

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TERMO-REAKTİF DİFÜZYON (TRD) TEKNİĞİ İLE
AISI 1010 VE AISI M2 ÇELİKLERİNİN
TİTANYUM NİTRÜR (TİN) KAPLANMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Teknik Öğrt. Gürhan DENİZ

**Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ
Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Uğur ŞEN**

Ağustos 2004

152701

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TERMO-REAKTİF DİFÜZYON (TRD) TEKNİĞİ İLE
AISI 1010 VE AISI M2 ÇELİKLERİNİN
TİTANYUM NİTRÜR (TİN) KAPLANMASI**

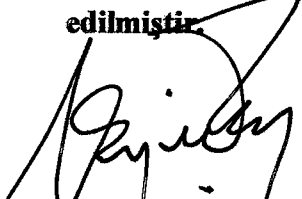
YÜKSEK LİSANS TEZİ


Teknik Öğrt. Gürhan DENİZ

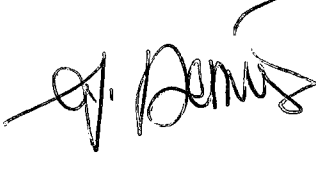
152701

Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ

Bu tez 06 / 08 /2004 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Yrd. Doç. Dr. Uğur ŞEN
Jüri Başkanı


Doç. Dr. Fatih ÜSTEL
Üye


Yrd. Doç. Adem DEMİR
Üye

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, akademik ve teknolojik açıdan önemli bir yüzey dönüşüm işlemi olan TiN kaplamanın, AISI 1010 ve AISI M2 çelik malzemelere uygulanması ve kaplama özellikleri araştırılmıştır. Bu çalışmadaki TiN kaplama işlemi, numune hazırlama ve metalografi çalışmaları, Sakarya Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü, Isıl İşlem Laboratuvarında, tabaka kalınlığı ölçümleri Sakarya Üniversitesi, Metalurji Mühendisliği Bölümünde, X-ışınları analizleri Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, X-ışınları Laboratuvarında, sertlik ölçümleri Federal Elektrik AŞ, Ar-Ge Bölümünde, SEM çekimleri ise Assan Alüminyum AŞ., Ar-Ge Bölümünde yapılmıştır.

Çalışmanın ele alınması ve sonuçlandırılmasında, değerli fikir ve tecrübeleriyle beni yönlendiren saygı değer hocam Yrd. Doç. Dr. Uğur ŞEN' e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında çeşitli fikir, öneri ve tecrübelerinden yararlandığım Yrd. Doç. Dr. Şaduman ŞEN' e, sertlik ölçümlerinin yapılmasında emeği geçen Federal Elektrik AŞ, AR-GE mühendislerinden tasarım mühendisi Leyle ÖNLÜ hanıma harcadıkları zaman ve emekten dolayı teşekkür ederim.

Son olarak tez çalışmalarımın başından sonuna kadar maddi ve manevi desteğini esirgemeyen çok sevdiğim arkadaşım Teknik Öğretmen Murat Han Gedikli' ye sonsuz teşekkür eder, şükranlarımı sunarım.

Ağustos 2004

Tek. Öğrt. Gürhan DENİZ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
TABLO LİSTESİ.....	xxiii
ÖZET.....	xxvi
SUMMARY.....	xxvii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1. Giriş.....	1
BÖLÜM 2	
TİTANYUM (Ti) VE TİTANYUM (Ti) ALAŞIMLARI.....	3
2.1. Giriş.....	3
2.2. Titanyum (Ti) Elementinin Üretim Yöntemleri	4
2.2.1. Sülfat yöntemi.....	4
2.2.2. Klorit yöntemi.....	4
2.3. Titanyum (Ti) ve Alaşımlarının Üstün Özellikleri.....	5
2.4. Titanyum (Ti) ve Alaşımlarının Kullanım Alanları.....	5
2.5. Titanyum (Ti) Alaşımları.....	6
BÖLÜM 3	
NİTRÜRLEME.....	8
3.1. Giriş.....	8
3.2. Nitrürleme için Çelik Seçimi.....	10

3.3. Nitrürleme İşlemi Öncesi Yapılan Ön Hazırlıklar.....	11
3.4. Nitrürleme Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları.....	12
3.5. Nitrürleme İşleminin Kullanım Alanları.....	13
3.6. Nitrürleme Yöntemleri.....	13
3.6.1. Gaz nitrürleme.....	13
3.6.2. Tuz banyosunda (sıvı) nitrürleme.....	16
3.6.3. Toz ile nitrürleme.....	18
3.6.4. Plazma iyon nitrürleme.....	18

BÖLÜM 4

TERMOREAKTİF DİFÜZYON (TRD) PROSESİ.....	20
4.1. Giriş.....	20
4.2. Proses Karakteristikleri.....	21
4.3. Kullanılan Aktivatörler.....	22
4.4. Kullanılan Altlık Malzemeler.....	22
4.5. Kaplama Prosedürü ve Kaplama Oluşum Mekanizması.....	22
4.6. İşlem Parametrelerinin Etkisi.....	23
4.7. Distorsiyon Kontrolü.....	25
4.8. TRD Prosesindeki Genel Prensipler.....	25

BÖLÜM 5

TİTANYUM-NİTRÜR (TiN) KAPLAMALAR.....	28
5.1. Giriş.....	28
5.2. TiN Kaplamaların Üstün Özellikleri.....	29
5.3. TiN Kaplama Tabakasının Altlık Malzemeye Yapışması.....	30
5.4. TiN Kaplamaların Uygulama Alanları ve Uygulama Örnekleri.....	30
5.4.1. TiN kaplamaların uygulama alanları.....	30
5.4.2. TiN kaplamaların uygulama örnekleri.....	31
5.5. Titanyum (Ti) – Azot (N) Esaslı Kaplamalar	33
5.5.1. Titanyum-nitrür (TiN) kaplamalar.....	33
5.5.2. Titanyum-karbon-nitrür (TiCN) kaplamalar.....	33
5.5.3. Titanyum-alüminyum-nitrür (TiAlN) kaplamalar	34
5.5.4. Titanyum-zirkonyum-nitrür (TiZrN) kaplamalar.....	34

5.5.5. Titanyum-alüminyum-vanadyum-nitrür (TiAlVN) kaplamalar..	35
5.6. TRD Prosesi ile Titanyum Nitrür Kaplama Tabakasının Oluşumu ..	36
5.7. Titanyum Nitrür Tabakası Oluşturulmuş Çeliklerin Özellikleri	37
5.7.1. Korozyon direnci.....	37
5.7.2. Sertlik.....	37
5.7.3. Aşınma direnci.....	37

BÖLÜM 6

DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	40
6.1. Giriş.....	40
6.2. DeneYlerde Kullanılan Numuneler.....	41
6.3. DeneYlerde Kullanılan Cihazlar.....	42
6.3.1. Kaplama fırını.....	42
6.3.2. Kaplama potası.....	43
6.3.3. Kaplama banyosu.....	43
6.4. Kaplama İşlemi.....	44
6.5. Metalografik İnceleme.....	44
6.6. X-ışınları Difraksiyon Analizi.....	45
6.7. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Elementer Analiz İncelemesi...	45
6.8. Sertlik DeneYleri.....	45
6.9. Aşınma DeneYleri.....	46

BÖLÜM 7

SONUÇLAR VE İRDELEME.....	47
7.1. Metalografik İnceleme.....	47
7.2. TiN Tabakasının Büyüme Kinetiği	69
7.3. X-ışınları Difraksiyon Analizi.....	73
7.4. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Elementer Analiz İncelemesi...	76
7.5. Sertlik Ölçümleri.....	85
7.6. Aşınma Özellikleri.....	87

BÖLÜM 8

SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	122
8.1.Sonuçlar.....	123
8.2. Öneriler.....	124
KAYNAKLAR.....	125
ÖZGEÇMİŞ.....	129



SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Al_2O_3	: Alümina
CFE	: Karbür oluşturuçu elementler
CVD	: Kimyasal buhar biriktirme
DC	: Doğru akım
EDS	: Dağıtılmış elektron analizi
MPa	: Megapaskal
NFE	: Nitrür oluşturuçu elementler
NT	: Azot iyonu
PVD	: Fiziksel buhar biriktirme
SDH	: Sıkı düzen hegzagonal
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
TD	: Toyota difüzyon
Ti	: Titanyum
TiAlN	: Titanyum-alüminyum-nitrür
TiAlVN	: Titanyum-alüminyum-vanadyum-nitrür
TiC	: Titanyum-karbür
TiCN	: Titanyum-karbon-nitrür
TiN	: Titanyum-nitrür
TiO ₂	: Titanyum dioksit
TiZrN	: Titanyum-zirkonyum-nitrür
TRD	: Termo-reaktif difüzyon

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 Titanyum alaşımlarının sıcaklığa göre çözünme içeriği.....	7
Şekil 4.1 TRD prosesinde, kutu sementasyon tekniğinin akım şeması.....	27
Şekil 5.1 Titanyum ile azot arasındaki denge diyagramının gösterimi.....	29
Şekil 5.2 TiN kafes yapısı ve diğer alaşım elementlerinin kafesteki durumları.	35
Şekil 6.1 Deneysel çalışmalarda kullanılan numunelerin şekil ve boyutları.....	42
Şekil 6.2 Deneylerde kullanılan potaların geometrik şekil ve boyutları(a) pota (b) potanın iç kapağı, (c) potanın dış kapağı	43
Şekil 6.3 Aşınma deneylerinde kullanılan cihazın şematik gösterilişi.....	46
Şekil 7.1 900 °C sıcaklıkta (a) 1 saat, (b) 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI 1010 çeliğinin mikroyapısı.....	48
Şekil 7.2 900 °C sıcaklıkta (a) 3 saat, (b) 4 saat süre ile TiN kaplanmış AISI 1010 çeliğinin mikroyapısı.....	49
Şekil 7.3 1000 °C sıcaklıkta (a) 1 saat, (b) 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI 1010 çeliğinin mikroyapısı.....	50
Şekil 7.4 1000 °C sıcaklıkta (a) 3 saat, (b) 4 saat süre ile TiN kaplanmış AISI 1010 çeliğinin mikroyapısı.....	51
Şekil 7.5 1100 °C sıcaklıkta (a) 1 saat, (b) 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI 1010 çeliğinin mikroyapısı.....	52

