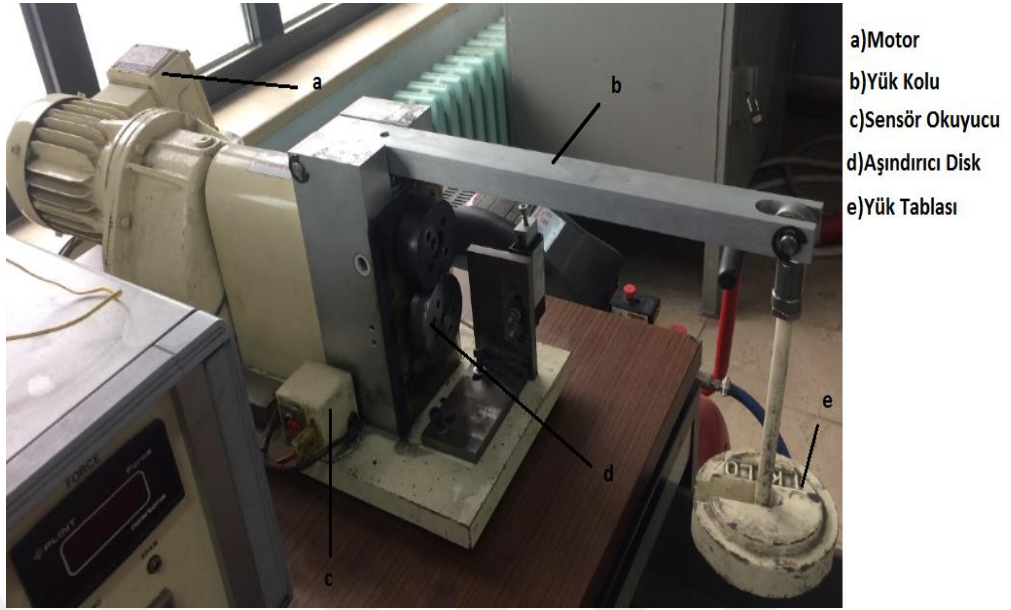
Kaplanmış ve kaplanmamış numunelerin faz tanımlamaları için Şekil 2.10' da görülen PANalytical X'Pert³ Powder marka X ışınları difraktometre (XRD) cihazı kullanılmıştır. Bu işlem, 40kV ve 30mA koşullarında ve $\text{CuK}\alpha$ ($1,54059 \text{ \AA}$) radyasyonu altında gerçekleştirilmiştir. XRD çekimleri $20\text{-}80^\circ$ ve 2θ arasında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.10. X ışınları analiz cihazı

2.7. Aşınma Deneyi

Aşınma deneyi için kaplanmamış ve 2 saat melonite işlemine tabi tutulmuş numuneler Şekil 2.11 ve 2.12' de görülen aşınma test cihazında Tablo 2.3 ve 2.4' de gösterilen parametrelere uyularak kuru sürtünme şartlarında test işlemine tabi tutulmuştur.



Şekil 2.11. Aşınma deneyinde kullanılan test cihazı



Şekil 2.12. Aşınma test cihazı kontrol paneli

Tablo 2.3 ve 2.4' de kaplanmamış ve 2 saat melonite işlemi görmüş numunelerin aşınma işlemine tabi tutulduğu parametreler görülmektedir.

Tablo 2.3. Kaplanmamış numunelerin aşınma deneyinde kullanılan parametreler

Kaplanmamış Numuneler	Zaman (dk)	Hız (dev/dk)	Yük (N)
1	30	100	5
2	60	100	5
3	90	100	5
4	120	100	5
5	30	100	15
6	30	100	25
7	30	100	35
8	30	200	5
9	30	300	5
10	30	400	5

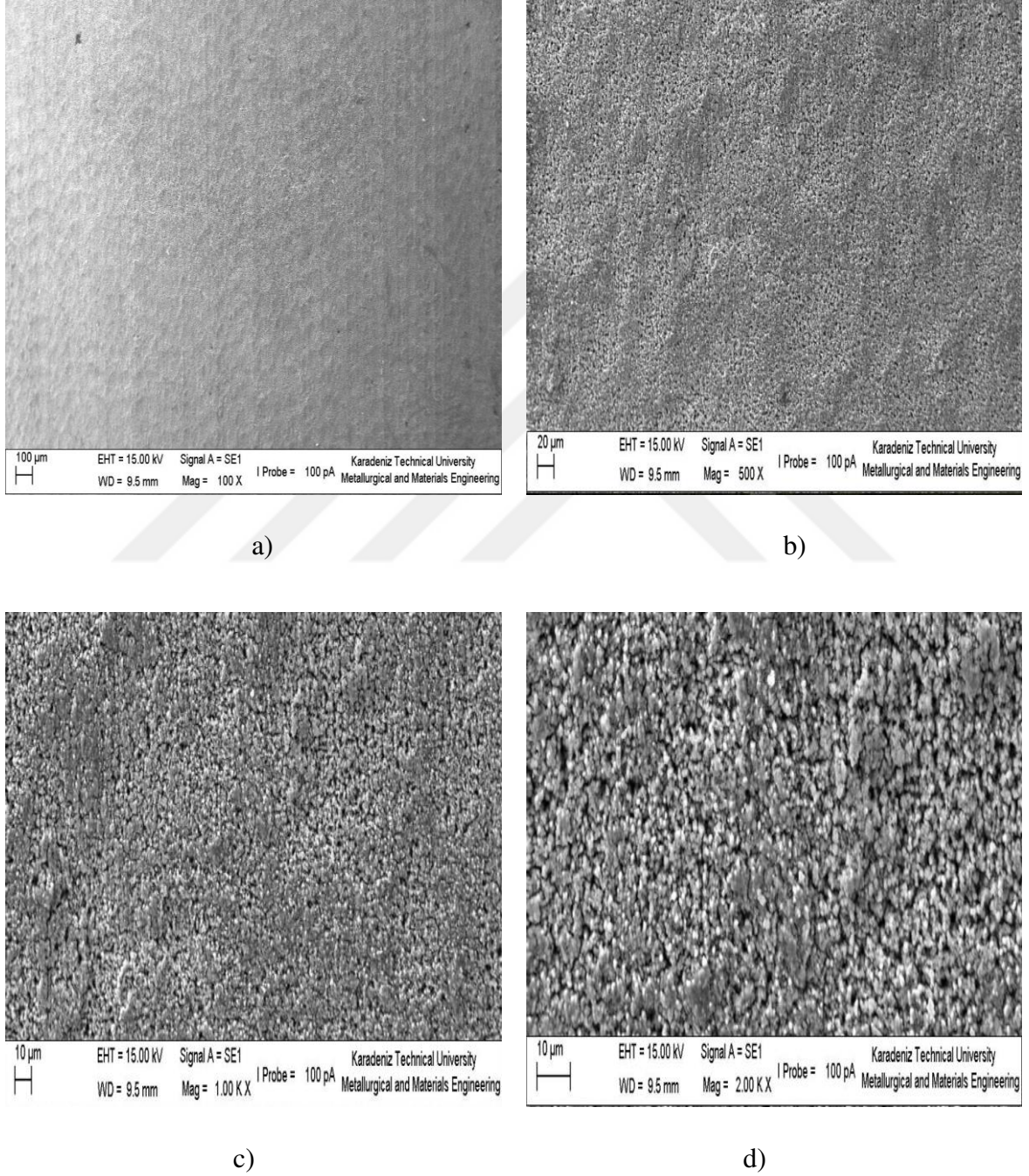
Tablo 2.4. 2 saat melonite işlemine tabi tutulan numunelerin aşınma deneyinde kullanılan parametreler

2 saat Melonite İşlemi Uygulanan Numuneler	Zaman (dk)	Hız (dev/dk)	Yük (N)
1	30	100	5
2	60	100	5
3	90	100	5
4	120	100	5
5	30	100	15
6	30	100	25
7	30	100	35
8	30	200	5
9	30	300	5
10	30	400	5

3. BULGULAR

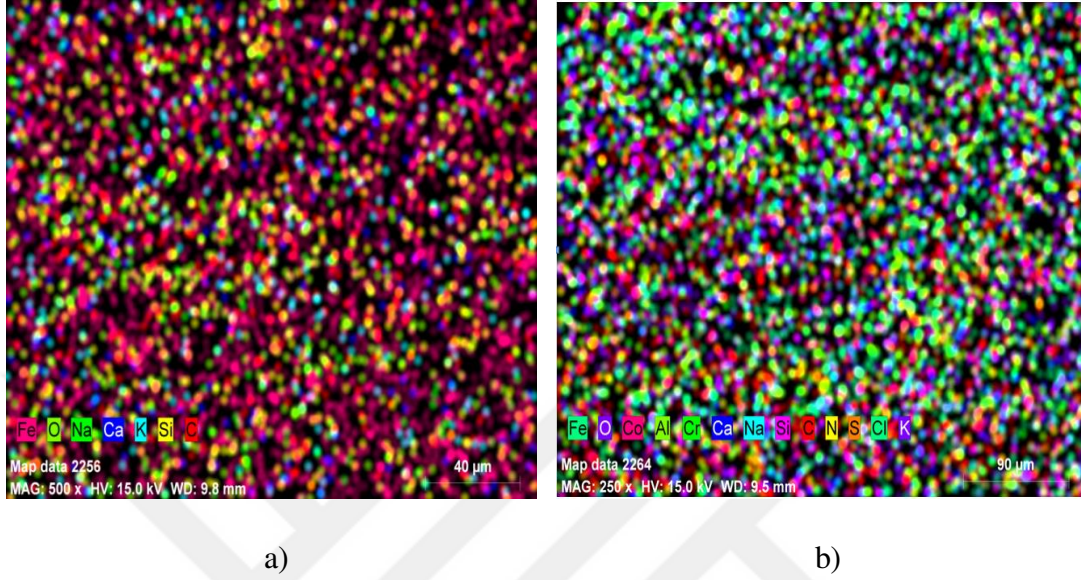
3.1. Malzemelere Ait Metalografik Görüntüler

Şekil 3.1’de Melonite işlemi görmüş numunelere ait farklı boyutlardaki SEM görüntüleri görülmektedir.



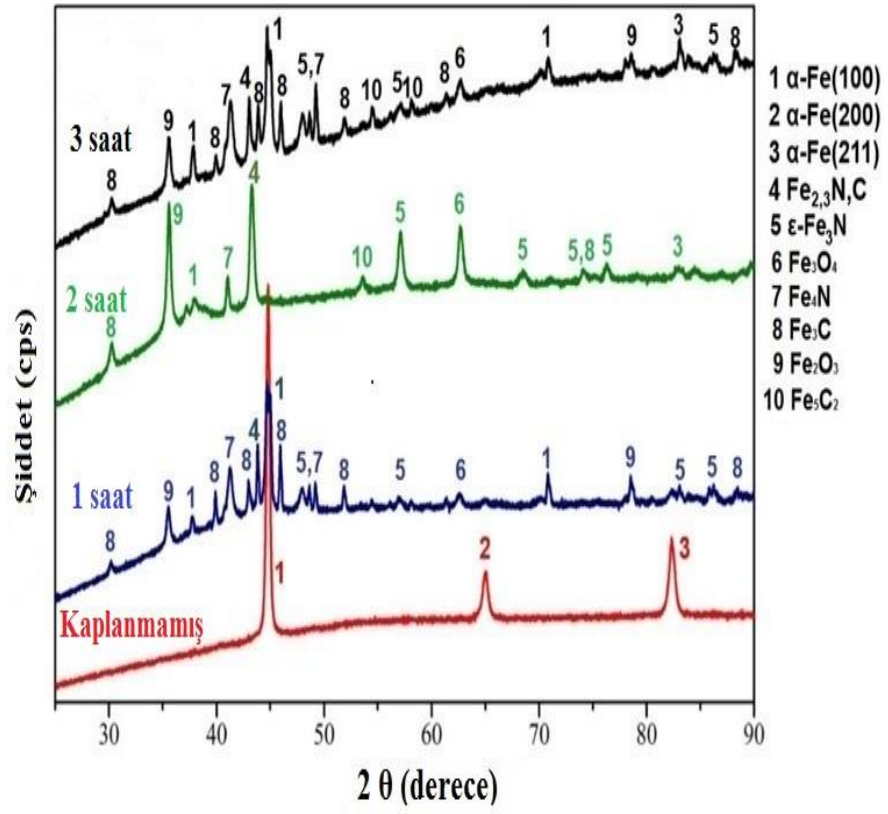
Şekil 3.1. 580°C’ de 2 saat melonite işlemine tabi tutulan numunelerin SEM görüntüleri (a-b-c-d)

Şekil 3.2' de kaplanmamış ve kaplanmış numunelerin element dağılımı SEM cihazı kullanılarak tespit edilmiştir. Melonite işleminden sonra yüzeyde azot atomlarının dağılımı görülmektedir.