Şekil 7.6 1100 °C sıcaklıkta (a) 3 saat, (b) 4 saat süre ile TiN kaplanmış AISI 1010 çeliğinin mikroyapısı.....	53
Şekil 7.7 900 °C sıcaklıkta (a) 1 saat, (b) 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI M2 çeliğinin mikroyapısı.....	54
Şekil 7.8 900 °C sıcaklıkta (a) 3 saat, (b) 4 saat süre ile TiN kaplanmış AISI M2 çeliğinin mikroyapısı.....	55
Şekil 7.9 1000 °C sıcaklıkta (a) 1 saat (b) 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI M2 çeliğinin mikroyapısı.....	56
Şekil 7.10 1000 °C sıcaklıkta (a) 3 saat (b) 4 saat süre ile TiN kaplanmış AISI M2 çeliğinin mikroyapısı.....	57
Şekil 7.11 1100 °C sıcaklıkta (a) 1 saat, (b) 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI M2 çeliğinin mikroyapısı.....	58
Şekil 7.12 1100 °C sıcaklıkta (a) 1 saat, (b) 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI M2 çeliğinin mikroyapısı.....	59
Şekil 7.13 900 °C' de 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI 1010 çeliğinin SEM-BEI görüntüsü.....	60
Şekil 7.14 1000 °C' de 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI 1010 çeliğinin SEM-BEI görüntüsü.....	60
Şekil 7.15 1100 °C' de 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI 1010 çeliğinin SEM-BEI görüntüsü.....	61
Şekil 7.16 900 °C' de 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI M2 çeliğinin SEM-BEI görüntüsü.....	61
Şekil 7.17 1000 °C' de 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI M2 çeliğinin SEM-BEI görüntüsü.....	62

Şekil 7.18 1100 °C’ de 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI M2 çeliğinin SEM-BEI görüntüsü.....	62
Şekil 7.19 900 °C’ de TiN kaplanan AISI 1010 çeliğinde kaplama süresine bağlı olarak elde edilen tabaka kalınlığındaki değişim.....	64
Şekil 7.20 1000 °C’ de TiN kaplanan AISI 1010 çeliğinde kaplama süresine bağlı olarak elde edilen tabaka kalınlığındaki değişim.....	64
Şekil 7.21 1100 °C’ de TiN kaplanan AISI 1010 çeliğinde kaplama süresine bağlı olarak elde edilen tabaka kalınlığındaki değişim.....	65
Şekil 7.22 900 °C’ de TiN kaplanan AISI M2 çeliğinde kaplama süresine bağlı olarak elde edilen tabaka kalınlığındaki değişim.....	65
Şekil 7.23 1000 °C’ de TiN kaplanan AISI M2 çeliğinde kaplama süresine bağlı olarak elde edilen tabaka kalınlığındaki değişim.....	66
Şekil 7.24 1100 °C’ de TiN kaplanan AISI M2 çeliğinde kaplama süresine bağlı olarak elde edilen tabaka kalınlığındaki değişim.....	66
Şekil 7.25 900 – 1000 ve 1100 °C’ de TiN kaplama işlemine tabi tutulmuş AISI 1010 çeliğinin kaplama zamanına bağlı olarak tabaka kalınlığı değişimi	67
Şekil 7.26 900 – 1000 ve 1100 °C’ de TiN kaplama işlemine tabi tutulmuş AISI M2 çeliğinin kaplama zamanına bağlı olarak tabaka kalınlığı değişimi.....	67
Şekil 7.27 TiN kaplama işlemine tabi tutulmuş AISI 1010 çeliğinin sıcaklığa ve kaplama zamanına bağlı olarak tabaka kalınlığı değişimi.....	68
Şekil 7.28 TiN kaplama işlemine tabi tutulmuş AISI M2 çeliğinin sıcaklığa ve kaplama zamanına bağlı olarak tabaka kalınlığı değişimi.....	69

Şekil 7.29 AISI 1010 çeliğinin yüzeyinde oluşan TiN tabaka kalınlığının karesinin zamana bağlı olarak değişimi	70
Şekil 7.30 AISI M2 çeliğinin yüzeyinde oluşan TiN tabaka kalınlığının karesinin zamana bağlı olarak değişimi.....	71
Şekil 7.31 TiN kaplanmış AISI 1010 çeliğinin difüzyon katsayısının işlem sıcaklığına bağlı olarak değişimi	71
Şekil 7.32 TiN kaplanmış AISI M2 çeliğinin difüzyon katsayısının işlem sıcaklığına bağlı olarak değişimi	72
Şekil 7.33 900 °C sıcaklıkta 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numunenin x-ışınları difraksiyon paterni	73
Şekil 7.34 1000 °C sıcaklıkta 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numunenin x-ışınları difraksiyon paterni	74
Şekil 7.35 1100 °C sıcaklıkta 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numunenin x-ışınları difraksiyon paterni	74
Şekil 7.36 900 °C sıcaklıkta 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI M2 çelik numunenin x-ışınları difraksiyon paterni	75
Şekil 7.37 1000 °C sıcaklıkta 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI M2 çelik numunenin x-ışınları difraksiyon paterni	75
Şekil 7.38 1100 °C sıcaklıkta 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI M2 çelik numunenin x-ışınları difraksiyon paterni.....	76
Şekil 7.39 900 °C sıcaklıkta 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numunenin kaplama tabakasının elementer analiz dağılımı. (a) SEM mikroyapı görüntüsü üzerinde lineer analiz sonuçları, (b) ve (c) Elementlerin lineer analiz dağılımları	77

Şekil 7.40 1000 °C sıcaklıkta 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numunenin kaplama tabakasının elementer analiz dağılımı. (a) SEM mikroyapı görüntüsü üzerinde lineer analiz sonuçları, (b) ve (c) Elementlerin lineer analiz dağılımları.....	78
Şekil 7.41 1100 °C sıcaklıkta 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numunenin kaplama tabakasının elementer analiz dağılımı. (a) SEM mikroyapı görüntüsü üzerinde lineer analiz sonuçları, (b) ve (c) Elementlerin lineer analiz dağılımları.....	79
Şekil 7.42 900 °C sıcaklıkta 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI M2 çelik numunenin kaplama tabakasının elementer analiz dağılımı. (a) SEM mikroyapı görüntüsü üzerinde lineer analiz sonuçları, (b) ve (c) Elementlerin lineer analiz dağılımları.....	80
Şekil 7.43 1000 °C sıcaklıkta 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numunenin kaplama tabakasının elementer analiz dağılımı. (a) SEM mikroyapı görüntüsü üzerinde lineer analiz sonuçları, (b) ve (c) Elementlerin lineer analiz dağılımları.....	81
Şekil 7.44 1100 °C sıcaklıkta 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numunenin kaplama tabakasının elementer analiz dağılımı. (a) SEM mikroyapı görüntüsü üzerinde lineer analiz sonuçları, (b) ve (c) Elementlerin lineer analiz dağılımları.....	82
Şekil 7.45 900 °C sıcaklıkta 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numunenin kaplama tabakasının noktasal analiz diyagramı.....	83
Şekil 7.46 1000 °C sıcaklıkta 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numunenin kaplama tabakasının noktasal analiz diyagramı.....	83
Şekil 7.47 1100 °C sıcaklıkta 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numunenin kaplama tabakasının noktasal analiz diyagramı.....	83

Şekil 7.48 900 °C sıcaklıkta 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI M2 çelik numunenin kaplama tabakasının noktasal analiz diyagramı.....	84
Şekil 7.49 1000 °C sıcaklıkta 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI M2 çelik numunenin kaplama tabakasının noktasal analiz diyagramı.....	84
Şekil 7.50 1100 °C sıcaklıkta 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI M2 çelik numunenin kaplama tabakasının noktasal analiz diyagramı.....	84
Şekil 7.51 900 – 1000 ve 1100 °C’ de TiN kaplama işlemine tabi tutulmuş AISI 1010 çeliğinin kaplama zamanına bağlı olarak sertlik dağılımı.	86
Şekil 7.52 900 – 1000 ve 1100 °C’ de TiN kaplama işlemine tabi tutulmuş AISI M2 çeliğinin kaplama zamanına bağlı olarak sertlik dağılımı....	87
Şekil 7.53 AISI 1010 çelik numune ile safir bilye arasındaki sürtünme katsayılarının uygulanan yüklere ve hızlara bağlı olarak değişimi.....	88
Şekil 7.54 AISI 1010 çelik numune ile AISI M50 aşındırıcı bilye arasındaki sürtünme katsayılarının uygulanan yüklere ve hızlara bağlı olarak değişimi.....	88
Şekil 7.55 AISI M2 çelik numune ile Al ₂ O ₃ aşındırıcı bilye arasındaki sürtünme katsayılarının uygulanan yüklere ve hızlara bağlı olarak değişimi.....	89
Şekil 7.56 AISI M2 çelik numune ile AISI M50 aşındırıcı bilye arasındaki sürtünme katsayılarının uygulanan yüklere ve hızlara bağlı olarak değişimi.....	89
Şekil 7.57 AISI 1010 çelik numune ile safir bilye arasındaki 10N yük ve 0,1 m/s hızdaki sürtünme katsayısının değişimi.....	90
Şekil 7.58 AISI 1010 çelik numune ile AISI M50 bilye arasındaki 10N yük ve 0,1 m/s hızdaki sürtünme katsayısının değişimi.....	90

Şekil 7.59 AISI M2 çelik numune ile AISI M50 bilye arasındaki 10N yük ve 0,1 m/s hızdaki sürtünme katsayısının değişimi.....	91
Şekil 7.60 AISI M2 çelik numune ile safir bilye arasındaki 10N yük ve 0,1 m/s hızdaki sürtünme katsayısının değişimi.....	91
Şekil 7.61 Safir bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiN kaplanmış AISI 1010 çeliğinin 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,1 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi.....	93
Şekil 7.62 Safir bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiN kaplanmış AISI 1010 çeliğinin 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,3 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi.....	93
Şekil 7.63 Safir bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiN kaplanmış AISI 1010 çeliğinin 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,5 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi.....	93
Şekil 7.64 Safir bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiN kaplanmış AISI M2 çeliğinin 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,1 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi.....	94
Şekil 7.65 Al ₂ O ₃ bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiN kaplanmış AISI M2 çeliğinin 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,3 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi.....	94
Şekil 7.66 Safir bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiN kaplanmış AISI M2 çeliğinin 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,5 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi.....	94
Şekil 7.67 Safir bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiN kaplanmış AISI 1010 çeliğinin 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,1- 0,3 ve 0,5 m/s hızdaki aşınma hızı değişimi.....	96

Şekil 7.68 Safir bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiN kaplanmış AISI M2 çeliğinin 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,1- 0,3 ve 0,5 m/s hızdaki aşınma hızı değişimi.....	96
Şekil 7.69 Safir bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiN kaplanmış AISI 1010 çeliğinin 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,1-0,3 ve 0,5 m/s hızdaki spesifik aşınma hızı değişimi.....	97
Şekil 7.70 Safir bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiN kaplanmış AISI M2 çeliğinin 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,1-0,3 ve 0,5 m/s hızdaki spesifik aşınma hızı değişimi.....	97
Şekil 7.71 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan safir bilyede oluşan 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,1 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi.....	99
Şekil 7.72 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan safir bilyede oluşan 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,3 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi.....	99
Şekil 7.73 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan safir bilyede oluşan 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,5 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi.....	100
Şekil 7.74 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan safir bilyede oluşan 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,1 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi.....	100
Şekil 7.75 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan safir bilyede oluşan 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,3 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi.....	100
Şekil 7.76 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan safir bilyede oluşan 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,5 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi.....	101