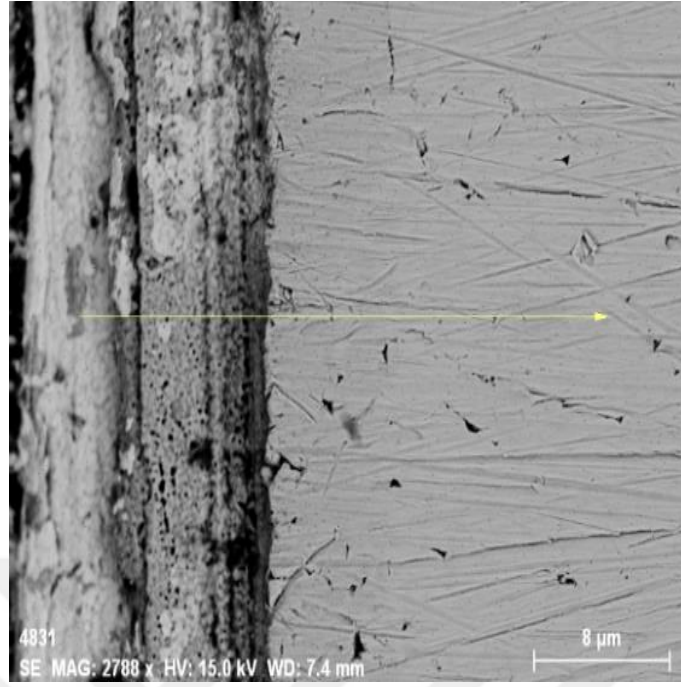
Şekil 3.2. Kaplanmamış ve kaplanmış numunelerin element dağılımı, a) Kaplanmamış
b) Kaplanmış

Kaplanmış ve kaplanmamış numunelerine ait XRD görüntüleri Şekil 3.3' de görülmektedir. Şekilde görüldüğü üzere melonite işlemi uygulanmış numunelerin spektrumlarında α -Fe, Fe_3O_4 , ϵ - Fe_3N , $\text{Fe}_{2,3}\text{N,C}$, Fe_4N , Fe_3C , Fe_2O_3 , Fe_5C fazlarına rastlanmıştır. Kaplanmamış numune analizinde α -Fe(100), α -Fe(200) ve α -Fe(211) fazlarına ait XRD spektrumları elde edilmiştir. 1 saatlik kaplanmış numune analizinde ise α -Fe(100), Fe_3C ve $\text{Fe}_{2,3}\text{N,C}$ fazlarına ait XRD spektrumlarına rastlanmıştır. 2 saatlik kaplama sonucu elde edilen analizde Fe_2O , $\text{Fe}_{2,3}\text{N,C}$ ve ϵ - Fe_3N fazlarına rastlanılmıştır. 3 saatlik kaplama sonucundan α -Fe(100), Fe_4N ve Fe_3C fazlarına ait XRD spektrumları elde edilmiştir.

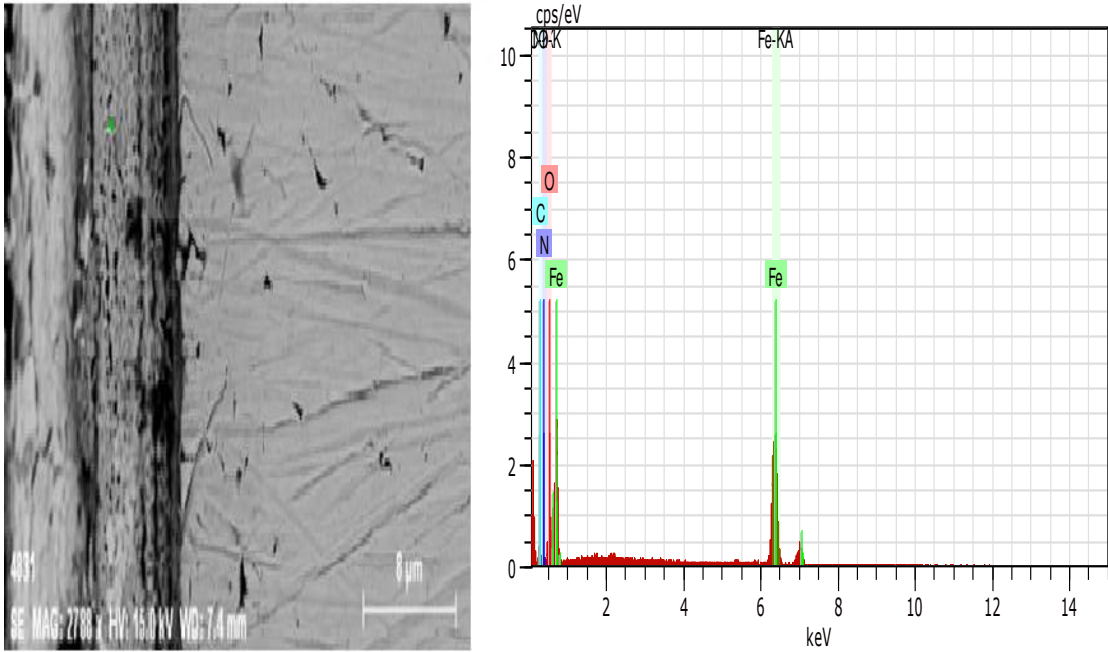


Şekil 3.3. Farklı sürelerde kaplanmış ve kaplanmamış numunelerin XRD spektrumları

Kaplanmış ve kaplanmamış numunelerine ait EDS çizgisel analiz sonuçları şekil 3.4, 3.5 ve 3.6' da gösterilmiştir. Çizgi analizi, nitrüleme sırasında numuneye yayılan fazlar hakkında bilgi vermektedir. SEM EDS çizgisel analiz sonuçları XRD sonuçlarını desteklemektedir.



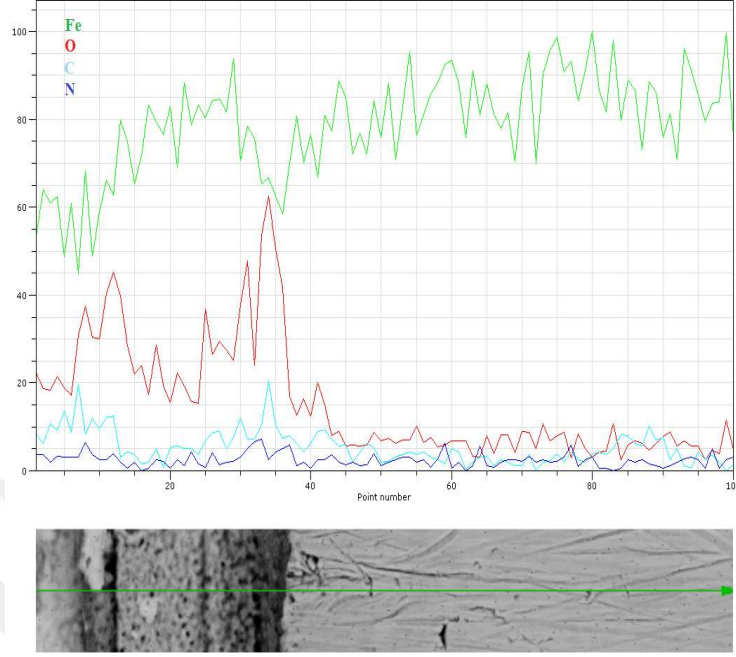
a)



b)

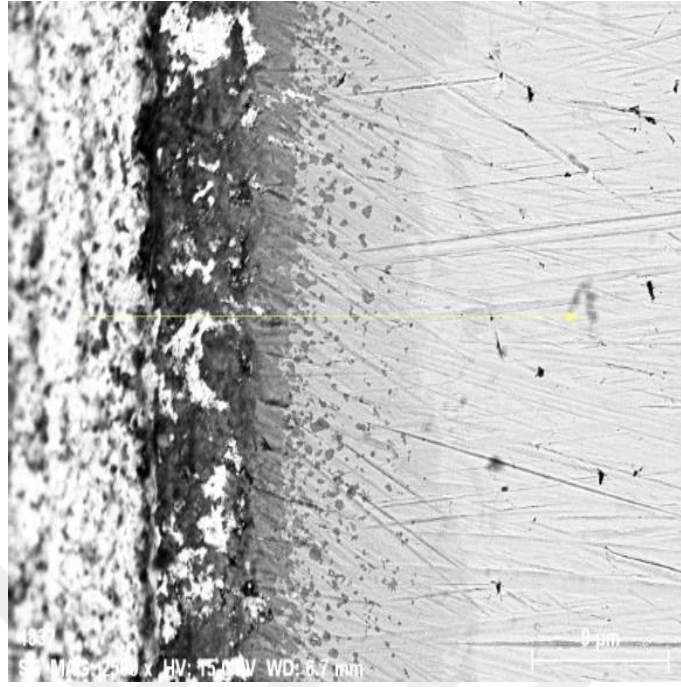
Şekil 3.4. 1 saatlik kaplama sonucu elde edilen numunenin SEM EDS analizi
 a) Analizlerin yapıldığı mikro yapı görüntüsü, b) Noktasal analizi ve
 c) Yeşil çizgi boyunca Fe, O, C ve N atomlarının dağılımını gösteren çizgi analizi.

Şekil 3.4' ün devamı

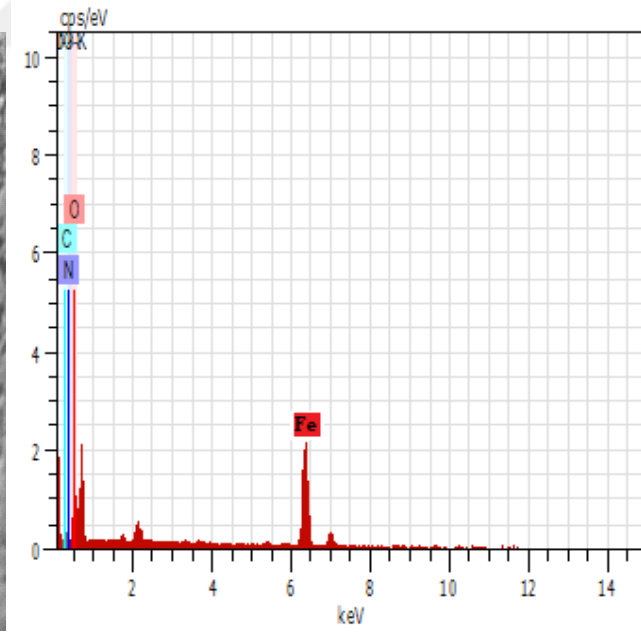
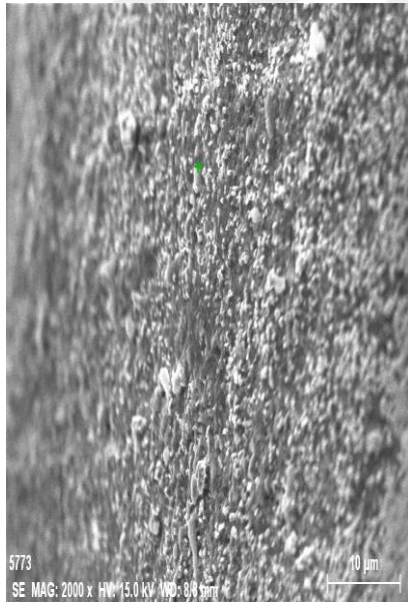


c)

Şekil 3.4' deki SEM ve EDS analizi sonuçlarına bakıldığında 1 saatlik kaplama sonucunda demir ve oksijen atomlarının yüksek olduğu, karbon atomunun orta seviyede ve azot atomunun kaplama yapıldığı alanda düşük miktarda olduğu görülmektedir.



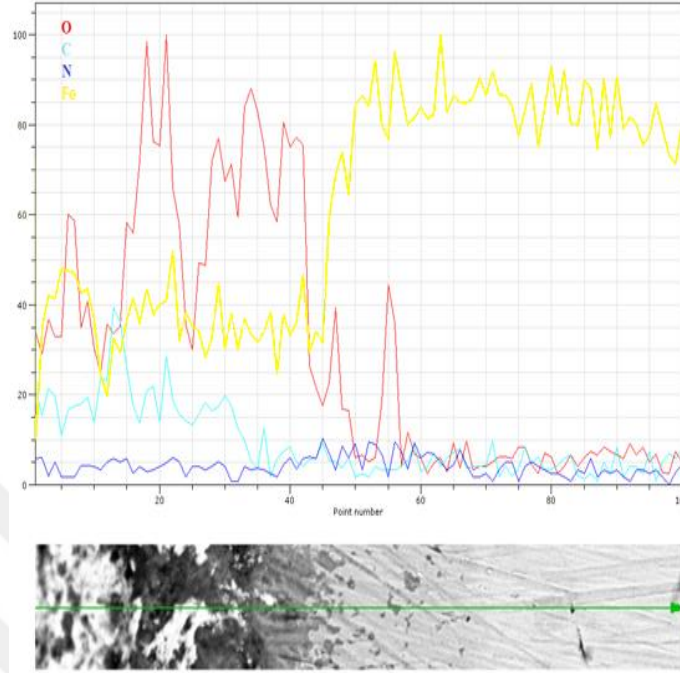
a)



b)

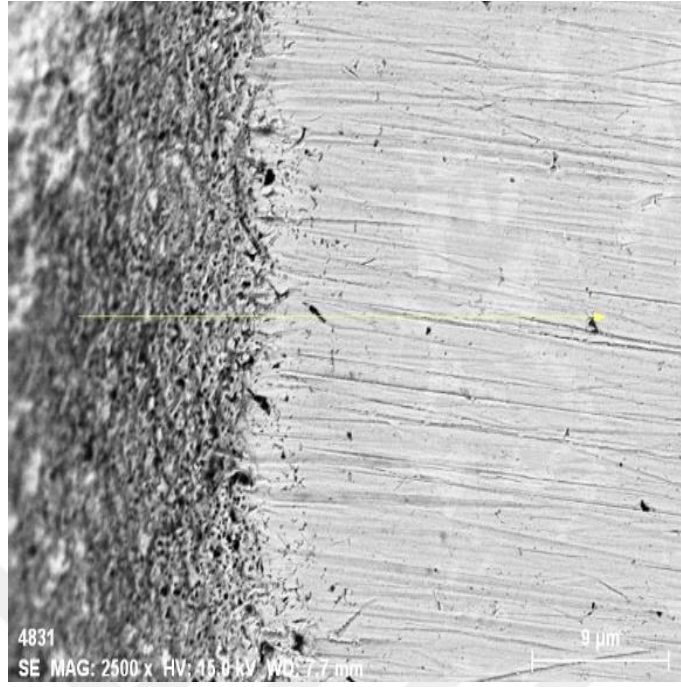
Şekil 3.5. 2 saatlik kaplama sonucu elde edilen numunenin SEM EDS analizi
 a) Analizlerin yapıldığı mikro yapı görüntüsü, b) Noktasal analizi ve
 c) Yeşil çizgi boyunca Fe, O, C ve N atomlarının dağılımını gösteren çizgi analizi.

Şekil 3.5' in devamı

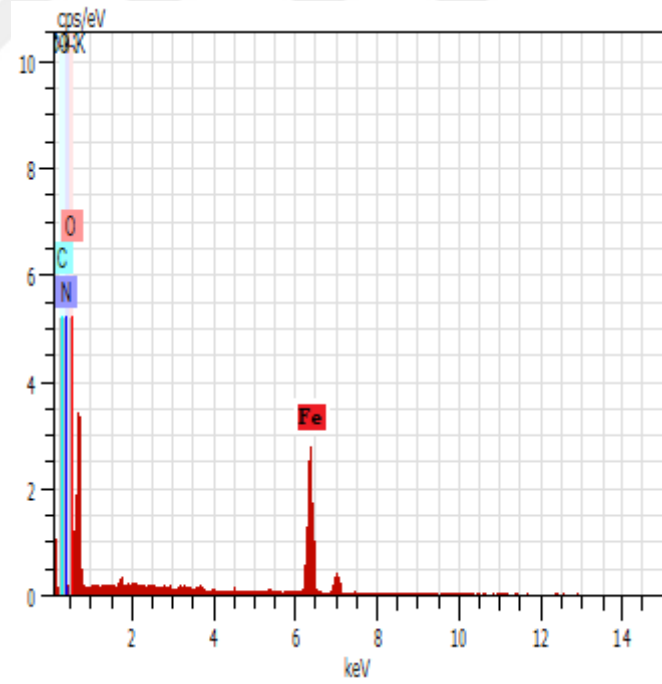
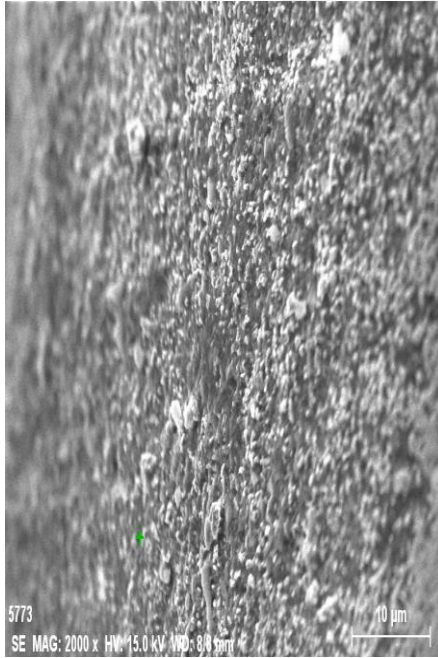


c)

Şekil 3.5' daki SEM ve EDS analizi sonuçlarına bakıldığında 2 saatlik kaplama sonucunda oksijen atomlarının yüksek olduğu, karbon atomu ve azot atomunun 1 saatlik kaplamaya göre arttığı görülmektedir.



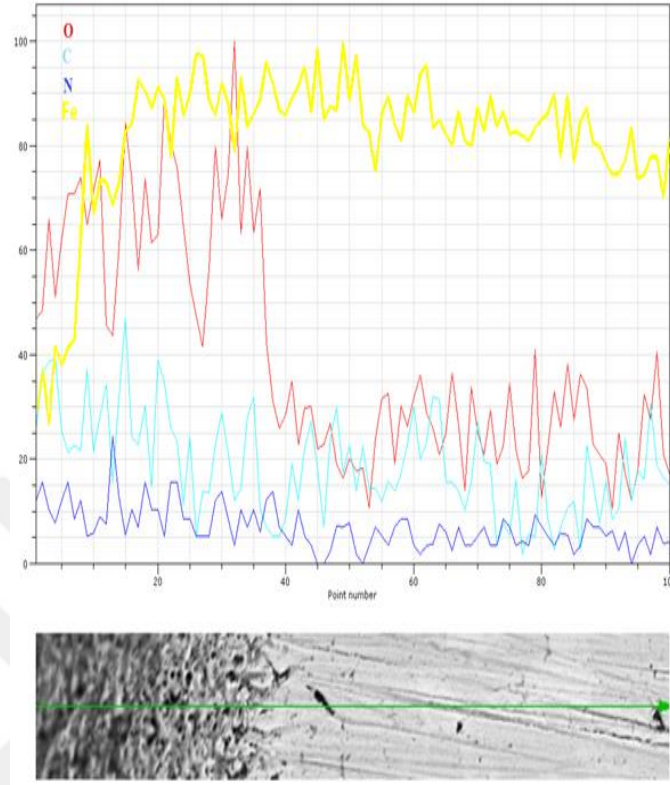
a)



b)

Şekil 3.6. 3 saatlik kaplama sonucu elde edilen numunenin SEM EDS analizi
a) Analizlerin yapıldığı mikro yapı görüntüsü, b) Noktasal analizi ve
c) Yeşil çizgi boyunca Fe, O, C ve N atomlarının dağılımını gösteren çizgi analizi.

Şekil 3.6' nın devamı



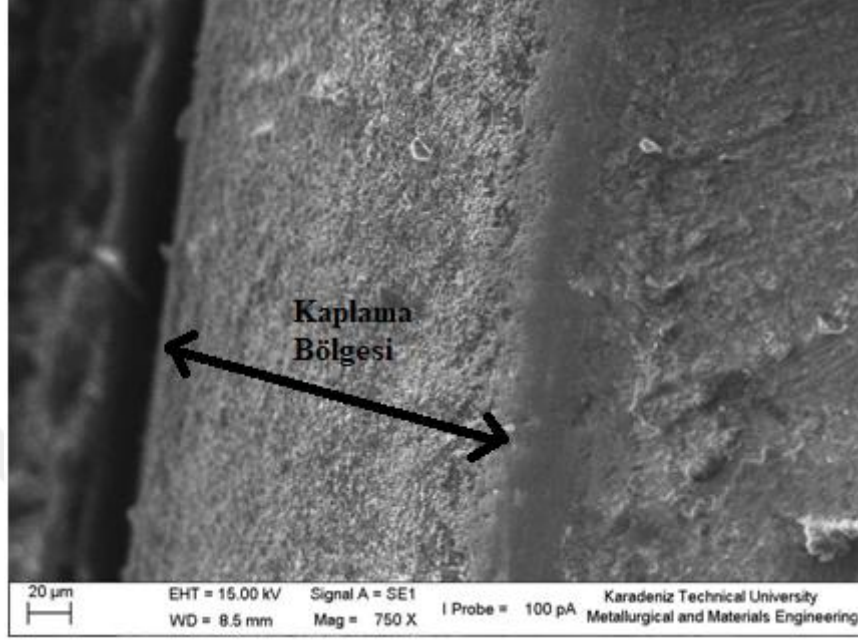
c)

Şekil 3.6' daki SEM ve EDS analizi sonuçlarına bakıldığında 3 saatlik kaplama sonucunda oksijen atomlarının yüksek olduğu, karbon atomu ve azot atomunun 1 ila 2 saatlik kaplamaya göre arttığı belirgin bir şekilde görülmektedir.

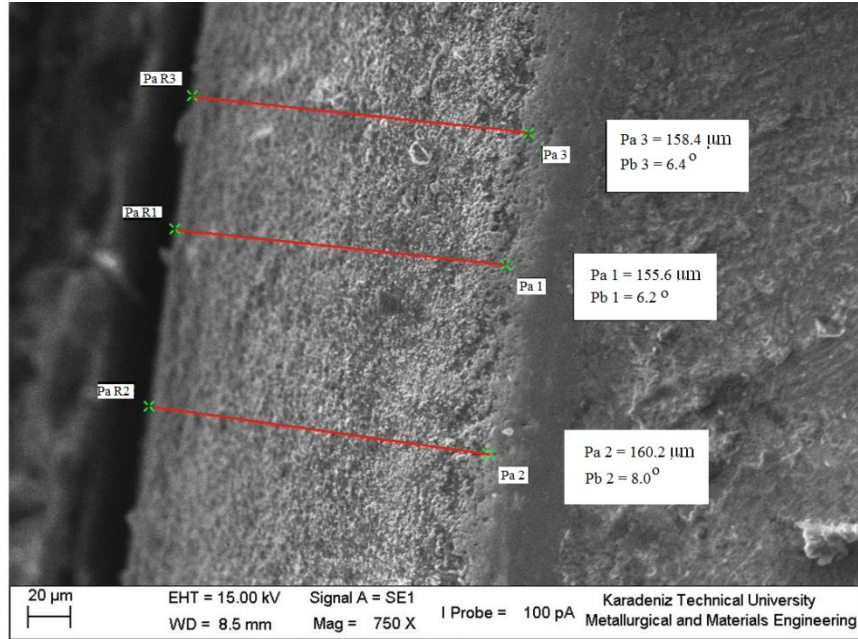
3.2. Kaplama Kalınlığının Belirlenmesi

Nitrürleme işlemi sonucunda iki ayrı tabaka oluşmaktadır. Bunlar dış yüzeydeki bağlantı tabakası ile onun altındaki difüzyon tabakasıdır. Bağlantı tabakası, demir nitritten oluşmaktadır. Kimyasal bileşimi, yapısı ve özelliği açısından bu tabaka ana malzemeye bağımlı olmayıp, yapısal açıdan metalik özellik göstermez. Bu tabakada demir, azot, karbon ve birazda oksijen bileşimlerinden meydana gelmektedir. Difüzyon tabakasının kalınlığı ve sertliği kullanılan çeliğin cinsine bağlıdır. Nitrürleme süresinin sabit olduğu durumlarda çeliğin bünyesinde alaşım elementleri oranı arttıkça difüzyon tabakasının derinliği azalır, difüzyon tabaka sertliği artar.

Aşağıda Şekil 3.7’ de 2 saatlik melonite işlemi sonrasında ortaya çıkan kaplama kalınlığının SEM görüntüsü görülmektedir. Şekil 3.8’ de ise 2 saatlik melonite işleminden sonra kaplama kalınlığının SEM de ölçümü verilmiştir.



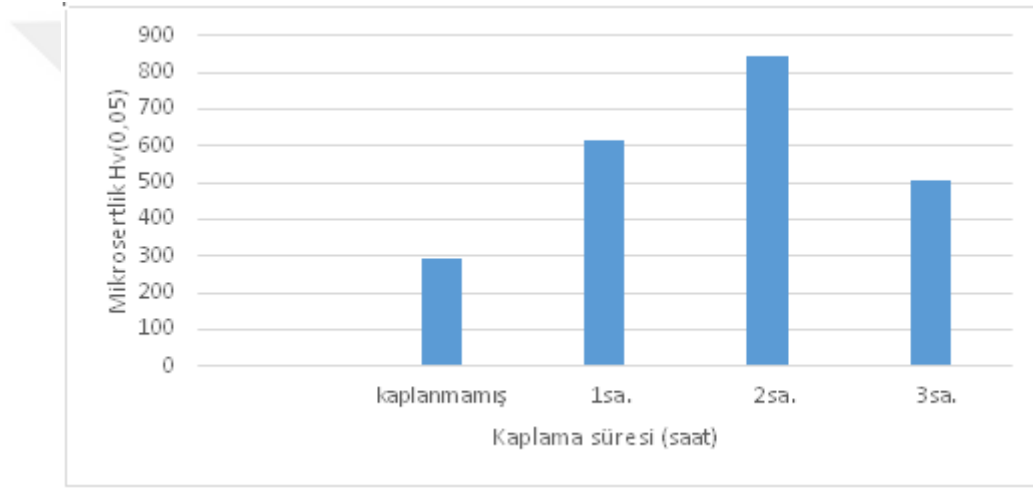
Şekil 3.7. 2 saatlik kaplama sonucu elde edilen numunenin SEM kaplama kalınlığı görüntüsü



Şekil 3.8. 2 saatlik kaplama sonucu elde edilen numunenin SEM kaplama kalınlığı ölçüm görüntüsü

3.3. Numunelerin Mikrosertlik Ölçümü

Deneylerden elde edilen numunelerin mikrosertlik değerleri Şekil 3.9' da gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi kaplanmamış numunenin sertlik değeri yaklaşık 300 HV dir. 1 saatlik kaplama sonucunda ölçülen sertlik değeri yaklaşık 600 HV dir. 2 saatlik kaplama sonucunda ölçülen sertlik değeri yaklaşık 820 HV dir. 3 saatlik kaplama sonucuna göre ise sertlik değeri 500 HV dir. Düşünülduğünde 3 saatlik kaplama sonucunda sertlik değerinin artması beklenmektedir. Fakat sürenin artmasıyla yüzeyde meydana gelen pürüzlülük sertlik değerini olumsuz etkilemektedir. Bu sonuçla en iyi sertlik değerinin 2 saatlik kaplama sonucunda olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3.9. Kaplama süresinin sertliğe olan etkisinin gösterimi

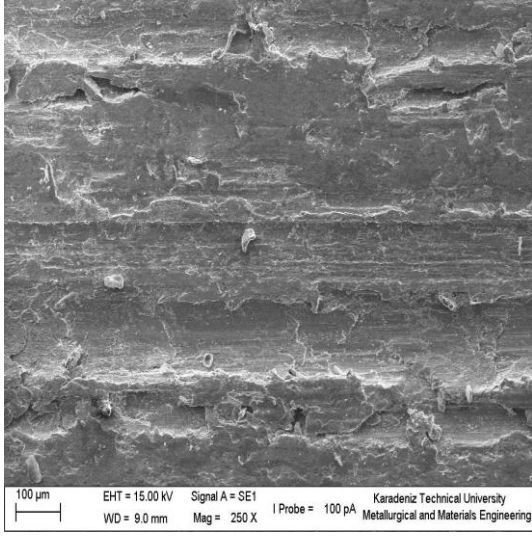
3.4. Aşınma İşlemine Tabi Tutulmuş Kaplanmamış ve Kaplanmış Numunelerin SEM Görüntüleri

Kaplanmış ve kaplanmamış numuneler Şekil 2.11 ve 2.12' de görülen aşınma test cihazı kullanılarak aşınma deneyine tabi tutuldu. Yapılan deney sonucunda numunelerin yüzey görüntüleri Şekil 2.9' da görülen SEM cihazıyla tespit edilmiştir. Bu görüntüler aşağıda Şekil 3.10 ila 3.29 arasında gösterilmiştir.