Şekil 7.77 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan safir bilyede oluşan 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,1-0,3 ve 0,5 m/s hızlardaki aşınma hızı değişimi.....	102
Şekil 7.78 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan safir bilyede oluşan 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,1-0,3 ve 0,5 m/s hızlardaki aşınma hızı değişimi.....	102
Şekil 7.79 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan safir bilyede oluşan 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,1-0,3 ve 0,5 m/s hızlardaki spesifik aşınma hızı değişimi.....	104
Şekil 7.80 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan safir bilyede oluşan 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,1-0,3 ve 0,5 m/s hızlardaki spesifik aşınma hızı değişimi.....	104
Şekil 7.81 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI M50 bilyede oluşan 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,1 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi.....	106
Şekil 7.82 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI M50 bilyede oluşan 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,3 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi.....	107
Şekil 7.83 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI M50 bilyede oluşan 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,5 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi.....	107
Şekil 7.84 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI M50 bilyede oluşan 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,1 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi.....	107
Şekil 7.85 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI M50 bilyede oluşan 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,3 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi.....	108

Şekil 7.86 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI M50 bilyede oluşan 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,5 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi.....	108
Şekil 7.87 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI M50 bilyede oluşan 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,1-0,3 ve 0,5 m/s hızlardaki aşınma hızı değişimi.....	109
Şekil 7.88 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI M50 bilyede oluşan 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,1-0,3 ve 0,5 m/s hızlardaki aşınma hızı değişimi.....	109
Şekil 7.89 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI M50 bilyede oluşan 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,1-0,3 ve 0,5 m/s hızlardaki spesifik aşınma hızı değişimi.....	111
Şekil 7.90 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI M50 bilyede oluşan 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,1-0,3 ve 0,5 m/s hızlardaki spesifik aşınma hızı değişimi.....	111
Şekil 7.91 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile AISI M50 bilye arasındaki 2N yük altında ve 0,1 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) AISI M50 bilye (50X) (b) AISI 1010 çelik numune (50X) (c) AISI 1010 çelik numune (200X).....	112
Şekil 7.92 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile AISI M50 bilye arasındaki 5N yük altında ve 0,1 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) AISI M50 bilye (50X) (b) AISI 1010 çelik numune (50X) (c) AISI 1010 çelik numune (200X).....	112
Şekil 7.93 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile AISI M50 bilye arasındaki 10N yük altında ve 0,1 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) AISI M50 bilye (50X) (b) AISI 1010 çelik numune (50X) (c) AISI 1010 çelik numune (200X).....	113

- Şekil 7.94 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile safir bilye arasındaki 2N yük altında ve 0,1 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) Safir bilye (50X) (b) AISI 1010 çelik numune (50X) (c) AISI 1010 çelik numune (200X)..... 113
- Şekil 7.95 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile safir bilye arasındaki 5N yük altında ve 0,1 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) Safir bilye (50X) (b) AISI 1010 çelik numune (50X) (c) AISI 1010 çelik numune (200X)..... 113
- Şekil 7.96 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile safir bilye arasındaki 10N yük altında ve 0,1 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) Safir bilye (50X) (b) AISI 1010 çelik numune (50X) (c) AISI 1010 çelik numune (200X)..... 113
- Şekil 7.97 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile AISI M50 bilye arasındaki 2N yük altında ve 0,1 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) AISI M50 bilye (50X) (b) AISI M2 çelik numune (50X) (c) AISI M2 çelik numune (200X)..... 114
- Şekil 7.98 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile AISI M50 bilye arasındaki 5N yük altında ve 0,1 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) AISI M50 bilye (50X) (b) AISI M2 çelik numune (50X) (c) AISI M2 çelik numune (200X)..... 114
- Şekil 7.99 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile AISI M50 bilye arasındaki 10N yük altında ve 0,1 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) AISI M50 bilye (50X) (b) AISI M2 çelik numune (50X) (c) AISI M2 çelik numune (200X)..... 114
- Şekil 7.100 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile safir bilye arasındaki 2N yük altında ve 0,1 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) Safir bilye (50X) (b) AISI M2 çelik numune (50X) (c) AISI M2 çelik numune (200X)..... 114

- Şekil 7.101 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile safir bilye arasındaki 5N yük altında ve 0,1 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) Safir bilye (50X) (b) AISI M2 çelik numune (50X) (c) AISI M2 çelik numune (200X)..... 115
- Şekil 7.102 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile safir bilye arasındaki 10N yük altında ve 0,1 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) Safir bilye (50X) (b) AISI M2 çelik numune (50X) (c) AISI M2 çelik numune (200X)..... 115
- Şekil 7.103 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile AISI M50 bilye arasındaki 2N yük altında ve 0,3 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) AISI M50 bilye (50X) (b) AISI 1010 çelik numune (50X) (c) AISI 1010 çelik numune (200X)..... 115
- Şekil 7.104 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile AISI M50 bilye arasındaki 5N yük altında ve 0,3 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) AISI M50 bilye (50X) (b) AISI 1010 çelik numune (50X) (c) AISI 1010 çelik numune (200X)..... 115
- Şekil 7.105 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile AISI M50 bilye arasındaki 10N yük altında ve 0,3 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) AISI M50 bilye (50X) (b) AISI 1010 çelik numune (50X) (c) AISI 1010 çelik numune (200X)..... 116
- Şekil 7.106 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile safir bilye arasındaki 2N yük altında ve 0,3 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) Safir bilye (50X) (b) AISI 1010 çelik numune (50X) (c) AISI 1010 çelik numune (200X)..... 116
- Şekil 7.107 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile safir bilye arasındaki 5N yük altında ve 0,3 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) Safir bilye (50X) (b) AISI 1010 çelik numune (50X) (c) AISI 1010 çelik numune (200X)..... 116

- Şekil 7.108 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile safir bilye arasındaki 10N yük altında ve 0,3 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) Safir bilye (50X) (b) AISI 1010 çelik numune (50X) (c) AISI 1010 çelik numune (200X)..... 116
- Şekil 7.109 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile AISI M50 bilye arasındaki 2N yük altında ve 0,3 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) AISI M50 bilye (50X) (b) AISI M2 çelik numune (50X) (c) AISI M2 çelik numune (200X)..... 117
- Şekil 7.110 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile AISI M50 bilye arasındaki 5N yük altında ve 0,3 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) AISI M50 bilye (50X) (b) AISI M2 çelik numune (50X) (c) AISI M2 çelik numune (200X)..... 117
- Şekil 7.111 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile AISI M50 bilye arasındaki 10N yük altında ve 0,3 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) AISI M50 bilye (50X) (b) AISI M2 çelik numune (50X) (c) AISI M2 çelik numune (200X)..... 117
- Şekil 7.112 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile safir bilye arasındaki 2N yük altında ve 0,3 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) Safir bilye (50X) (b) AISI M2 çelik numune (50X) (c) AISI M2 çelik numune (200X)..... 117
- Şekil 7.113 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile safir bilye arasındaki 5N yük altında ve 0,3 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) Safir bilye (50X) (b) AISI M2 çelik numune (50X) (c) AISI M2 çelik numune (200X)..... 118
- Şekil 7.114 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile safir bilye arasındaki 10N yük altında ve 0,3 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) Safir bilye (50X) (b) AISI M2 çelik numune (50X) (c) AISI M2 çelik numune (200X)..... 118

- Şekil 7.115 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile AISI M50 bilye arasındaki 2N yük altında ve 0,5 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) AISI M50 bilye (50X) (b) AISI 1010 çelik numune (50X) (c) AISI 1010 çelik numune (200X)..... 118
- Şekil 7.116 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile AISI M50 bilye arasındaki 5N yük altında ve 0,5 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) AISI M50 bilye (50X) (b) AISI 1010 çelik numune (50X) (c) AISI 1010 çelik numune (200X)..... 118
- Şekil 7.117 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile AISI M50 bilye arasındaki 10N yük altında ve 0,5 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) AISI M50 bilye (50X) (b) AISI 1010 çelik numune (50X) (c) AISI 1010 çelik numune (200X)..... 119
- Şekil 7.118 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile safir bilye arasındaki 2N yük altında ve 0,5 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) Safir bilye (50X) (b) AISI 1010 çelik numune (50X) (c) AISI 1010 çelik numune (200X)..... 119
- Şekil 7.119 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile safir bilye arasındaki 5N yük altında ve 0,5 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) Safir bilye (50X) (b) AISI 1010 çelik numune (50X) (c) AISI 1010 çelik numune (200X)..... 119
- Şekil 7.120 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile safir bilye arasındaki 10N yük altında ve 0,5 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) Safir bilye (50X) (b) AISI 1010 çelik numune (50X) (c) AISI 1010 çelik numune (200X)..... 119
- Şekil 7.121 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile AISI M50 bilye arasındaki 2N yük altında ve 0,5 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) AISI M50 bilye (50X) (b) AISI M2 çelik numune (50X) (c) AISI M2 çelik numune (200X)..... 120

- Şekil 7.122 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile AISI M50 bilye arasındaki 5N yük altında ve 0,5 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) AISI M50 bilye (50X) (b) AISI M2 çelik numune (50X) (c) AISI M2 çelik numune (200X)..... 120
- Şekil 7.123 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile AISI M50 bilye arasındaki 10N yük altında ve 0,5 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) AISI M50 bilye (50X) (b) AISI M2 çelik numune (50X) (c) AISI M2 çelik numune (200X)..... 120
- Şekil 7.124 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile safir bilye arasındaki 2N yük altında ve 0,5 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) Safir bilye (50X) (b) AISI M2 çelik numune (50X) (c) AISI M2 çelik numune (200X)..... 120
- Şekil 7.125 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile safir bilye arasındaki 5N yük altında ve 0,5 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) Safir bilye (50X) (b) AISI M2 çelik numune (50X) (c) AISI M2 çelik numune (200X)..... 121
- Şekil 7.126 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile safir bilye arasındaki 10N yük altında ve 0,5 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) Safir bilye (50X) (b) AISI M2 çelik numune (50X) (c) AISI M2 çelik numune (200X)..... 121

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1 Titanyum alaşımları, mekanik özellikleri ve uygulama alanları.....	7
Tablo 3.1 Nitritleme işleminin uygulandığı bazı çelik türleri.....	10
Tablo 6.1 Deneysel çalışmalarda kullanılan çeliklerin kimyasal bileşimleri....	42
Tablo 7.1 AISI1010 çelik numunelerde TiN kaplama süresi ve sıcaklığına bağlı olarak elde edilen TiN tabaka kalınlıkları.....	63
Tablo 7.2 AISI M2 çelik numunelerde TiN kaplama süresi ve sıcaklığına bağlı olarak elde edilen TiN tabaka kalınlıkları.....	63
Tablo 7.3 AISI 1010 ve AISI M2 çelik numunelerin difüzyon katsayıları, difüzyon sabitleri ve aktivasyon enerjileri.....	72
Tablo 7.4 AISI1010 çelik numunelerde TiN kaplama süresi ve sıcaklığına bağlı olarak elde edilen sertlik değerleri.....	85
Tablo 7.5 AISI M2 çelik numunelerde TiN kaplama süresi ve sıcaklığına bağlı olarak elde edilen sertlik değerleri.....	86
Tablo 7.6 Safir bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiN kaplanmış AISI 1010 çeliğinin aşınma hacmi değerlerinin değişimi.....	92
Tablo 7.7 Safir bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiN kaplanmış AISI M2 çeliğinin aşınma hacmi değerlerinin değişimi.....	92
Tablo 7.8 Safir bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiN kaplanmış AISI 1010 çeliğinin aşınma hızı değerlerinin değişimi.....	95

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Aşınma, Korozyon, Titanyum nitrür kaplama, Termo-reaktif difüzyon kaplama, Kimyasal buhar biriktirme, Fiziksel buhar biriktirme.

Makine parçalarının ömürleri ve takımların kullanım süreleri aşınma ve korozyon nedenleri ile sınırlıdır. Bu nedenle aşınma ve korozyonun önlenmesi, her geçen gün ekonomik anlamda daha büyük önem kazanmaktadır. Bu sorunları ortadan kaldırmak ve takım ömürlerini uzatmak için yeni nesil takım çelikleri üretilmektedir. Takımlarda kullanılan malzemeleri daha pahalı olan yenileri ile değiştirmek yerine, yalnızca yüzeylerinin aşınma, korozyon vb. özelliklerini geliştirmek ise soruna ekonomik ve pratik bir yaklaşımdır. Bu sebeple sert seramik film kaplamalar son yıllarda büyük bir gelişim göstermiştir.

Sert seramik film kaplamalar değişik yöntemler kullanılarak yapılabilmektedir. Bu yöntemlerin en önemlileri kimyasal buhar biriktirme (CVD) ve fiziksel buhar biriktirme (PVD) yöntemleridir. Bu yöntemlerde tesis kurma ve çalıştırma ileri teknoloji gerektirmekte olduğunda oldukça pahalı sistemlerdir. Bu nedenle daha ekonomik fakat aynı sonuçların sağlandığı yöntemler arayışı sonrasında termoreaktif difüzyon (TRD) yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemle yüksek teknolojiye gerek duyulmadan aynı özellikteki kaplamaları gerçekleştirmek mümkün olmuştur. Bu çalışmada ise TRD yöntemi kullanılarak titanyum nitrür kaplanmaya çalışılmış ve kaplama sonrasında yapılan mekanik ve metalografik deneyler sonucunda kaplamanın özellikleri incelenmiştir.

Bu çalışmanın amacı; AISI 1010 ve AISI M2 çeliklerinin yüzeyinde titanyum nitrür tabakası oluşturarak özelliklerini incelemektir. Çalışma iki aşamalı olup; birinci aşamada, metalografik olarak hazırlanan malzemeler 500-550 °C sıcaklık aralıklarında nitrüleme işlemine tabi tutulmuşlardır. İkinci aşamada ise, nitrülenmiş yüzeyler 900, 1000 ve 1100 C sıcaklıklarda 1, 2, 3 ve 4 saatlik sürelerde ferro titanyum, alümina, amonyum klorür ve naftalinden oluşan katı ortamda termoreaktif difüzyon yöntemiyle titanyumlama işlemine tabi tutulmuşlardır.

Nitrüleme ve titanyumlama işlemleri sonrasında oluşan titanyum nitrür tabakalarının yüzey morfolojileri ve faz analizleri, optik, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve x-ışınları difraksiyon analizi yardımıyla yapılmıştır. Aynı şekilde kaplama tabakalarının sertlikleri Vickers indentasyon tekniği ile belirlenmiştir. Sonuç olarak; çeliklerin yüzeylerine titanyum nitrür kaplama işlemi gerçekleştirilerek kaplama elde edilmiştir.

TITANIUM NITRIDE COATING ON AISI 1010 AND AISI M2 STEELS BY THERMO REACTIVE DEPOSITION TECNIQUE

SUMMARY

Keywords: Wear, Corrosion, Titanium nitride coating, Thermo-reactive deposition coating, Chemical vapor deposition, Physical vapor deposition.

Service life of the machine parts and tools are limited by wear and corrosion in the service conditions. For this reasons, the protection of these materials in the corrosive environment and wear conditions is of major importance, especially for economic reasons. To solve there problems and having more service life, new tool steels with high alloying elements are produced and yet. Instead of changing the tools with new and expensive materials, it is economical to directly solve the problems, that is, changing the surface characteristics of the used materials for improving the corrosion resistance and wear resistance. For these reasons, hard coating technologies have had a great importance in the tool industry.

Hard ceramic films can be produced by different coating techniques. Chemical vapor deposition (CVD) and physical vapor deposition (PVD) techniques have the most important techniques. In this process, coating systems are expensive and know-how is needed for the coating parameters. Because of these, thermo-reactive deposition technique has a major importance due to advantages like; no expensive equipment, no restriction on the dimensions of the coated materials, etc. In this study, titanium nitride coating by thermo reactive deposition technique has been studied.

The main goal of this study is to produce titanium nitride coating on the surface of AISI 1010 and AISI M2 steels and investigate mechanical and structural properties of these coating layers. This study includes two steps. First one is nitriding the coated steel because of the formation of nitride base coating on the steel substrate. Second one is the titanising of the pre-nitrided steel substrate to form titanium nitride layer on the pre-nitrided steel substrate. Titanising treatment was carried out at 900°C, 1000° and 1100°C for 1-4 hours on the nitrided steel at 575 °C for 2h. Titanising treatment was employed in the powder mixture consisting of ferro-titanium, alumina and ammonium chloride.

Surface characteristics and phase analysis of titanium nitride coated steels were carried out by optical microscopy, scanning electron microscopy (SEM), energy dispersive spectroscopy (SEM-EDS) and X-ray diffraction (XRD) analysis. The hardness of the coating layers are measured by micro-vickers indenter. As a result, titanium nitride coating on the steel substrates was carried out by means of thermo reactive deposition technique. Titanium nitride layer formed on the steel substrates are extremely hard (1850-2200 HV), dense, smooth, porosity free and of good apperence.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Giriş

Korozyon ve aşınma problemlerine çözüm üretmek için son yıllarda yüzey mühendisliği, endüstriyel alanlarda geniş uygulama alanı bulmuştur. Yüzey işlemleriyle malzemenin sertlik, süneklik, yorulma, sürtünme ve aşınma, oksidasyon ve korozyon, ısısal ve darbesel şok gibi mekanik ve tribolojik özellikleri geliştirilmektedir. Amerikan Ulusal Teknoloji Enstitüsü' nün araştırmasına göre korozyon ve aşınmadan dolayı meydana gelen zarar, gayri safi milli hasılanın %6' sını teşkil ettiği görülmüş ve bu yönde çalışmalara ağırlık verilmesi önerilmiştir. Bu nedenle malzeme tasarımlarında, korozyon ve aşınma gibi özelliklerin göz önünde bulundurulmasının gerekliliği ortaya çıkmıştır [1].

Özellikle sürtünerek çalışan makine elemanlarında belirli bir süre sonra ortaya çıkan aşınma problemlerini azaltmak için, birçok yüzey iyileştirme teknikleri uygulanmaktadır. Bu yöntemlerden sementasyon, nitrasyon, borlama ve çeşitli yüzey kaplama teknikleri yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [2].

Yüzey işlemleri, en yaygın olarak demir ve demir esaslı ürünler arasında kullanım alanı bulmuştur. Yüzey işlemlerini, kaplama ve yüzey dönüşüm işlemleri olarak iki sınıfa ayırmak mümkündür. Kaplama, metal yüzeyine bir element veya bileşiğin biriktirilerek bir kabuk oluşturulması işlemi kapsar. Yüzey dönüşüm işlemlerinde ise, yüzeyin içyapısı ve/veya kimyasının değiştirilmesi söz konusudur [3,4].

Fiziksel buhar biriktirme (PVD), kimyasal buhar biriktirme (CVD), spreyleme ve difüzyon esaslı kaplama teknikleri aşınma, korozyon ve oksidasyona karşı dirençli karbür, nitrür ve borür kaplamaların gerçekleştirilmesinde uygulanmaktadır. Malzeme yüzeyinde istenilen özelliklere ulaşıldığı takdirde, hem pratik hem de ekonomik olması sebebiyle, bir tuz banyosunda malzeme yüzeyinin seramik kaplanması büyük avantajlar sağlamaktadır [3].

Çelikler üzerine titanyum-nitrür (TiN) kaplanması ve kaplama özellikleri üzerine yüzlerce araştırma yapılmasına rağmen, bu çalışmaların çoğunda PVD veya CVD yöntemi ile elde edilen TiN kaplamalar kullanılmıştır. Bu çalışmada ise; termoreaktif difüzyon (TRD) yöntemi kullanılarak çelikler üzerine TiN kaplamanın yapılabilirliği ve bu kaplamaların metalografik ve mekanik incelemesi gerçekleştirilmiştir.

Yapılan bu çalışmada, AISI 1010 ve AISI M2 çelik malzemelerin yüzeyinde termoreaktif difüzyon yöntemi kullanılarak farklı sıcaklık ve farklı bekleme süreleri sonunda titanyum nitrür (TiN) tabakasının elde edilmesinin mümkün olup/olmadığı araştırılmıştır. TiN kaplanan yüzeylerin, geniş bir spektrumda yüzey özellikleri araştırılmıştır. Ayrıca, kaplama tabakasının yapısı metalografik olarak incelenmiş, sertlik ve aşınma gibi mekanik özellikleri araştırılmıştır. Gelişmiş araştırma tekniklerinden, x-ışınları difraksiyon analizi kullanılarak, kaplama tabakasını oluşturan fazlar, taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak, fazların mikro yapıları ve elektron mikroprob analiziyle, elementlerin kaplama tabakası boyunca dağılımları belirlenmiştir.

BÖLÜM 2. TİTANYUM (Ti) VE TİTANYUM (Ti) ALAŞIMLARI

2.1. Giriş

Titanyum elementi 1791 yılında William Gregor tarafından bulunmuştur. Sembolü (Ti) olup atom numarası 22' dir. Proton ve elektron sayıları 22, nötron sayısı ise 26' dır. Periyodik cetvelin 4. gurubunda geçiş sınıfı elementleri arasındadır. Hegzagonal bir kristal yapıya sahip olan titanyumun yoğunluğu 4.54 g/cm^3 , erime noktası $1660 \text{ }^\circ\text{C}$, kaynama noktası ise $3287 \text{ }^\circ\text{C}$ ' dir. Çok sert, gümüşü beyaz, parlak bir elementtir. Metalik halde kuvarı çizicek kadar serttir. Titanyum nadir bir element olarak bilinirse de yer kabuğunda en çok bulunan altıncı elementtir. Bu üstün metalik özelliklerine karşın cevher üretiminin çoğu metale indirgenmeden TiO_2 (titanyum dioksit) biçiminde kullanılır. Cevher yoğunlaşmasının seyrek olması ve cevherden titanyum eldesinin çok zor olması onu değerli bir metal yapar. En önemli titanyum mineralleri; rutil, ilmenit ve anatas' tır [5].