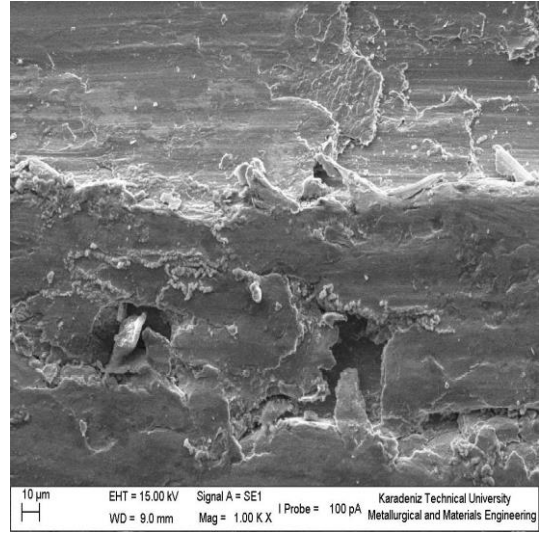
Şekil 3.10' da kaplanmamış numuneye uygulanan aşınma işleminden sonra yapılan incelemede yüzeyde bulunan aşınma izleri belirgin bir şekilde görülmektedir. Şekil 3.11' de ise aynı şartlar altında yapılan aşınma deneyinde kaplanmış numuneye ait aşınma incelendiğinde aşınma izlerinin belirli noktalarda olduğu görülmektedir.

Şekil 3.14’ da kaplanmamış numuneye uygulanan aşınma işleminden sonra yapılan incelemede yüzeyde bulunan aşınma izlerinin deney süresinin artmasıyla arttığı çok net bir şekilde görülmektedir. Şekil 3.15’ de kaplanmış numuneye aynı şartlar altında yapılan aşınma sonucu incelendiğinde aşınma süresi arttığından yüzeydeki aşınma izlerinin daha az olduğu görülmektedir.

Şekil 3.22’ de kaplanmamış numuneye uygulanan aşınma işleminden sonra yapılan incelemede yüzeyde bulunan aşınma izlerinin deney yük miktarının artmasıyla arttığı ve yüzeyde meydana getirdiği tahribat görülmektedir. Şekil 3.23’ de aynı şartlar altında kaplanmış numuneye uygulanan aşınma sonrasındaki görüntü incelendiğinde aşınma izlerinin daha az olduğu görülmektedir. Kaplanmış ile kaplanmamış numunelerin aşınma izleri kıyaslandığında kaplanmamış numunelerin aşınma miktarının fazla olduğu görülmektedir.

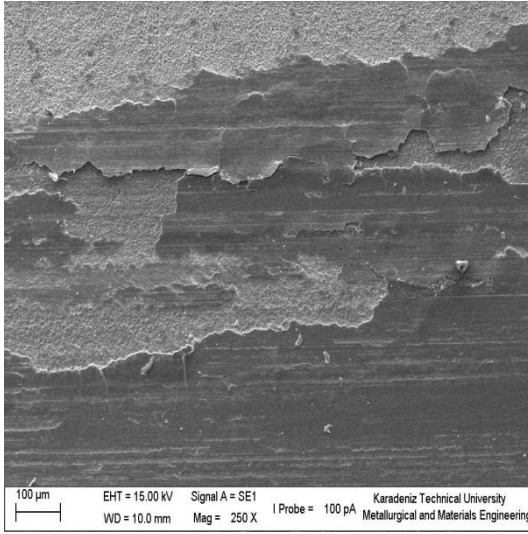


a)

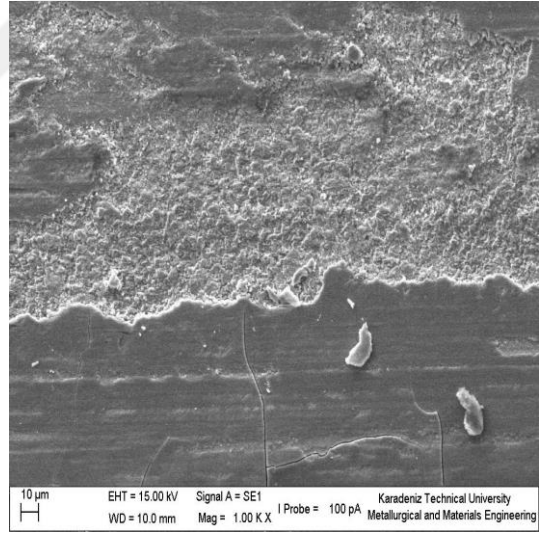


b)

Şekil 3.10. Kaplanmamış numunelerin 30 dakika boyunca, 5 N yük altında, 100 dev/dk hızında aşınma yüzey SEM görüntüleri. a) Büyütme 250X b) Büyütme 1000X

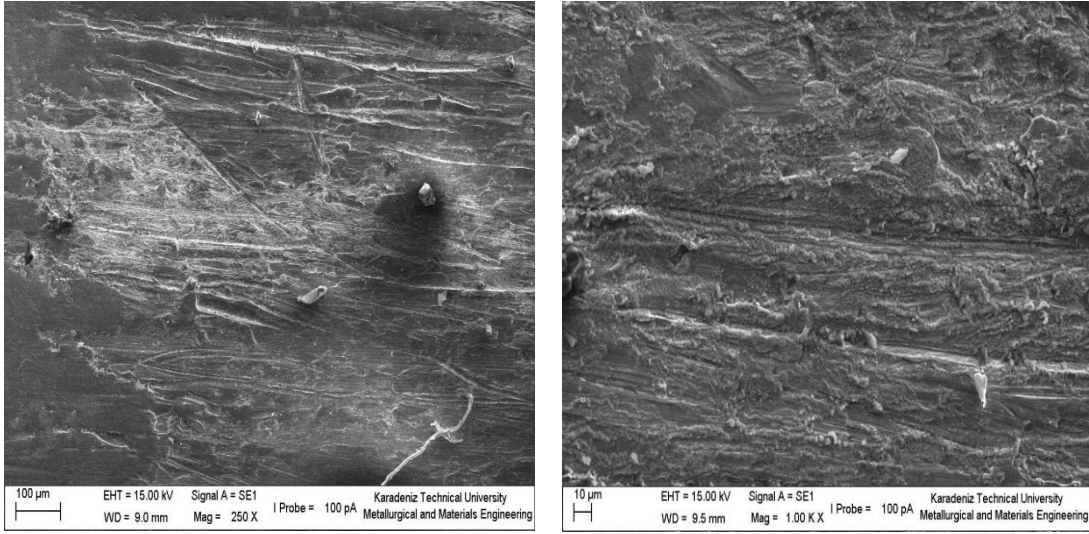


a)



b)

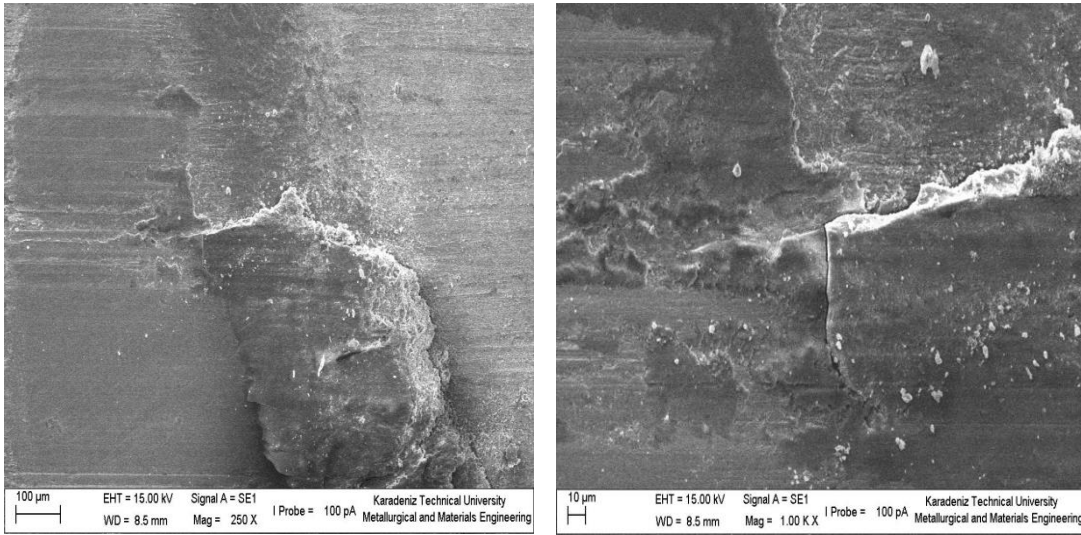
Şekil 3.11. 580 °C' de 2 saat Melonite işlemine tabi tutulan numunelerin 30 dakika boyunca, 5 N yük altında, 100 dev/dk hızında aşınma yüzey SEM görüntüleri. a) Büyütme 250X b) Büyütme 1000X



a)

b)

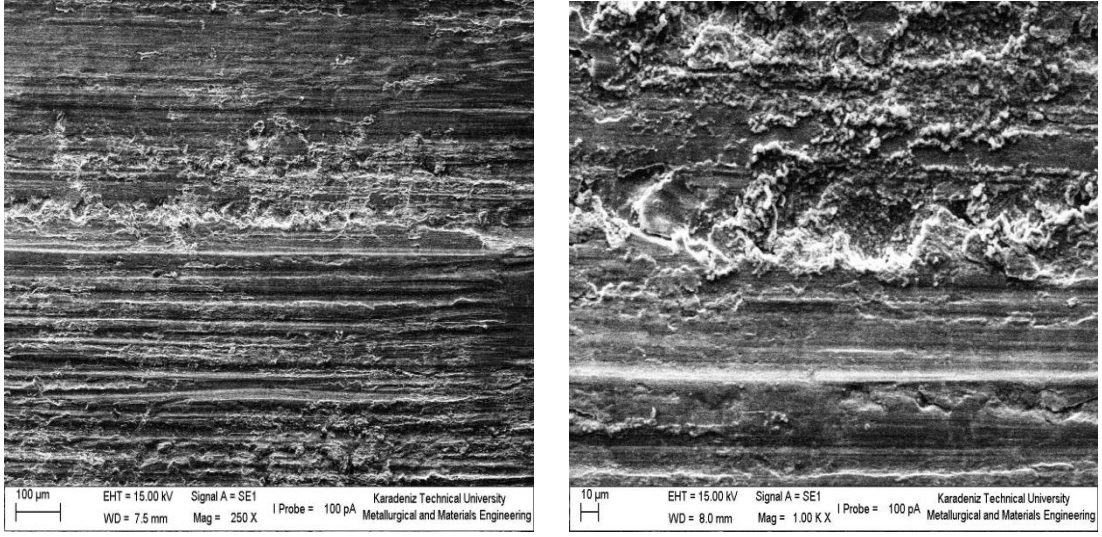
Şekil 3.12. Kaplanmamış numunelerin 60 dakika boyunca, 5 N yük altında, 100 dev/dk hızında aşınma yüzey SEM görüntüleri. a) Büyütme 250X b) Büyütme 1000X



a)

b)

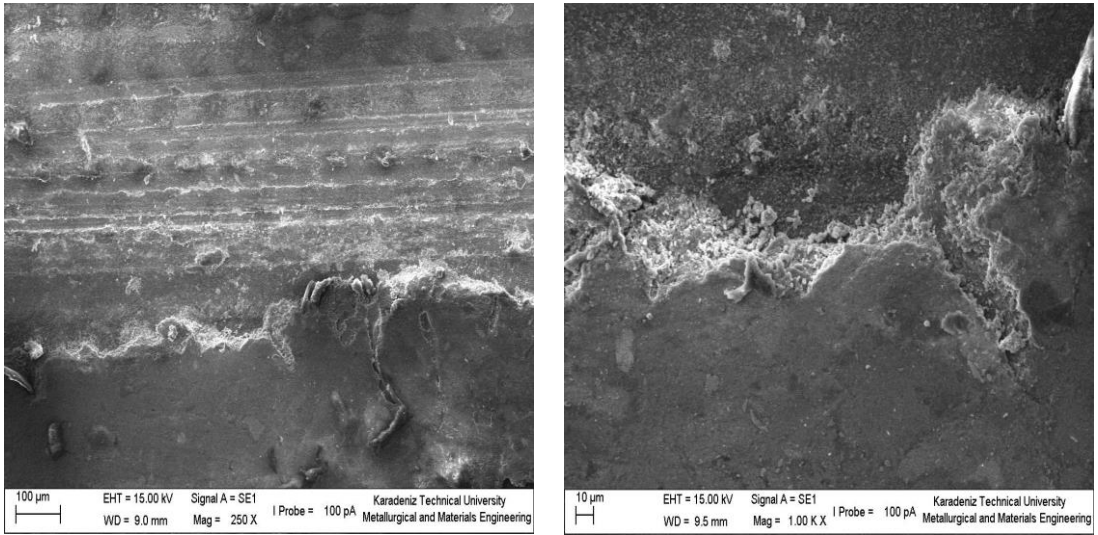
Şekil 3.13. 580 °C’ de 2 saat Melonite işlemine tabi tutulan numunelerin 60 dakika boyunca, 5 N yük altında, 100 dev/dk hızında aşınma yüzey SEM görüntüleri. a) Büyütme 250X b) Büyütme 1000X



a)

b)

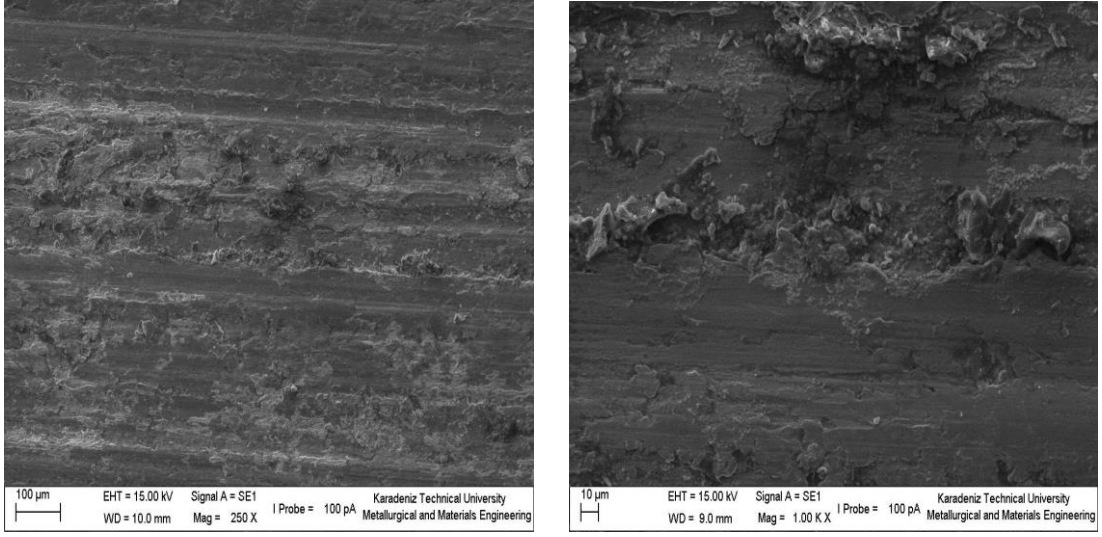
Şekil 3.14. Kaplanmamış numunelerin 90 dakika boyunca, 5 N yük altında, 100 dev/dk hızında aşınma yüzey SEM görüntüleri. a) Büyütme 250X b) Büyütme 1000X



a)

b)