Titanyum fiziksel ve kimyasal açıdan üstün özellikler gösteren bir metaldir. Titanyum, çelik kadar dayanıklı, ancak ondan daha hafiftir. Alüminyumdan daha ağır olmasına karşın, iki kat daha dayanıklıdır. Ancak elde edilmesi ve işlenmesi çok zor olduğundan metal olarak kullanılması çok özel alanlarla sınırlandırılmıştır. Çeşitli metallerle birlikte kullanılan çok önemli bir alaşım elementidir. Bu alaşımlar, hafiflik, sağlamlık ve ısıya dayanıklılığın önem taşıdığı endüstrilerde kullanılır. Dayanıklılığı ve asitlere karşı dirençli oluşu nedeniyle çeşitli alaşımların yapısına katılır [5].

2.2. Titanyum (Ti) Elementinin Üretim Yöntemleri

Titanyum üretiminde; gerek primer yataklarda ve gerekse plaserlerde genellikle açık işletme madenciliği uygulanır. Denizden kum alımında, yerine göre, kovalı tarama gemisi ya da kum sürüklenme makineleri kullanılır. Akarsu plaserlerinde ise yıkama ve eleme tesisleri ile kum ve çakıl ayrılır [5].

Çeşitli biçimlerde çıkartılan cevher klasik yöntemlerle zenginleştirilir. Yani; öğütme, çekimsel zenginleştirme, kostik işleme yüzey kili ve demir oksidin ayrılması, ıslak-kuru ve/veya elektrostatik seperasyon, flotasyon, süzme, yıkama, kurutma vs. işlemler uygulanır [5].

Elde edilen cevher; rutil, ilmenit ve titanlı manyetit minerallerinden birisidir. Bu cevherlerden de TiO_2 pigmenti elde edilir. Bu işlem sülfat ve Klorit olmak üzere iki yöntemle yapılır [5].

2.2.1. Sülfat yöntemi

Sülfat yönteminde, % 45-65 TiO_2 içeren ilmenit ya da % 70-72' lik TiO_2 ' li cüruf kullanılmaktadır. Titanyumlu cüruf, genellikle demiri bol ilmenitlerin, elektrotermal eritilmesi ile demiri ayrıştırarak elde edilir. Eldeki cevher sülfürik asitle çözülerek titanil sülfat ve demir sülfat açığa çıkarılır. Titan hidrolizle çökertilir. Yıkayıp filtre edildikten sonra TiO_2 elde etmek için kalsinize edilir. Demir sülfat atık madde olarak açığa çıkar [5].

2.2.2. Klorit yöntemi

Klorit yönteminde ise kullanılan cevherin TiO_2 içeriğinin çok yüksek olması gerekir. Bu da rutil ve sentetik rutildir. Sentetik rutil; yüksek kaliteli ilmenitten redüksiyon yoluyla kimyasal olarak TiO_2 dışındaki maddelerin ayrıştırılması ile elde edilir. Daha sonra bu yüksek tenörlü cevherden 850-950 °C' de petrol kokuyla ve klor gazıyla işlenerek titanyum tetraklorür üretilir. Bundan da atmosferik ortamda ya da oksijen ortamında kalsinazisyonla TiO_2 elde edilir. Yan ürün olarak klorik asit ve klor açığa çıkar [5].

2.3. Titanyum (Ti) ve Alaşımlarının Üstün Özellikleri

Titanyum ve titanyum alaşımlarının üstün özellikleri aşağıda maddeler halinde verilmiştir;

- Paslanmaya karşı mükemmel dayanıklıdır.
- Titanyum tuzlu su ve deniz ortamının paslandırıcı etkisine karşı dayanıklıdır.
- Yıpranmaya, delinmeye ve darbelere karşı son derece dayanıklıdır. Titanyum, bakır ve nikel alaşımlarından en az 20 kat yıpranmaya dayanıklılık gösterir.
- Bazı titanyum alaşımları çok iyi güç, ağırlık oranları verir. Bu oranlar Ti bazlı alaşımları diğer tüm metallerden üstün kılar. Sağlamlığı anlatan bu oran aynı zamanda düşük yoğunluk gibi bir avantajı da barındırdığı için tıbbi alanlarda, yapay organlarda, havacılık alanında ve petrol endüstrisinde titanyum çok önemli ve ayrıcalıklı yere sahiptir.
- Titanyum ve alaşımları kendiliğinden kalıcı koruyucu yüzey tabakaları oluştururlar. Bu tabaka bazı durumlarda 440 °C' ye kadar olan sıcaklıklarda bile mükemmel koruma sağlar.
- Yeryüzünü ve gökyüzünü işgal eden elektro manyetik dalgalardan etkilenmezler.
- Titanyum ve alaşımlarının çok düşük ve çok yüksek sıcaklıklarda sünme ve genişleme kat sayıları düşüktür. Bu nitelikleri sayesinde yüksek tempolu çalışma ve sürtünmelerle meydana gelen ısıdan az etkilenirler. Uzun süre çalışan motor, piston, rulman gibi parçaların performansları düşmez.
- Titanyumu işleme aşamasında teknolojisi yüksek ve pahalı olsa da olağanüstü form alabilme, bükülme ve yaya dönüştürme yeteneği vardır. Tabaka, tel ve milimetrik parçalar yapmaya elverişlidir.
- Alaşım oluşturmaya yatkındır. Diğer metallerle oluşturduğu alaşım başka başka yetenekler sergiler [6].

2.4. Titanyum ve Alaşımlarının Kullanım Alanları

Titanyum kullanımını metal ve alaşımları, oksit ve diğer bileşikler olmak üzere iki ayrı bölümde değerlendirmek mümkündür. Bu nedenle; uzay aracı, uçak ve füze yapımında yeri doldurulamaz bir metaldir. Yüksek hız, titreşim ve yüksek ısının söz

konusu olduğu araç kısımlarında, motor türbin kanatlarında ve benzeri aşırı yüklenen diğer araç bölümlerinde çok kullanılır. Kimyasal dayanıklılığı ise aşındırıcı kimyasal madde üreten fabrikalarda kullanılmasının nedenidir. Deniz suyuna karşı eşsiz bir dayanıklılığa sahip olması nedeniyle, deniz suyundan tatlı su elde edilen tesislerde ve tuzlu suya temas eden gemi donanım parçalarının yapımında kullanılır [5].

Kalıcılık ve kapaticılık özelliği nedeniyle, farklı tipteki boyaların yapısına da katılır. Titanyum dioksit (TiO_2) şu anda bilinen en beyaz boya maddesidir. Titanyum beyazı adı altında boya endüstrisinde geniş çapta kullanılır. Safir ve yakut kristallerinin yıldız şekilleri, içeriklerindeki titanyum dioksitten ileri gelir. Bunun dışında; kozmetik endüstrisi, muşamba, yapay ipek, beyaz mürekkep, renkli cam, seramik sırası, deri ve kumaş boyanması, kaynak elektrotları yapımı ve kâğıt endüstrisi gibi pek çok alanda da kullanılabilir. Bu kadar çok kullanım alanları olmasına karşın; üretilen tüm TiO_2 'nin % 60' ı boya endüstrisi tarafından tüketilir [5].

2.5. Titanyum (Ti) Alaşımları

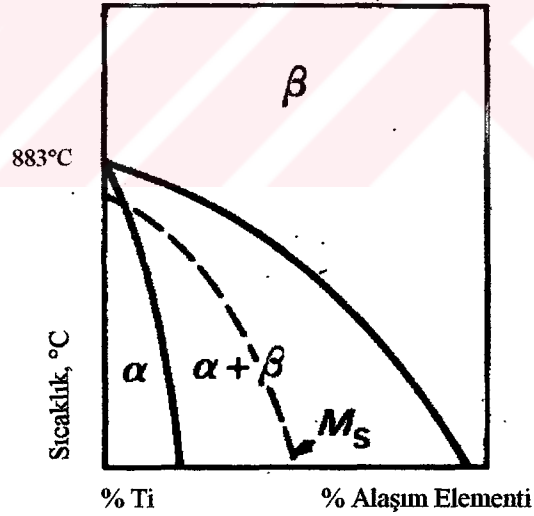
Titanyum elementi, bileşiklerinden saf halde elde edilmesinin çok güç oluşu nedeniyle pahalıdır. Titanyum yüksek sıcaklıklarda oksijen, azot, hidrojen, karbon ve demirle birleştiğinden dökümü ve talaşsız işlenmesi için özel teknikler gerektirmektedir [7]. Bu olumsuzluğu ortadan kaldırmak ve bazı özelliklerini geliştirilmek için alaşımlandırma yapılmaktadır. Titanyum alaşımları başlıca üç grup altında toplanmıştır. Bu alaşımların, mekanik özellikleri ve uygulama alanları Tablo 2.1' de gösterilmiştir.

Titanyum oda sıcaklığındaki sıkı düzen hegzagonal (SDH) kristal yapısı (α), $883\text{ }^\circ\text{C}$ ' de HMK yapıya (β) döner. Alüminyum, oksijen gibi elementler α fazını kararlı hale getirerek α fazının β fazına dönüşüm sıcaklığını yükseltir. Molibden ve vanadyum gibi elementler ise β fazını kararlı hale getirerek, bu fazın kararlı olduğu sıcaklığı düşürür. Krom, demir gibi elementlerde β fazının kararlı olduğu sıcaklığı düşürerek oda sıcaklığında iki fazlı bir yapı oluşturan ötektoid tepkimeye yol açar. Yüksek dayanım ve işlenebilirlik özelliklerini bir arada taşıyan α - β alaşımının çözelti ısıtıl işlemi görmüş ve yaşlandırılmış durumdaki çekme dayanımı 1173 MPa ' ya

ulaşmaktadır [7]. Şekil 2.1' de titanyum alaşımları arasındaki çözünmüş madde içeriğinin, sıcaklığa göre dağılımı gösterilmiştir [8].