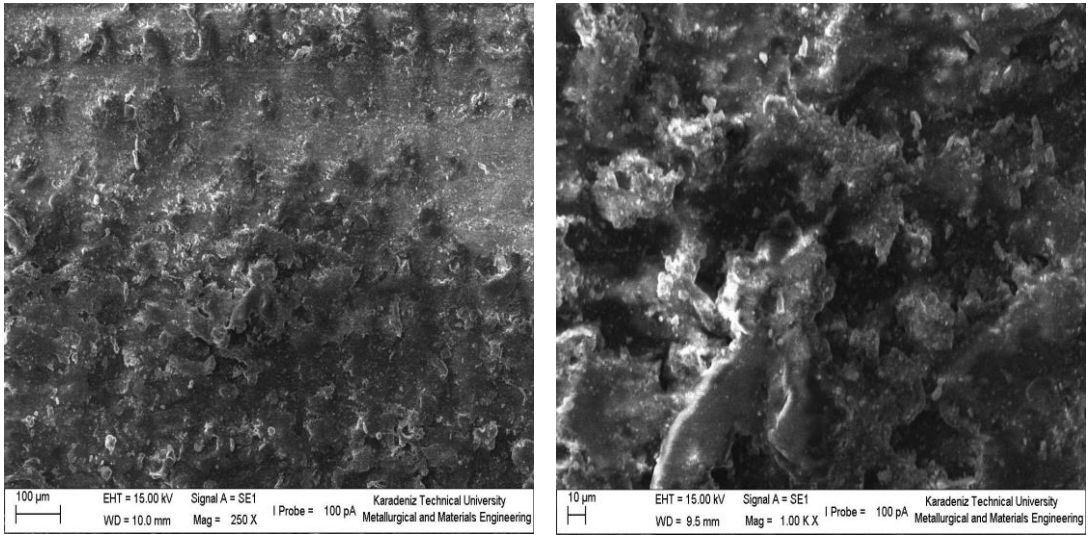
Şekil 3.15. 580 °C’ de 2 saat Melonite işlemine tabi tutulan numunelerin 90 dakika boyunca, 5 N yük altında, 100 dev/dk hızında aşınma yüzey SEM görüntüleri. a) Büyütme 250X b) Büyütme 1000X



a)

b)

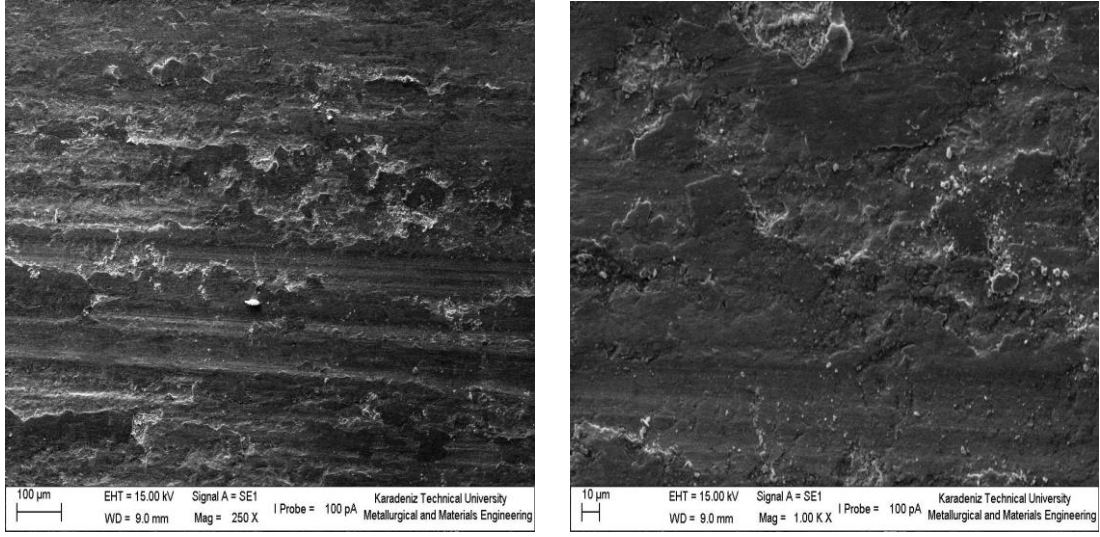
Şekil 3.16. Kaplanmamış numunelerin 120 dakika boyunca, 5 N yük altında, 100 dev/dk hızında aşınma yüzey SEM görüntüleri. a) Büyütme 250X, b) Büyütme 1000X



a)

b)

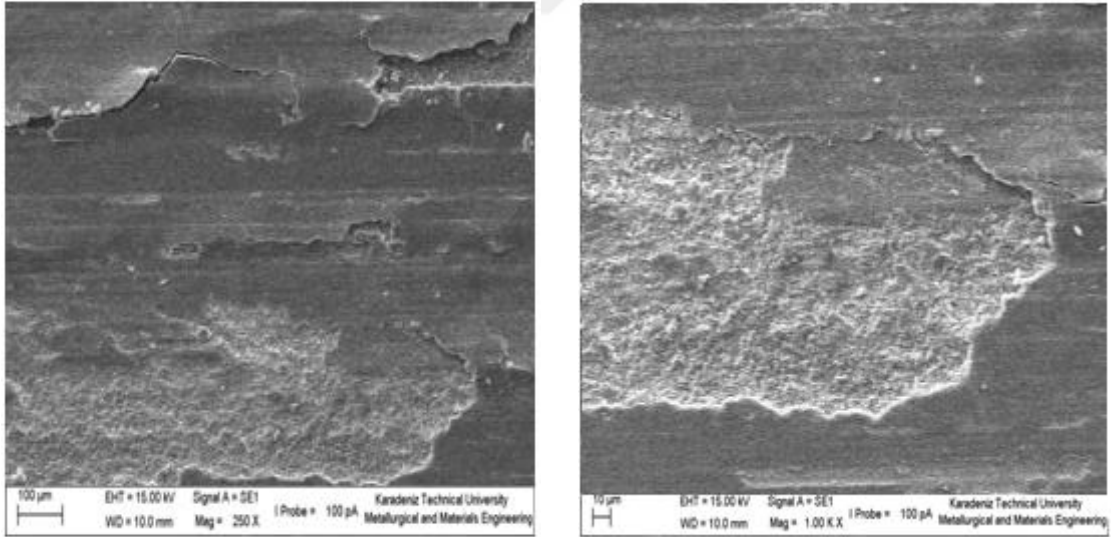
Şekil 3.17. 580 °C' de 2 saat Melonite işlemine tabi tutulan numunelerin 120 dakika boyunca, 5 N yük altında, 100 dev/dk hızında aşınma yüzey SEM görüntüleri. a) Büyütme 250X b) Büyütme 1000X



a)

b)

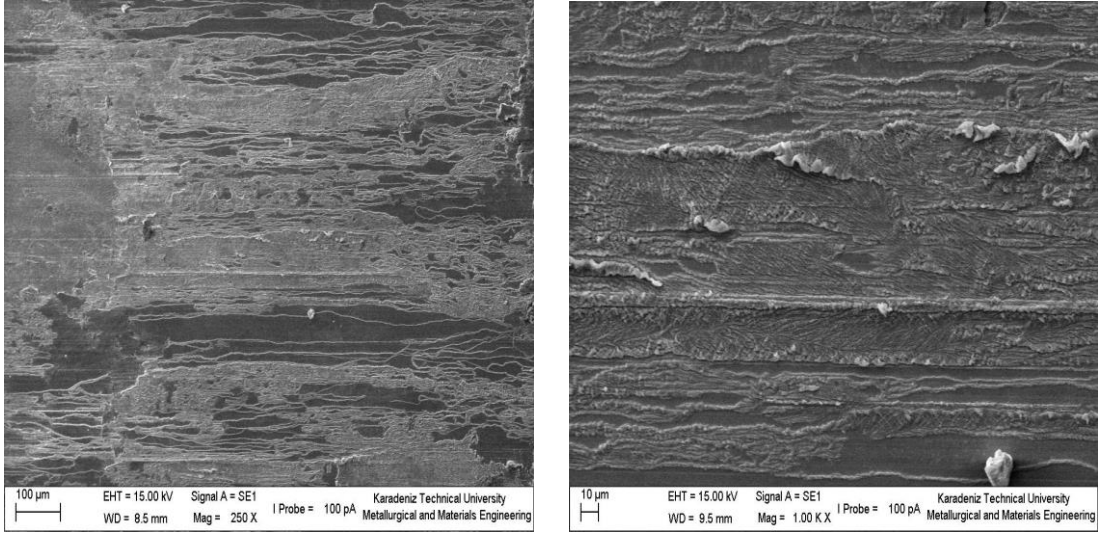
Şekil 3.18. Kaplanmamış numunelerin 30 dakika boyunca, 15 N yük altında, 100 dev/dk hızında aşınma yüzey SEM görüntüleri. a) Büyütme 250X b) Büyütme 1000X



a)

b)

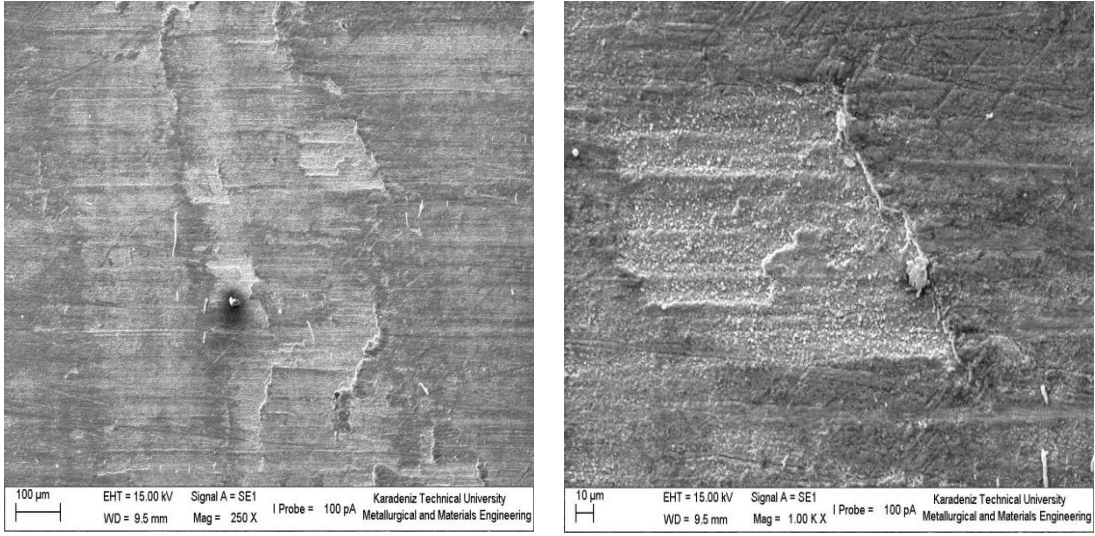
Şekil 3.19. 580 °C' de 2 saat Melonite işlemine tabi tutulan numunelerin 30 dakika boyunca, 15 N yük altında, 100 dev/dk hızında aşınma yüzey SEM görüntüleri. a) Büyütme 250X b) Büyütme 1000X



a)

b)

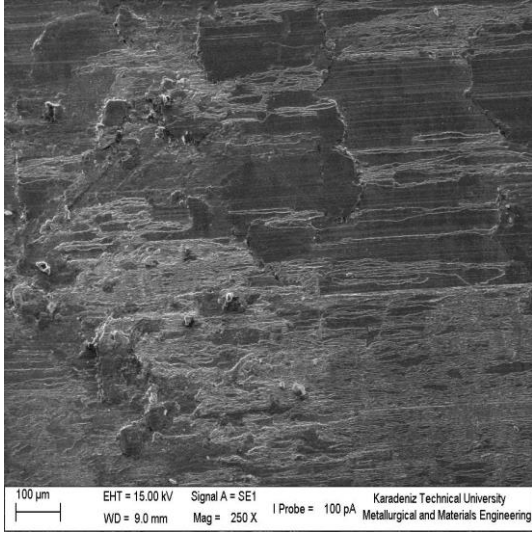
Şekil 3.20. Kaplanmamış numunelerin 30 dakika boyunca, 25 N yük altında, 100 dev/dk hızında aşınma yüzey SEM görüntüleri. a) Büyütme 250X b) Büyütme 1000X



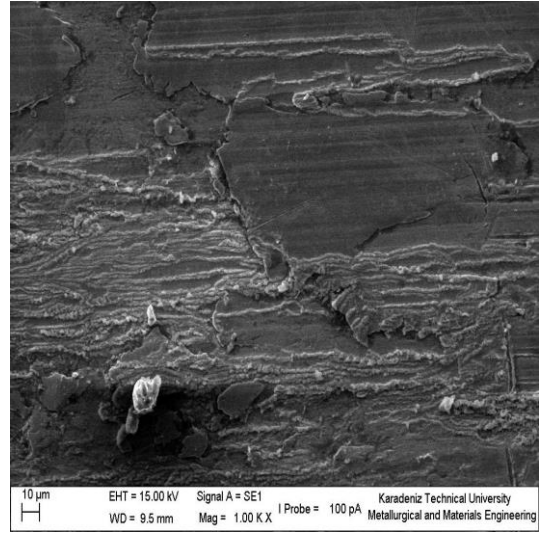
a)

b)

Şekil 3.21. 580 °C' de 2 saat Melonite işleme tabi tutulan numunelerin 30 dakika boyunca, 25 N yük altında, 100 dev/dk hızında aşınma yüzey SEM görüntüleri. a) Büyütme 250X b) Büyütme 1000X

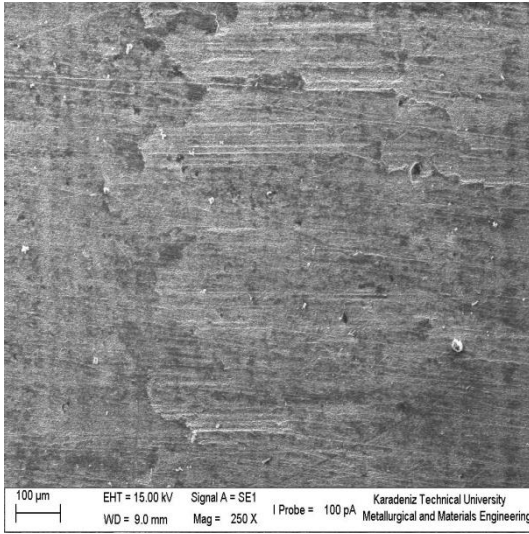


a)

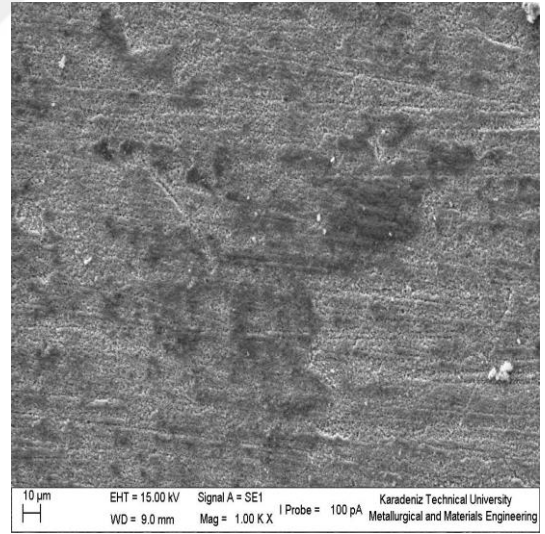


b)

Şekil 3.22. Kaplanmamış numunelerin 30 dakika boyunca, 35 N yük altında, 100 dev/dk hızında aşınma yüzey SEM görüntüleri. a) Büyütme 250X b) Büyütme 1000X

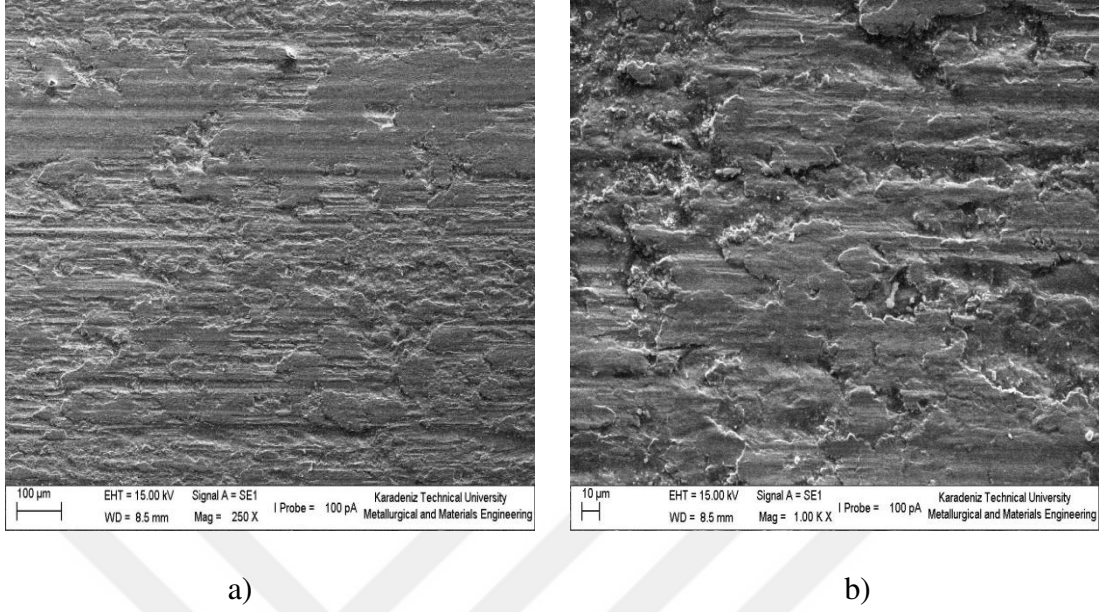


a)

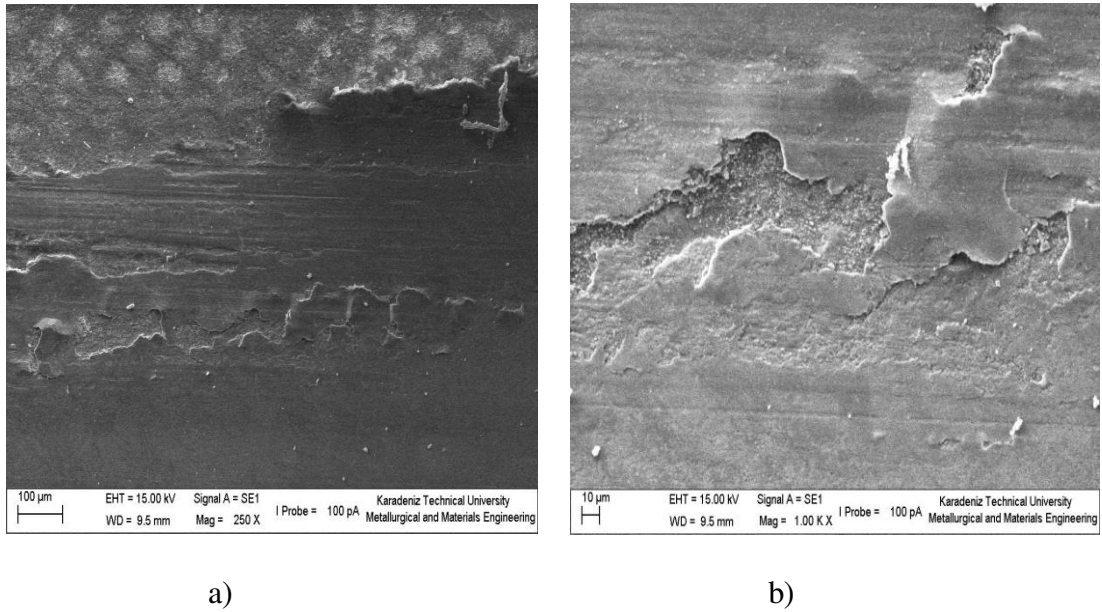


b)

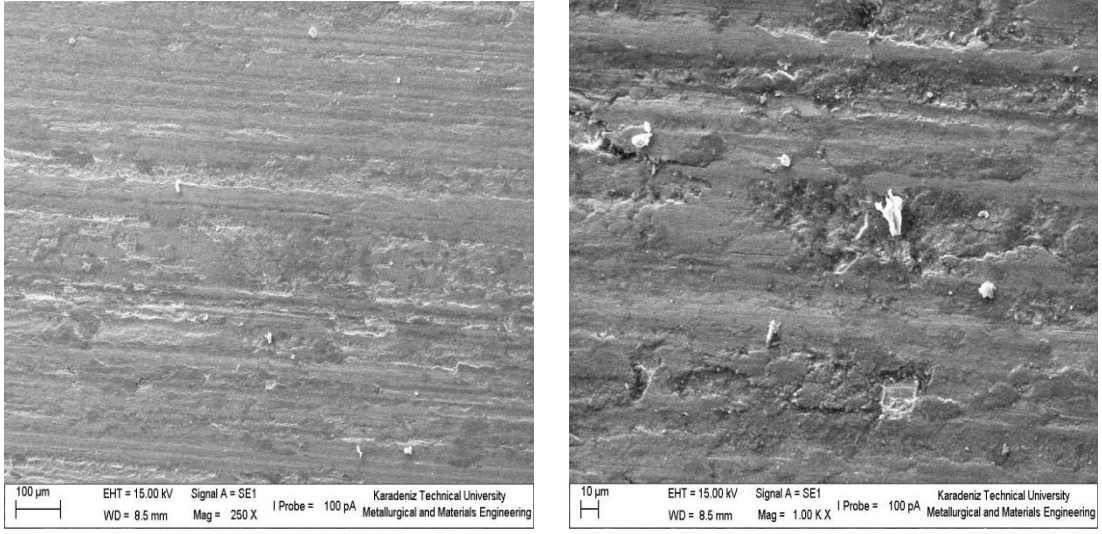
Şekil 3.23. 580 °C' de 2 saat Melonite işlemine tabi tutulan numunelerin 30 dakika boyunca, 35 N yük altında, 100 dev/dk hızında aşınma yüzey SEM görüntüleri. a) Büyütme 250X b) Büyütme 1000X



Şekil 3.24. Kaplanmamış numunelerin 30 dakika boyunca, 5 N yük altında, 200 dev/dk hızında aşınma yüzey SEM görüntüleri. a) Büyütme 250X b) Büyütme 1000X



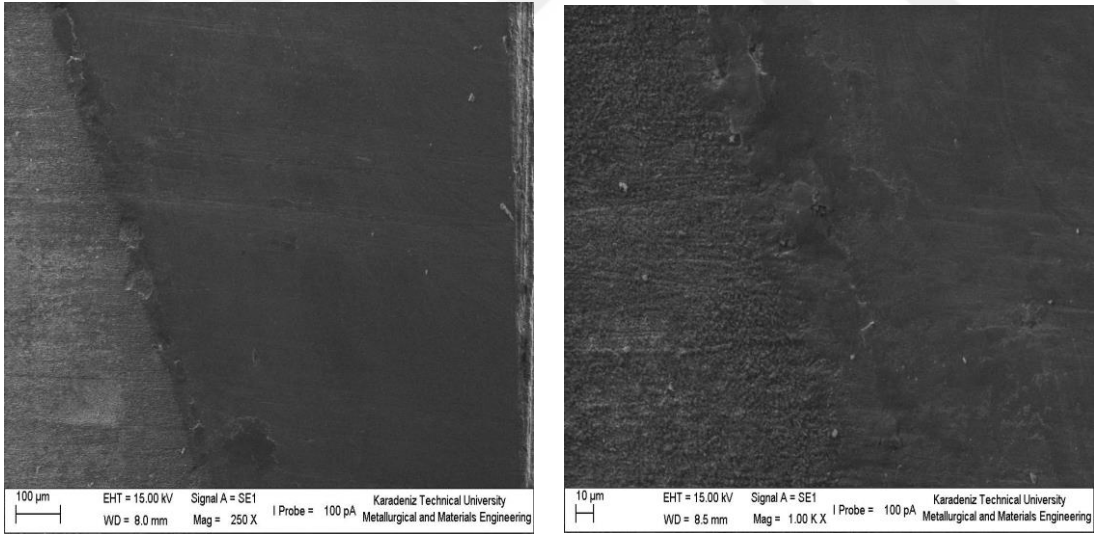
Şekil 3.25. 580 °C' de 2 saat Melonite işlemine tabi tutulan numunelerin 30 dakika boyunca, 5 N yük altında, 200 dev/dk hızında aşınma yüzey SEM görüntüleri. a) Büyütme 250X b) Büyütme 1000X



a)

b)

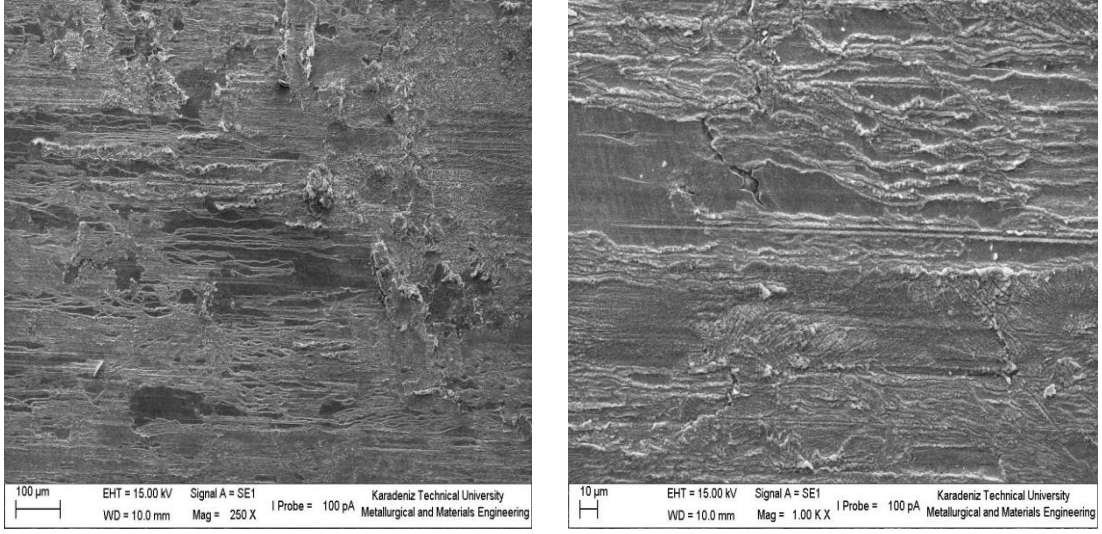
Şekil 3.26. Kaplanmamış numunelerin 30 dakika boyunca, 5 N yük altında, 300 dev/dk hızında aşınma yüzey SEM görüntüleri. a) Büyütme 250X b) Büyütme 1000X



a)

b)