Tablo 2.1 Titanyum alaşımları, mekanik özellikleri ve uygulama alanları [7]

<i>Alaşım Adı</i>	<i>Kimyasal Bileşimi</i>	<i>Çekme Dayanımı (MPa)</i>	<i>Akma Dayanımı (MPa)</i>	<i>Uzama (%)</i>	<i>Uygulamalar</i>
Alfa (α)	Ti-5 Al-2,5 Sn	862	807	16	Gaz türbini gövdesi ve halkaları; Kimyasal işlem cihazları
Beta (β)	Ti-10 V-2 Fe-3 Al	1276	1200	10	315 °C' ye kadar yüksek dayanım ve tokluk istenen uçak parçaları, Dövme parçalar
Alfa-Beta (α - β)	Ti-6 Al-4 V	1172	1103	10	315 °C' ye kadar çalışan uçak parçaları, Kimyasal işlem cihazları parçaları



Şekil 2.1 Titanyum alaşımlarının sıcaklığa göre çözünme içeriği [8]

BÖLÜM 3. NİTRÜRLEME

3.1. Giriş

Nitrürleme, 500 - 700 °C sıcaklıkları arasındaki bir sıcaklıkta, yüzeye azotun difüzyonu ile yapılan bir yüzey sertleştirme işlemidir. Nitrürleme diğer termokimyasal yüzey sertleştirme işlemlerinden farklı olarak, daha düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilir ki bu da yöntemin en büyük avantajlarından biridir. Bu sayede malzeme yüzeyinde yüksek sertlik değerlerine ulaşılırken, minimum distorsiyon ve mükemmel boyutsal kararlılık sağlanmış olur [9-11]. Bu yöntem sayesinde çelik yüzeyinde 1 mm' ye kadar sert bir tabaka elde edilirken 1200 HV yüzey sertliğine de ulaşmak mümkündür [12].

Nitrürleme işlemi, çok iyi sızdırmazlık özelliğine sahip ve hassas sıcaklık kontrolü yapılabilen fırınlarda gerçekleştirilir. Fırın atmosferi, sıcaklığı, nitrürleme süresi, çeliğin kimyasal bileşimi, nitrürleme öncesi yapılan ısıl işlemler ve çekirdek sertliği gibi parametreler sertleşme derinliğini etkileyen başlıca faktörlerdir [13].

Yüzey bileşiminin değiştirilmesi açısından sementasyon yöntemine benzeyen nitrürleme işleminde, azotun ostenit yerine, ferritik fazda ilave edilmesinden dolayı farklılık gösterir. Bundan da anlaşılacağı gibi, nitrürleme işleminde çeliğin ostenit alanında ısıtılması ve takriben martenzite dönüştürülmek için su verilip soğutulması işlemi yoktur [11].

Nitrürleme işlemi sonrasında çelik aşağıdaki özellikleri kazanır [11];

- Yüksek yüzey sertliği,
- Yüksek sıcaklık sertliği,
- Aşınma mukavemetinin artması,

- Korozyona karşı dayanıklılık,
- Yüksek yorulma mukavemeti ve
- Yüksek boyutsal kararlılık.

Nitrüleme işlemi sırasında yüzeyi sertleştirilecek olan çelik katı halde bulunduğundan azotun çelik içerisine nüfuz edebilme imkanı sınırlıdır. Bu yöntem genellikle vanadyum, tungsten, titanyum, molibden, krom ve alüminyum gibi nitrür oluşturuvcu çözeltiler elementleri içeren çeliklere uygulanır [12].

Nitrüleme işleminde, azot konsantrasyonuna, alaşım elementlerine ve sıcaklığa bağlı olarak, yüzeyden iç bölgeye doğru farklı difüzyon bölgeleri ve farklı tabakalar (zon) oluşmaktadır. Bu tabakalar aşağıda kısaca açıklanmıştır.

Bileşik zonu (Beyaz tabaka): Nitale dağlanamadığından beyaz tabaka olarak da adlandırılan bu tabaka, yüzeydeki azot konsantrasyonuna bağlı olarak δ -Fe₄N yada δ -Fe₄N+ ϵ nitrürlerden oluşur. Başlangıç olarak, yüzeyde oluşan (δ -Fe₄N) ile açığa çıkarılırken artan N konsantrasyonlarında veya uzun süreli nitrülemeler de, yüzeyde ϵ -nitrürlerin oluşmasından dolayı altta kaldığı için tespit edilememektedir. ϵ -nitrürleri; kimyasal çözüldürme veya polisajla kaldırılarak ϵ -nitrürlerini tespit etmek mümkündür. Ayrıca farklı dağlama reaktifleri uygulayarak ta bu tabakaları görmek mümkündür. Ticari amaçlı kaplamalara 7-20 μ m kalınlık beyaz tabakaların elde edilmesi istenmektedir. Ayrıca bu tabaka yağlayıcı özelliğe sahip olduğundan malzemelerde sürtünme katsayısını da azaltır [11].

Difüzyon zonu: Bileşik zonun altında bulunan ve azot içeriğinden oluşan difüzyon tabakasıdır. Miktarı ancak işlem sıcaklığında ki çözünürlük ile belirlenebilir. Yapılan işlemde sonra sıcaklık hızla azaltılırsa azotça aşırı doymuş bir difüzyon bölgesi oluşur. Yavaş soğutma ile çelik içindeki alaşım elementlerinin oranına bağlı olarak sert nitrürler oluşur [9].

Özellikle Ti, Al, Cr, Mo ve W gibi nitrür yapıcı alaşım elementleri, değişik sıcaklık aralıklarında metal nitrürler halinde çökelerek malzemenin tokluğunu artırmaktadır.

Eğer çelik içerisinde bu gibi elementler yoksa Fe_2N , Fe_3N gibi nitürler çökelmektedir [11].

Karbonca zengin zon: Azotun, karbona göre metallerle bileşik yapma eğilimi daha düşük olduğundan dolayı, difüzyon zonu bitiminde azotun atomik olarak varlığı ile sementit veya diğer karbürlerin çözünmesiyle oluşan reaksiyona göre metal nitürler oluşturmaktadır. Böylece serbest kalan atomlar, kimyasal potansiyelleri daha düşük olan bölgelere yayılarak karbonca zengin zonlar oluştururlar [11].

3.2. Nitürleme için Çelik Seçimi

Nitürleme işlemi, ısıtılmış çeliklere, çok yüksek sertliklerde yüzey oluşturmak, aşınma, yorulma ve korozyona karşı direnç sağlamak amacıyla yapılır. Nitürleme yapmak için seçilecek olan çelikler, karbürleme ve karbonitürleme için seçilen çeliklerden farklı olarak, gerekli mukavemet düzeyine ulaşabilmek amacıyla daha yüksek karbon içerirler. Yapılan nitürleme işlemiyle gerekli sertliğe ulaşabilmek içinse V, Al, Cr, Mo gibi alaşım elementleri gerekir [14]. Tablo 3.1' de nitürleme işleminin uygulandığı bazı çelikler ve ulaşılan en düşük sertlik değerleri verilmiştir.

Tablo 3.1 Nitürleme işleminin uygulandığı bazı çelik türleri [14]

Nitürleme İşleminin Uygulandığı Çelikler	En Düşük Sertlik Değerleri	
	Knoop (Kg/mm^2)	Rc
AISIS 4131, AISI 4140 AISI 4150	450	45
AISI 4330, AISI 4340 AISI 8640	400	40
Nitralloy 135	1000	70+
AISI H11 Sıcak iş çeliği	1000	70+
AISI 430, AISI 466 Paslanmaz çelik	1200	-

Nitrürleme işleminin yapılacağı çeliklerden en iyi sonuçları, su verilip temperlenmiş çelikler verir. Nitrürleme için seçilecek olan çelik ise tam martenzitli bir yapı oluşturulabilmelidir. Temperleme ise yalnızca istenilen değerleri oluşturacak sıcaklık ve sürede yapılmalıdır. En çok kullanılan nitrürlenmiş çelikler, aşınmaya karşı dirençli olanlardır ve en çok kullanılan çelik serisi ise AISI 8620 çelikleridir [11].

Nitrürleme işleminde, çelik seçiminde şu noktalara dikkat edilmelidir;

- Çeliğin içerdiği alaşım elementleri ve kimyasal bileşim,
- Yüksek bir temperleme sıcaklığına sahip olması,
- Çeliğin kullanım yeri ve ortam özelliklerine uygunluğu [14].

Ayrıca nitrürleme için genelde, doğrudan su verilip sertleştirilebilen çelikler seçilmelidir. Isıl işlem ise nitrürleme öncesi çeliğe uygulanarak, uygun yapının oluşması sağlanmalıdır [14].

Yapılan nitrürleme işleminin çelik yüzeyinde etkili olabilmesi için, çeliğin alaşım düzeyinin yüksek olması gerekir. Bu nedenle de kullanılan çeliklerin, genellikle derin sertleşen çelikler olması ve bileşimlerden ötürü gövde de çekme, kesme, eğme ve burulma yükleri altında çalışabilecek yüksek mukavemet düzeyine ulaşabilmeleri gerekmektedir [14].

3.3. Nitrürleme İşlemi Öncesi Yapılan Ön Hazırlıklar

Nitrürleme işlemi yapılacak olan bir çeliğe, nitrürleme işleminden önce şu işlemler uygulanmalıdır;

- Nitrürlenecek parçalar, nitrürleme öncesi çok iyi temizlenmeli ve parça yüzeyinde her hangi bir toz yada tufal olmamasına dikkat edilmelidir.
- Parça sıcak dövülmüş yada tornada işlenerek hazırlanacaksa, yüzey düzgünlüğüne dikkat edilmelidir. Düzgün olmayan bir yüzey, nitrürleme işlemi sonrası bir takım sorunlara yol açabilir. Bu sorunlar; beyaz tabakaların pul pul dökülmesi, çatlaması gibi sonuçlar doğurabilir.
- Isıl işlem, sertleştirme ve temperleme, istenilen mukavemet değerlerini sağlamalıdır. Isıl işlem sırasında tane boyutunun büyümemesine dikkat edilmelidir.

Aksi takdirde yapılan nitrüleme işlemi sonrası çok pürüzlü, çatlamaya hazır bir yapı oluşabilir.

- Yapılan ısı işlem sonrasında çeliğe istenilen şekil verilmeli ve yüzey pürüzlülüğü en aza indirilmelidir.
- Nitrüleme esnasında nitrülenecek alanlar saf nişadır filmiyle korunmalıdır. Bu film tabakası uygulanacak olan sıcaklık ile eriyerek, yüzey gerilimi nedeniyle yüzeyde kalır. Buda azotun çelik yüzeyine yayılmasına engel olur. Bu nedenle nişadıyla oluşturulan film tabakasının azotun yayılımını engellemesi için 0,01-0,015 mm olması önerilir. Aksi takdirde eriyen nişadır, nitrülenecek bölgelere yayılabilir. Buda nitrüleme işleminin oluşumunu engelleyebilir [11].