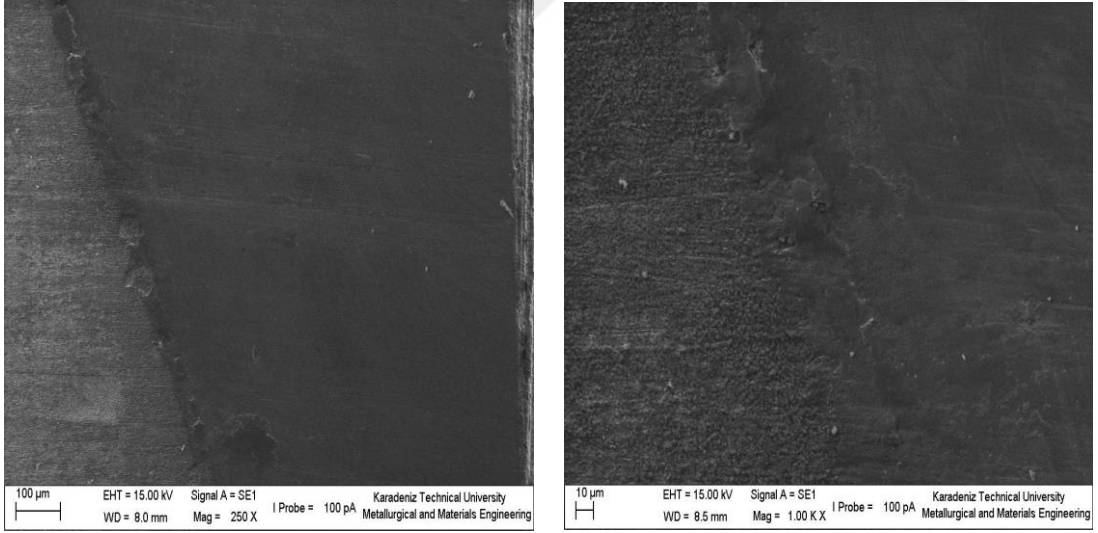
Şekil 3.27. 580 °C' de 2 saat Melonite işlemine tabi tutulan numunelerin 30 dakika boyunca, 5 N yük altında, 300 dev/dk hızında aşınma yüzey SEM görüntüleri. a) Büyütme 250X b) Büyütme 1000X



a)

b)

Şekil 3.28. Kaplanmamış numunelerin 30 dakika boyunca, 5 N yük altında, 400 dev/dk hızında aşınma yüzey SEM görüntüleri. a) Büyütme 250X b) Büyütme 1000X



a)

b)

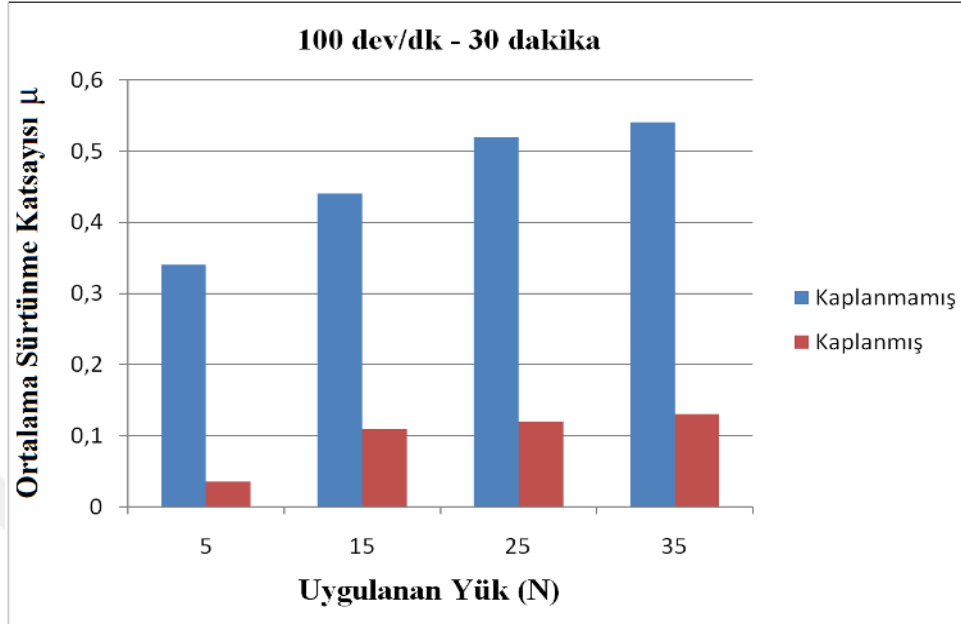
Şekil 3.29. 580 °C' de 2 saat Melonite işlemine tabi tutulan numunelerin 30 dakika boyunca, 5 N yük altında, 400 dev/dk hızında aşınma yüzey SEM görüntüleri. a) Büyütme 250X b) Büyütme 1000X

Tablo 3.1' de yapılan aşınma deneyleri sonrasında ölçülen ortalama sürtünme katsayı değerleri verilmiştir. Ortalama sürtünme katsayı değerleri incelendiğinde uygulanan zaman, yük ve devir arttığında hem kaplanmamış hem de kaplanmış numunelerin sürtünme katsayısında artış gözlemlenmiştir. Sürtünme katsayılarındaki artış miktarı kaplanmış numunelerde kaplanmamış numunelere göre çok az olmuştur. Örneğin Tablo 3.1' de aşınma deneyine tabi tutulan 1. kaplanmamış numunenin ortalama sürtünme katsayısı 0,32-0,37 μ iken, 1. kaplanmış numunenin ortalama sürtünme katsayısı 0,03-0,04 μ olmuştur. Aynı şekilde 8. kaplanmamış numunenin ortalama sürtünme katsayısı 0,33-0,36 μ iken, 8. kaplanmış numunenin ortalama sürtünme katsayısı 0,09-0,13 μ olmuştur. Görüldüğü gibi kaplanmış numunenin ortalama sürtünme katsayısı kaplanmamış numuneye göre yaklaşık 5 ila 6 kat arasında daha iyi sonuç göstermiştir. Bunun nedeni kaplanmış numunelerin sertlik değerinin daha yüksek olmasından dolayı sürtünmeye karşı daha dirençli olmasıdır.

Tablo 3.1. Numunelerin ortalama sürtünme katsayıları

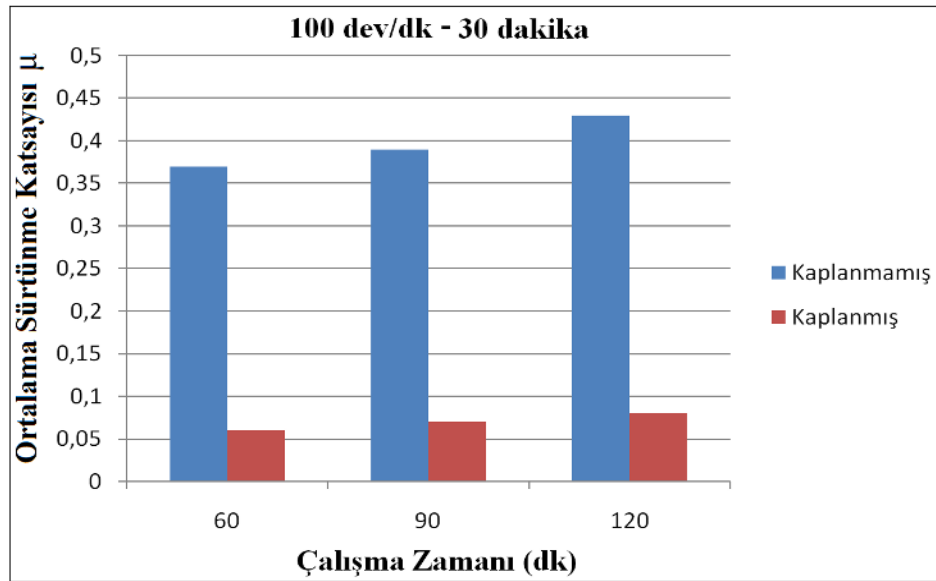
	Aşınma Deney Numuneleri	Yük(N)	Zaman(dk)	Hız(dev/dk)	Ortalama Sürtünme Katsayısı(μ)
Kaplanmamış	1	5	30	100	0,32-0,37
	2	5	60	100	0,35-0,39
	3	5	90	100	0,38-0,40
	4	5	120	100	0,42-0,45
	5	15	30	100	0,42-0,47
	6	25	30	100	0,45-0,59
	7	35	30	100	0,48-0,6
	8	5	30	200	0,33-0,36
	9	5	30	300	0,34-0,38
	10	5	30	400	0,36-0,39
580 °C de 2 saat Melonite Kaplanmış	1	5	30	100	0,03-0,04
	2	5	60	100	0,05-0,07
	3	5	90	100	0,06-0,08
	4	5	120	100	0,07-0,09
	5	15	30	100	0,1-0,12
	6	25	30	100	0,11-0,12
	7	35	30	100	0,12-0,14
	8	5	30	200	0,09-0,13
	9	5	30	300	0,1-0,14
	10	5	30	400	0,11-0,15

Şekil 3.30' de kaplanmamış ve kaplanmış numunelerin uygulanan yük ile ortalama sürtünme katsayı ilişkisini gösteren grafik görülmektedir.



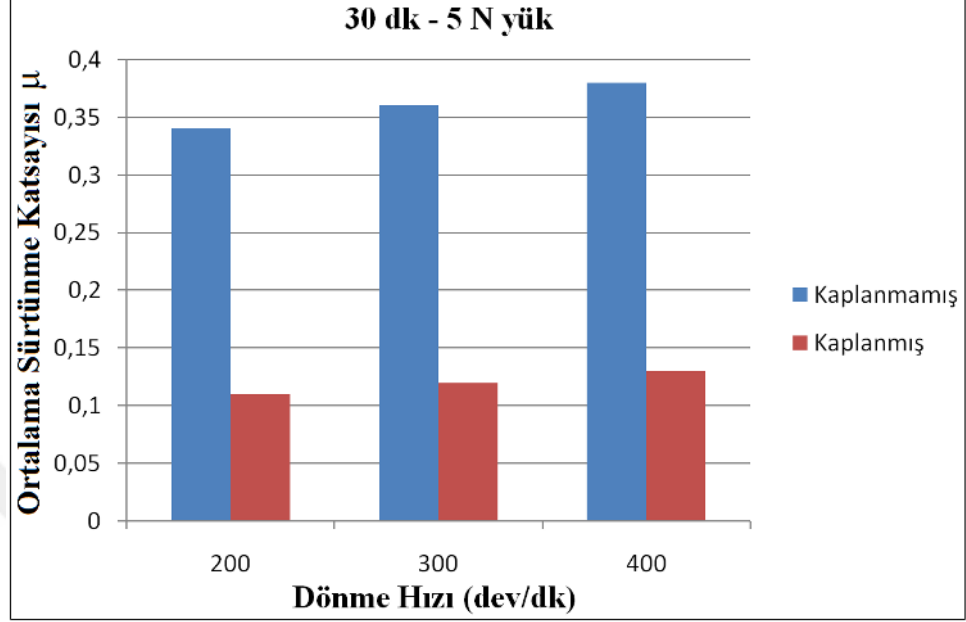
Şekil 3.30. Kaplanmamış ve kaplanmış numunelerin yük ile ortalama sürtünme katsayı ilişkisi

Şekil 3.31' de kaplanmamış ve kaplanmış numunelerin çalışma zamanı ile ortalama sürtünme katsayı ilişkisini gösteren grafik görülmektedir.



Şekil 3.31. Kaplanmamış ve kaplanmış numunelerin çalışma zamanı ile ortalama sürtünme katsayı ilişkisi

Şekil 3.32' de kaplanmamış ve kaplanmış numunelerin dönme hızı ile ortalama sürtünme katsayı ilişkisini gösteren grafik görülmektedir.

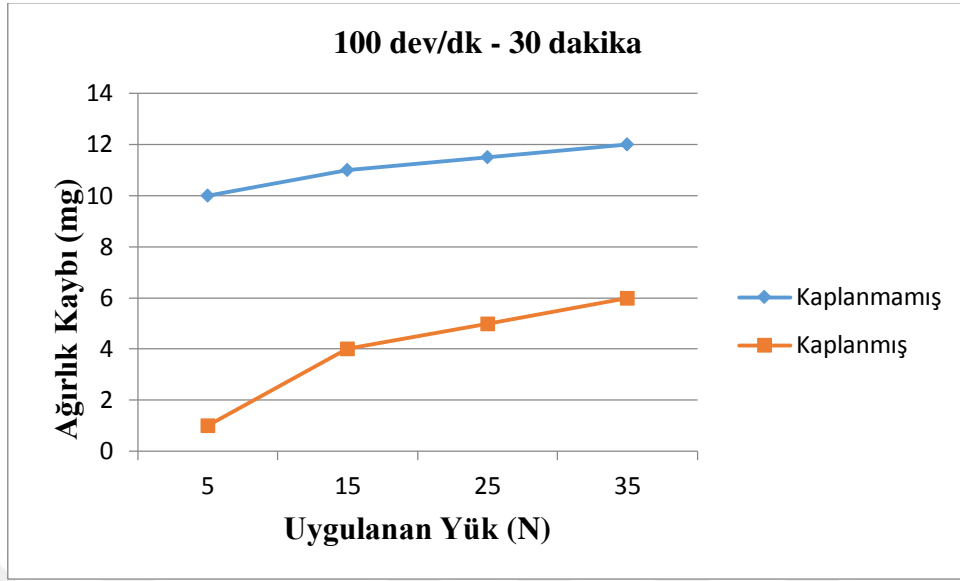


Şekil 3.32. Kaplanmamış ve kaplanmış numunelerin dönme hızı ile ortalama sürtünme katsayı ilişkisi

3.5. Aşınma Deney Sonuçları

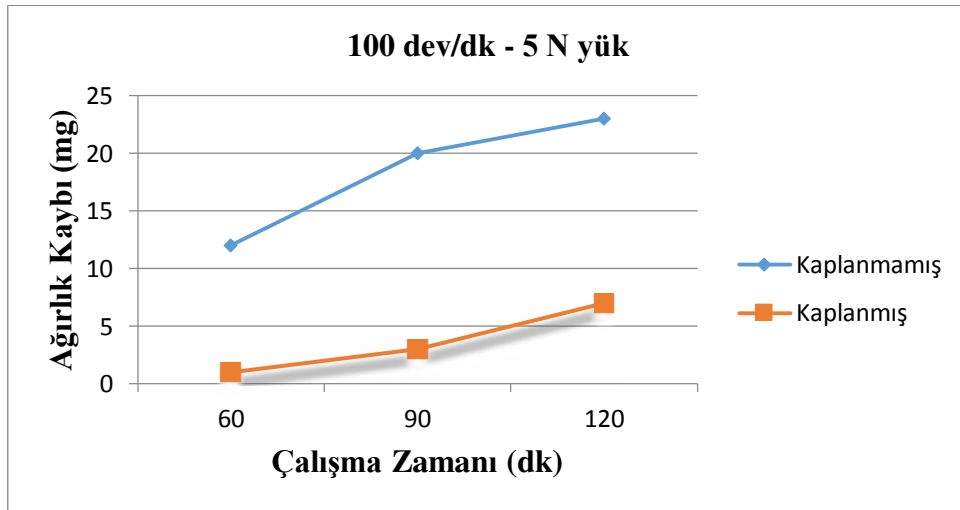
Aşınma işlemi uygulanan kaplanmamış ve 2 saat melonite işlemine tabi tutulmuş numuneler aşınma testleri öncesi ve sonrası hassas terazide tartılarak ağırlık kayıpları tespit edildi ve bu oran ağırlık kaybı hesabında kullanıldı. Aşağıda Şekil 3.33 ile Şekil 3.35 arasında yapılan aşınma deney sonuçları grafiksel olarak gösterilmiştir.

Örneğin Şekil 3.33' de 15 N yük altında yapılan aşınma deneyinde, kaplanmış numunenin ağırlık kaybı 4 mg iken kaplanmamış numunenin ağırlık kaybı 11 mg olmuştur. Kaplanmamış numunenin ağırlık kaybı kaplanmış numunenin ağırlık kaybından yaklaşık üç kat daha fazla olmuştur.



Şekil 3.33. Kaplanmamış ve kaplanmış numunelerin yük ile ağırlık kaybı ilişkisi

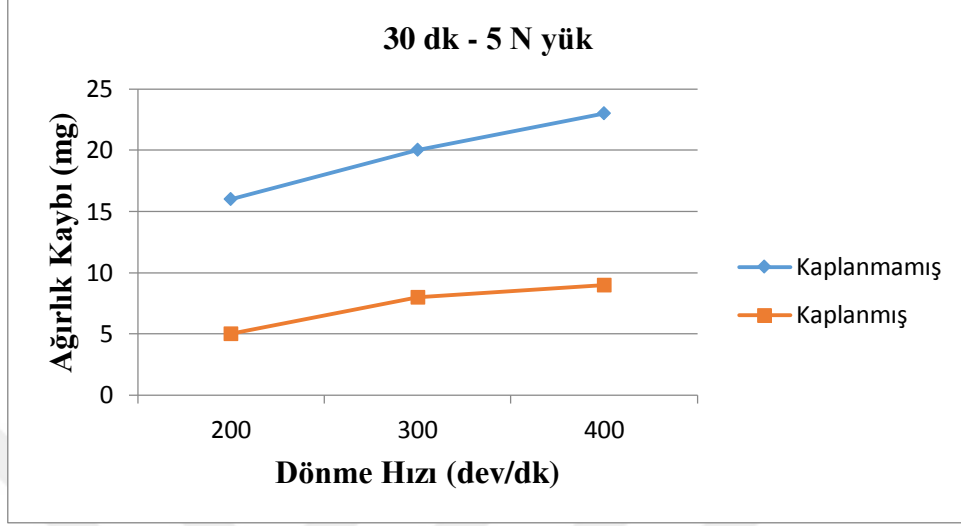
Şekil 3.34’ de 90 dakika boyunca yapılan aşınmada kaplanmış numunenin ağırlık kaybı 4 mg iken kaplanmamış numunenin ağırlık kaybı 20 mg olmuştur. Kaplanmamış numunenin ağırlık kaybı kaplanmış numunenin ağırlık kaybından yaklaşık beş kat daha fazla olmuştur.



Şekil 3.34. Kaplanmamış ve kaplanmış numunelerin çalışma zamanı ile ağırlık kaybı ilişkisi

Şekil 3.35’ de ise 400 dev/dk dönme hızında yapılan deneyde kaplanmış numunenin ağırlık kaybı 9 mg iken kaplanmamış numunenin ağırlık kaybı 24 mg olmuştur.

Kaplanmamış numunenin ağırlık kaybı kaplanmış numunenin ağırlık kaybından yaklaşık üç kat daha fazla olmuştur.



Şekil 3.35. Kaplanmamış ve kaplanmış numunelerin dönme hızı ile ağırlık kaybı ilişkisi

4. İRDELEME

Melonite işleminden sonra aşınma testine tabi tutulan numune yüzeylerinin morfolojik özellikleri incelenmiştir. Hem 2 saat melonite işlemi görmüş hem de kaplanmamış numunelerin XRD spektrumları karşılaştırılmıştır. Kaplanmamış numunelerde herhangi işlem olmadığından yapılan analizde α -Fe(100), α -Fe(200) ve α -Fe(211) fazlarına ait yüksek XRD spektrumları elde edilmiştir. 1 saatlik kaplanmış numune analizinde ise α -Fe(100), Fe_3C ve $\text{Fe}_{2,3}\text{N,C}$ fazlarına ait yüksek XRD spektrumlarına rastlanmıştır. 2 saatlik kaplama sonucu elde edilen analizde Fe_2O_3 , $\text{Fe}_{2,3}\text{N,C}$ ve ϵ - Fe_3N fazlarına rastlanılmıştır. 3 saatlik kaplama sonucundan α -Fe(100), Fe_4N ve Fe_3C fazlarına ait yüksek XRD spektrumları elde edilmiştir. Görüldüğü üzere melonite işlemi görmüş numunelerin spektrumlarında azot görülmektedir (Şekil 3.3). Bunun nedeni numunelerin melonite işlemine tabi tutulmasıdır. Bu sonuçlar değerlendirildiğinde melonite işleminin başarılı olduğu kanıtlanmaktadır.

Melonite işlemi görmüş numunelerin SEM ve EDS analizleri incelendiğinde 1 saat işlem görmüş numunenin difüzyon tabakası boyunca azot miktarının varlığı gözükmemektedir (Şekil 3.4). 2 saat melonite işlemi görmüş numunenin SEM ve EDS analizleri incelendiğinde azot miktarının 1 saat işlem görmüş numuneye göre arttığı gözlemlenmektedir (Şekil 3.5). 3 saatlik melonite işlemi sonrasında ise difüzyon tabakası boyunca azot miktarının 1 ve 2. Numuneye göre yüksek olduğu çok net bir şekilde görülmektedir (Şekil 3.6). Bu sonuçlar değerlendirildiğinde difüzyon süresinin artmasından dolayı difüzyon tabakasındaki azotun da arttığı görülmüştür.

Melonite işleminden sonra yapılan sertlik deney sonuçlarına göre kaplanmamış ve farklı sürelerde kaplanmış (1, 2, 3) numunelerin kaplama süreleri karşılaştırılmıştır. Kaplanmamış numunenin sertlik değerinin yaklaşık 300 HV, 1. Saatlik kaplama sonucunda elde edilen sertlik değerinin yaklaşık 600 HV, 2 saatlik kaplama sonucunda elde edilen sertlik değerinin yaklaşık 820 HV ve 3 saatlik kaplama sonucunda elde edilen sertlik değerinin yaklaşık 500 HV olduğu tespit edilmiştir. Karşılaştırma sonucunda 2 saatlik deney süresine kadar sertliğin arttığı fakat 2 saatten sonra yapılan deney süresinde sertliğin azaldığı görülmektedir (Şekil 3.9). Bunun nedeni difüzyon süresinin artmasıyla yüzeyde meydana gelen pürüzlülüğün sertlik değerini olumsuz şekilde etkilemesidir [25].

Aşınma deneyi sonrasında kaplanmamış ve 2 saat melonite işlemi uygulanmış numuneler Şekil 2.9’ da görülen SEM cihazında incelenmiştir. İnceleme sonucunda kaplanmamış numunelerin kaplanmış numunelere göre daha fazla aşınmaya maruz kaldığı görülmüştür. Bunun nedeni kaplanmış numunenin sertlik değerinin artmış olmasıdır. Ayrıca hem kaplanmış hem de kaplanmamış numunelerin aşınma deney sırasında yük, dönme hızı ve çalışma zamanı artınca aşınma miktarlarının arttığı gözlemlenmiştir.



5. SONUÇLAR

1. Melonite kaplama işlemiyle malzemenin sertlik değerin en yüksek seviyeye çıktığı zaman diliminin 2 saat olduğu tespit edildi.

2. Uygulanan yük, dönme hızı ve çalışma zamanı arttığında aşınma miktarının arttığı belirlenmiştir.

3. Melonite kaplanmış numuneler, kaplanmamış numunelere göre çok iyi aşınma direnci gösterdiği belirlendi.

4. Çalışma sonunda kaplanmış numunelerin sürtünme katsayıları 5 - 10 kat daha iyi sonuç verdiği tespit edildi.

5. Melonite işleminden sonra yapılan deneysel çalışmaların sonuçları incelendiğinde, tespit edilen sürtünme katsayısı ve aşınma direncinin literatürde yapılan çalışmalarla uzlaştığı belirlendi (Şekil 1.14 ve şekil 1.15).

6. ÖNERİLER

1. Melonite işlemine tabi tutulan 4140 çelikler, ülkemizde silah sanayisinde namlu malzemesi olarak kullanılmaktadır. Üretilen bu namlulara, melonite işlemi yapıldığı takdirde yüksek sertlik değeri ve aşınma direnci sağlanabilir.

2. Melonite işlemi günümüzde, hem ekonomik olması hem de çevre dostu tuz banyosu olarak özellikle silah sanayisinde kullanılmaktadır. Daha farklı kimyasal banyo hazırlanarak melonite yöntemi geliştirilebilir.



7. KAYNAKLAR

1. Keleşoğlu, E., Sert Kaplamalar Üretim Teknikleri ve Özellikleri, İstanbul, 2011.
2. Evcin, A., Kaplama Teknikleri Ders Notları, Afyonkarahisar, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, 2006.
3. <http://www.alper.com.tr/hizmetler/isil/islem/nitrasyon.html>, 20.05.2017.
4. Erkan, A., Gaz Nitrür, 1.Isıl İşlem Semineri. İstanbul, 1998.
5. Baycık, H., İyon Nitrürlenmiş H13 Sıcak İş Çeliğinin Sıcaklık ve Zaman İle Sertlik Değerinin Değişimi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1999.
6. Güven, Y., Ş., Delikanlı, K., ve Öncel, E., AISI 4140 Çeliğine Uygulanan İyon Nitrasyon Yüzey Sertleştirme İşleminin Yorulma Dayanımına Etkisi. Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu , 4, 2014, 2.
7. Özdemir, U. ve Erten, M., Plazma (İyon) Nitrürleme Yöntemi ve Malzeme Özellikleri Üzerindeki Etkisi, Havacılık ve Uzay Teknolojileri, 1, 2003, 22.
8. Şirin, Ş. Y., İyon Nitrürleme Yüzey Sertleştirme Isıl İşleminin AISI 4340 Çeliğinin Yorulma Dayanımına Etkisi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2004.
9. İğdil, M.,C., Tosun, M. ve Trabzon, L., Plazma Nitrürleme İşleminin 316 L Ostenitik Paslanmaz Çeliğinin Malzeme Özelliklerine Etkisi . TMMOB MMO Mühendis ve Makina 630, 2011.
10. Onaran, K., Malzeme Bilimi, Bilim ve Teknik Yayınevi, 2009.
11. Asil Çelik Yayınları, NO 5.
12. Şahan, H. ve Akbaş, B., Kutuda Karbonlama. Metalurji 60, 31-37.
13. Sementasyon Ders Notları, <http://www.yildiz.edu.tr/ergunk>, 15.07.2017.
14. Kaya, B., Nano Kompozit Kaplama, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007.
15. AISI 4140 Çeliği, <http://www.cemilsenocak.com/bitirmem/4140.htm>, 10.06.2017.
16. ASM Metals Handbook, Volume 1, Properties and Selection, Iron, Steel and High Performance Alloys, Tenth Edition, Fifth Printing, Materials Park, Ohio, USA, 1997.
17. Smith, William F., Structure and Properties of Engineering Alloys, 2nd ed., McGraw Hill 156s, 1993.
18. Berns, H. and Theisen, W., Ferrous Materials, Steels and Cast Iron, 39s, 2008.

19. Çöl, M. N., Si_3N_4 ve CNT Nano Partiküllerin Yağ Katkısı Olarak AISI 4140 Çeliğinin Aşınma Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2013.
20. Stachowiak, G. W. and Batchelor, A.W., Engineering Tribology, Second Edition, (2005) 312, 384, 483 – 527. Blau, P. J., "Friction, Lubrication and Wear Technology", (1992).
21. Yasuo, K., Takao, K., Koitsu, M., Obata, F., Yoshiki, Y. and Taichi, F., "Friction and wear characteristics of iron oxide coating", Nihon Kikai, Gakkai Nenji, Taikai Koen Ranbunshu, 4, (2003), 133-134.
22. Stachowiak, G. W. and Batchelor, A.W., Engineering Tribology, Second Edition, (2005), 312, 384, 483 – 527.
23. Mustafa D., Mustafa Y., 95200-95300 Cu-Al-Fe Alaşımlarının Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, 17-26, [www.teknoloji.karabuk.edu.tr/arsiv/1302-0056/2006/Cilt\(9\)/Sayi\(1\)/17-26.pdf](http://www.teknoloji.karabuk.edu.tr/arsiv/1302-0056/2006/Cilt(9)/Sayi(1)/17-26.pdf), 12.03.2006
24. Bijwe, J., Composites As A Friction Material: Recent Developments In Non-Asbestos Fiber Reinforced Friction Materials-A Review, Polymer Composites, 18, 3, (1997), 378-396.
25. Göknil, A., Tuz Banyosunda Nitrasyon, Gök-Tem Kimya ve Metalurji Tic. Ltd. Şti., İstanbul, 2007.
26. Boßlet, D. J., Tufftride-/ QPQ-Process Technical Information, hef-durferrit.
27. <http://www.tsistanbul.com/proses>, 12.03.2017

ÖZGEÇMİŞ

Yadigar Alaettin KONAK 1986 yılında Trabzon’ da doğdu. 2006 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Trabzon Meslek Yüksek Okulu Makine bölümünden mezun oldu. 2012 yılında Fırat Üniversitesi Metal Eğitimi Bölümünden mezun oldu. 2013 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı. 2006 yılından beri ticaretle uğraşmaktadır.