3.4. Nitrüleme Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları

Nitrüleme yönteminin avantajları aşağıda maddeler halinde verilmiştir;

- Nitrüleme ile malzeme yüzeyi doğrudan sertleştirildiği için, işlem sonrası malzemeye tekrar tavlama, menevişleme ve sertleştirme yapma ihtiyacı yoktur.
- Nitrülenmiş parçaların içyapısı tok, yüzeyi ise oldukça sert ve aşınmaya karşı dayanıklıdır. Ayrıca kayma kabiliyetleri de yüksektir.
- Nitrülenmiş parçaların korozyona karşı dirençleri yüksektir.
- Nitrüleme ile oluşan tabaka kalınlıkları 500 C' ye kadar ısıtılsalar da özelliğini kaybetmeden aynen kalırlar.
- Nitrüleme sertliği uygulanmış makine elemanlarında, yüksek sıcaklık değerleri tatbik edilmediği için çekme ve büzülme olayları görülmez.
- Nitrüleme işlemi ile sertleştirilen çeliklerde, diğer yöntemlere göre düşük sıcaklıklar uygulandığı için minimum düzeyde distorsiyon ve mükemmel boyutsal kararlılık sağlanır [10].

Nitrüleme yönteminin dezavantajı ise; yüksek yüzey zorlamalarının (yüklemelerin) sert tabakanın pullanıp dökülmesine yol açmasıdır. Bunu önlemek içinde malzeme yüzeyine yüksek zorlamalar yapılmamalıdır [10].

3.5. Nitrürleme İşleminin Kullanım Alanları

Makine parçalarından; her türlü tahrik dişlileri, krank milleri, biyel kolları eksantrik milleri, şanzuman ve vites dişlileri gibi hareketli ve güç iletiminin yapıldığı ortamlarda çalışan diğer parçaları ile plastik metal enjeksiyon kalıpları ile yapılan kalıplamalardan; sıvama baskı şekillendirme işlemlerinin yüzey sertleştirilmesinde nitrürleme yöntemi sıkça kullanılmakta ve her geçen gün kullanımı da yaygınlaşmaktadır. Ayrıca çalışan parçaların; döndürme, burkulma, sürtünme, kaynak vb. ortamlarda mukavemetli olarak çalışması istendiğinden dolayı, temas eden yüzeyleri ile sürtünmeli çalışan yüzeylerin aşınma ile karşı karşıya olması nedeniyle sert tabakalı yüzeyler ile kaplanmış olması istenir. Bu şekilde çalışan yüzey ve sürtünerek ısınan kısımların aşınmalarını engellemek için nitrürleme yapılmalıdır [11].

3.6. Nitrürleme Yöntemleri

Nitrürleme işlemini çok değişik yöntemler kullanarak gerçekleştirmek mümkündür. Bu yöntemler genel olarak dört ana başlık altında toplanmaktadır [11,14]. Bunlar;

- Fırında veya akışkan yatakta yapılan gaz nitrürleme,
- Tuz banyosunda yapılan nitrürleme,
- Toz nitrürleme,
- Plazma iyon nitrürleme [11,14].

3.6.1. Gaz nitrürleme

Gaz nitrürleme, genellikle amonyak gazı ihtiva eden bir ortamda, nitrürleme için uygun bir sıcaklık değeri elde edilerek (500-550 °C), bu sıcaklıkta malzeme yüzeyine azotun difüze edilmesiyle yapılan bir yüzey sertleştirme yöntemidir [12]. Bu yöntemde amonyak yaklaşık olarak 510 °C' de $2\text{NH}_3 \rightarrow 2\text{N}+3\text{H}_2$ reaksiyonuna göre ayrışır ve reaksiyon sonunda oluşan atomik azot da çeliğin bünyesine girerek nitrürleme işlemi yapılmış olur [13].

Gaz ile nitrürleme işlemi; 0,2-0,7 mm arasında etkin sertleştirme derinliği istenen çeliklere uygulanır. Yöntemin uygulanması ise hassa sıcaklık kontrolü yapılabilen bir elektrikli fırında yapılır [13]. Nitrürleme için kullanılan kutular gaz ile reaksiyona girmeyecek malzemelerden yapılmalıdır. Bu amaçla da özellikle nikel, inconel gibi alaşımların kullanılması idealdir. Ancak %25 Cr, %20 Ni içeren alaşımlarda ısıya karşı dirençli olmalarından dolayı kullanımlarının uygun olduğu kanıtlanmıştır. Fakat az sayıda (birkaç adet) parçanın nitrürlenmesi için kullanılacak olan nitrasyon kutularının, çelik sacdan yapılması da uygun olur [11].

Gaz nitrürleme yönteminde kullanılan mevcut gazlar daima çok az miktarda da olsa nem içerirler. Nem nitrürleme işlemini olumsuz yönde etkilediği içinde, bu gazlardaki nemin, nitrasyon kutusuna girmeden önce alınması gerekir. Aksi halde oluşan su buharı nitrürlenmiş parçaların oksidasyonuna neden olur. Bu amaçla kullanılan en iyi nem alma yöntemi ise; gazı sönmemiş kireç filtresinden geçirilmeden önce 1100 °C' ye kadar ısıtılarak kullanılır hale getirilmesi yöntemidir [11].

Nitrürleme işleminden sonra eğer malzemenin bazı kısımlarının yumuşak kalması istenirse, bu kısımlar nitrürleme işlemi öncesi elektrolitik kaplama yapılarak, bu kaplama tabakasıyla azotun çeliğe girmesi önlenmelidir [11].

Nitrürleme işlemi için, nitrürlenecek malzemelerin tüm yüzeyleri gaz ile temas edecek şekilde nitrasyon kutusuna yerleştirilir. Kutu kapatılarak içerisindeki hava tamamen dışarıya atılıncaya kadar kutunun içerisi amonyakla yıkanır ve daha sonra amonyak kutu içerisinde bırakılır. Çıkış gazının kimyasal bileşimi ise düzenli bir şekilde ayrışma pipetleri yardımıyla tespit edilir ve ilk 5-10 saat için %15-20 artık gazda tutulur. Ancak tespitte bu değerden daha düşük bir değer oluşursa, gaz hızı çok fazla demektir ve gaz hızının düşürülmesi gerekir. Eğer bunun aksi bir durum olursa da gazın hızı arttırılmalıdır. Ayrılma sonrası artık sistem kararlı hale geçmiştir ve bu durumda %50 artık gaz miktarı uygun kabul edilerek gazın bileşimini günde 2 veya 3 defa kontrol etmek yeterlidir [11].

Nitrürleme işlemi tamamlandığında kutu, gazın akışını durdurmaksızın, fırından çıkarılır. Şarj 200 °C' de soğutulduktan sonra gaz verisi kesilmeli ve kutu içinde

kalan gaz, kutu açılmadan önce kompresörle uygun bir şekilde dışarı atılmalıdır. Nitrürlenmiş malzemeler bu sırada normal olarak, mat gri bir renkte görünür. Bazen mevcut olan sarı, mavi ve pembe gölgeler parçanın nitrülenmesinde bir hata olduğu anlamına gelir. Sistemdeki oksijen mevcudiyetinden ileri gelen çeşitli gölgeler ise gazın tam olarak kurutulmamış olmasından veya kutudaki yada gaz besleyici tüpteki sızıntıdan olmuş olabilir [11].

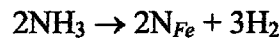
Ticari çelikler genel olarak kullanılan alaşım elementlerinden Al, Cr, V ve Mo nitritleri, nitrüleme sıcaklığında sabit oldukları için nitrüleme işlemine yararlıdır. Bu nitrit yapıcı olarak katsayısına ilaveten, Mo ayrıca nitrüleme sıcaklığında kırılabilirliğini azaltır. Diğer alaşım elementlerinden Ni, Cu, Si ve Mg gibi elementler ise nitrüleme de çok az etkili olurlar [11].

Gaz nitrüleme, kullanılan gaz ve gaz karışımlarına göre üç gruba ayrılırlar. Bunlar;

- Amonyak ile gaz nitrüleme,
- Amonyak, azot veya hidrojenle gaz nitrüleme,
- Amonyak veya hidrokarbonla gaz nitrüleme.

Amonyak ile gaz nitrüleme: Temel gaz nitrasyon yönteminde, sertleştirilecek malzemenin üzerinde amonyağın yaklaşık 510 C sıcaklıkta akmasına izin verilir.

Yönteme göre amonyak;



reaksiyonuyla ayrışır. Reaksiyon sonucu atomik olarak ayrışan azot çelik tarafından absorbe edilir.

Amonyak, azot veya hidrojenle gaz nitrüleme: Bu yöntem çok nadir kullanılan bir yöntemdir. Minkevic ve Sorokin %20 amonyak ve %80 azot içeren bir gaz karışımı önermişlerdir. Minkevic ve Sorokin' in yapmış oldukları çalışmalara göre; düşük amonyak miktarı, düşük bit azot aktivitesi verir ve buda daha tok özellikte bir tabaka sağlar. Bununla beraber sadece amonyakla veya hidrojen ilave edilerek nitrüleme yapıldığında, amonyağın ayrışma miktarını artırarak benzer sonuçlar elde edilir [11].

Amonyak veya hidrokarbonla gaz nitrürleme: Bu yöntemde, amonyakla gaz nitrürleme yönteminde olduğu gibi yapılır. Ancak propan veya havada oluşturulan saf propan, gaz şeklindeki hidro karbonlar da gaz içerisine genellikle ilave edilirler. Bu şekilde yapılan nitrürleme işlemi normal nitrürlemeden bir miktar yüksek sıcaklıkta uygulanır. İşlem esnasında karbonik ile azot aynı anda çelik içerisine yayınırlar. Böylece C ve N birlikte ϵ tipi karbonitrürler oluştururlar [11].

3.6.2. Tuz Banyosunda (Sıvı) Nitrürleme

Tuz banyosunda nitrürleme, NaCN ve KCN gibi karbon ve azot iyonları içeren sıvı tuz banyolarında, 510-590 °C sıcaklık aralıklarında uygulanmaktadır. Günümüzde yaygın olarak üç farklı yöntem kullanılarak sıvı nitrürleme yapılmaktadır [11].

Bunlar;

- Tuffride yöntemi,
- Sursulf yöntemi,
- Sulfinuz yöntemleridir.

20. yy' ın ortalarına kadar tuz banyolarında nitrürleme sınırlı bir ölçüde kullanılmıştır. Ancak daha sonra esas olarak 10-30 dakika gibi kısa sürelerle burğu matkaplarının nitrürlenmesinde kullanılmıştır. Eğer bu süre daha uzun tutulseydi çelik yüzeyinde oyuklar oluşurdu. Bunun sebebi de siyanat miktarının farklılık göstermesidir. Son yıllarda ise tuz banyosunda nitrasyon yöntemi, banyo içerisine hava enjeksiyon edilerek yapılmaktadır. Bu sayede siyanat miktarı kontrolü daha rahat yapılabilmektedir. Ancak yöntemin daha da gelişmesiyle titanyum potalar kullanılmaya başlanmış ve bu ana kadar kullanılan demir potalarla, karışımın teması sonucunda oluşan tuz ayrışması önlenmiştir [11].

Tuffride yöntemi: Alman Degussa firmasının geliştirmiş olduğu ve Ti alaşımlı potalar kullanılarak yapılan nitrürleme yöntemidir. Bu yöntemde göre; Ti alaşımlı pota içerisindeki tuz karışımına hava enjekte edilerek banyo homojenitesi sağlanmış olur ve aktivitenin artırılmasıyla da nitrürleme yapılmış olur. Bu yöntem krank milleri, pompalar ve dişlilerin yorulma dayanımını arttıran ve aşınma direncinde gelişim sağlayan ticari bir nitrokarbürleme prosesidir [11].

Bu yöntem alkali metal siyanürler veya siyanatlar içeren tuz banyosunda bileşenlerin yaklaşık 570 °C' de ısıtılmasından ibarettir. Yöntemin önemli özelliklerinden birisi beyaz tabaka ya da bileşik tabaka kalınlığının diğer tuz banyosunda nitrürleme yöntemlerine göre daha hızlı olmasıdır [11].

Tuffride tuz banyosunda yapılan nitrürleme sonrasında malzemenin sertliği, aşınma mukavemeti, korozyon direnci yanında çekme mukavemeti de artmaktadır [11].

Sursulf yöntemi: Sursulf yöntemi, aşınma ve sarma problemlerini önlemek için tuz banyosunda yapılan nitrürleme işlemidir. Yöntemin özelliği, banyonun aktif kükürt içermesi nedeniyle nitrürleme zamanının kısaltılması ve nitrür tabakasına porozite kontrolü gerektirmesidir. Ayrıca bu banyonun çevre kirleticisi özelliği de yoktur. Tüm tuz banyosunda ki nitrürleme işlemleri ile bazı nitrokarbürleme ve sementasyon işlemleri yerine de kullanılabilir. Alaşım ve alaşımsız çelikler, bazıları hariç paslanmaz çelikler, dökme demirler gibi 570 °C' de ısıtılmaları ile mekanik özelliklerinde bozulma olmayan çelik ve dökme demirlere uygulanabilmektedir [11].

Sursulf yönteminin özelliği, siyanat ve karbonatlara ilave olarak banyonun lityum tuzları ve kükürt bileşikleri ihtiva etmesidir. Bu nedenle banyoyu oluşturmak için üç ayrı özellikte tuz gerekmektedir. Bunlar;

- Alkali siyanatlar ve karbonatlardan oluşan CR4 denilen temel tuz,
- Banyoda sabit bir nitrürleme potansiyeli sağlayan ve organiklerden oluşan CR2 denilen rejenere edici tuz,
- Banyonun kimyasal özelliklerini ve parçanın metalurjik özelliklerini koruyan potasyum sülfid' (Ticari K₂S) dir [11].

Sursulf yöntemi ile nitrürlenmiş parçaların aşınma, yorulma, tutma ve kavitasyon dirençleri artırılır. Ayrıca banyodaki kükürt oranına bağlı olarak ta; düşük kükürtlü sursulf banyosunda nitrürlenmiş parçaların korozyon dirençleri yüksek olur. Çünkü banyodaki aktif kükürt miktarı parçanın korozyon direnci ile ters ilişkilidir [15].

Sulfinuz yöntemi: Bu yöntemde banyoda ki NaCN ve NaCNO' dan başka aktif olarak Na_2S ' de (Sodyum sülfür) bulunur. Klasik olarak yapılan tuz banyosundaki nitrasyon işleminde azot ve karbon çelik yüzeyi tarafından absorblanır. Sulfinuz işleminde ise kükürdün mevcudiyeti, nitrülenmiş tabakanın sürtünmeye karşı direncini daha da artırır. Böylece sürtünmeye karşı mükemmel direnç elde edilmiş olur [11].

Bazı hallerde de, Sulfinuz yöntemi ile çelik yüzeyinde 0,005 mm' lik bir kayba neden olunabilir. Ayrıca çelik parçalarının dış yüzeylerinde de çok ince, yüksek kükürlü bir tabaka da oluşabilir [11].

3.6.3. Toz ile nitrürleme

Toz ile nitrürleme işleminde; nitrürlenecek malzemeler kutu karbürizasyon yönteminde olduğu gibi kutu içerisine yerleştirilerek nitrürleme işlemi yapılır. Burada yaklaşık olarak, ağırlıkça %15 oranında nitrasyon hızlandırıcı malzeme öncelikle kutu dibine konulur. Daha sonra nitrürlenecek parçalar yerleştirilir ve nitrasyon tozları da bir tabaka halinde bu parçaların üzerine yerleştirilir. Bu işlem esnasında, parçanın nitrasyonu hızlandırıcı malzemelerle temas etmemesi gerekir. Eğer daha fazla parçaya nitrürleme işlemi yapılacaksa bir sıra toz tabakası ve üzerine de bir sıra iş parçası olacak şekilde yerleştirilir. Yeterli miktarda toz tabakası ve iş parçası yerleştirildikten sonra kutular sıkıca kapatılarak sıcaklığı 520-572 C olan muful fırın içerisine yerleştirilir. Nitrürleme işlemi için fırın içinde bekleme süresinin 12 saati geçmemesi tavsiye edilir. Bu süre aşıldığı takdirde nitrülenmiş malzemelerin yüzeylerinde oyuklaşma ve kabartılar olup bu kabartıların pul pul dökülmesine sebep olunur [11].

3.6.4. Plazma iyon nitrürleme

Plazma iyon nitrürleme; düşük basınçlı gaz içeren ve iki elektrot daldırılmış, havası boşaltılmış kaplar içerisinde nitrürleme yapılan bir nitrürleme yöntemidir. Bu yöntemin patenti 1930' lu yıllarda alınmış olmasına rağmen, pahalı yatırımlar gerektirmesi ve işlemin doğru olarak uygulanması için değişik teknolojik

gereksinimler nedeniyle yıllarca büyük çapta endüstriyel uygulamalar için tercih edilmemiştir. Son yıllarda ise özellikle çeliklerin yüzey sertleştirilmesi için plazma iyon nitrüleme yöntemi yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır [11].

İyon nitrüleme düşük basınçlı kaplar içerisinde gerçekleştirilen bir yöntemdir. Nitrüleme işlemi seyreltik amonyak gazı veya hidrojen ile azot gazlarının karışımının bulunduğu kaplarda uygulanır. Burada hidrojen ve azot gazlarının karışımı kapta iyonlaşmaya başlar. İşlenecek parçalar bu iyonlaşan akımla işlem görürse, oluşan azot iyonları (NT) söz konusu parçaların yüzeylerine bombardıman ederler. Böylece parça yüzeyi ısınmaya başlar ve iyonlanmış azotlar parça içlerine doğru girerek nitrüleme işlemi yapılır [11].

İyon nitrüleme prosesinde düşük basınçlı gaz içeren ve içerisine iki elektrot daldırılmış kaptaki bu elektrotlar arasına yüksek voltajlı doğru akım (DC) uygulanırsa, akım geçmeye başlar. Geçen bu akımla oluşan iyonlarda pozitif elektroda (anot) doğru hareket eden eksi yüklü iyonlar ile negatif elektroda (katot) doğru hareket eden artı yüklü iyonlardır. Bu atomlardan bir veya birden fazla elektron ayrılarak katodu belli bir enerjiyle bombardıman ederler. Bu enerjinin de bir kısmı ısıya çevrilir. Böylece katodun sıcaklığı yükselir. Kalan kısmı ise katot yüzeyinden gelen ikincil elektrotların yer değişimi için kullanılır [11].

Plazma iyon nitrüleme işlemi diğer nitrüleme yöntemleriyle karşılaştırıldığında; difüzyon tabakası, noktasal yük ve darbelere karşı daha fazla direnç ve daha yüksek sertliğe sahip olur. Bunun yanı sıra nitrülenmiş yüzeyler yüksek aşınma dirençlerine sahiptirler. Bu özelliklerinin yanı sıra oluşan bileşik tabakası çok daha incedir ve bu bileşenler herhangi bir ince tesviye veya temizliğe gerek duymadan doğrudan kullanılabilir. Plazma iyon nitrüleme demir malzemelerden ve karbonlu çeliklerden yüksek alaşımlı, örneğin paslanmaz çelikler ve takım çeliği gibi çeliklere kadar uygulanabilen bir prosestir [11].

BÖLÜM 4. TERMOREAKTİF DİFÜZYON (TRD) PROSESİ

4.1. Giriş

Genellikle çelik malzemeler, mekanik etkileşimler sonucu aşınma, kimyasal reaksiyonlar sonucu korozyon türü hasarlarla servis dışı kalarak, ülke ekonomilerinde büyük kayıplara yol açmaktadırlar. Aşınma ve korozyonun neden olduğu hasarın, ülke ekonomilerine bu denli yük getirmesi bilimsel ve endüstriyel çevreleri harekete geçirmiş ve daha dayanıklı malzemeler arayışına itmiştir. Bu amaçla endüstride yoğun olarak kullanılan çelik malzemeler üzerine, difüzyonla ve/veya kimyasal ve fiziksel çökeltme ile kaplama teknikleri geliştirilerek 2-10 µm kalınlığında sert tabakalar elde edilmiştir. Seramik karakterli olan bu tabakalar, aşınmaya, korozyona ve yüksek sıcaklık uygulamalarına karşı oldukça dirençlidir. Bundan dolayı, sert yüzey kaplama yöntemleri, hem bilimsel hem de endüstriyel çevrelerde önem kazanmıştır [16].

1970' li yıllarda Japonya' da geliştirilen ve kısaca TRD (Thermo Reactive Difusion) veya TD (Toyota Difusion Process) diye adlandırılan bir yöntemle takım çeliklerinin ömürleri 2 ile 20 kat arttırılmıştır [16].

Termoreaktif difüzyon prosesi; karbür, nitrür ve karbo-nitrür gibi sert ve aşınma direnci yüksek olan tabakaların çelik malzemelerin yüzeyinde oluşturduğu bir metoddur. TRD prosesinde çelik altlık malzemedeki karbon ve azot; titanyum, vanadyum, niobyum, tantalum, krom, molibden veya tungsten gibi karbür veya nitrür oluşturu elementlerle biriken bir tabaka oluşturmak için difüze olur. Difüze olan karbon ve azot biriken tabakada karbür ve nitrür oluşturu elementlerle altlık malzeme yüzeyinde metalurjik olarak bağlanmış olan karbür ve nitrür kaplamaları yoğun bir şekilde oluşturacak şekilde reaksiyona girer [16].

TRD prosesi geleneksel yüzey sertleştirme metotlarına benzemez. Çünkü geleneksel yüzey sertleştirme metotlarında karbon ve azot, altlık malzemenin yüzeyini sertleştirmek amacıyla dışarıdan difüze edilmektedir. TRD prosesi konvansiyonel difüzyon metoduna benzemesine rağmen, bu proseste altlık malzemenin yüzeyinde kaplama tabakasının oluşumu gerçekleşmektedir [16].

TRD prosesinde elde edilen kaplama tabaka kalınlıklarına kimyasal buhar biriktirme (CVD) veya fiziksel buhar biriktirme (PVD) teknikleri kullanılarak ulaşılabilir. Kıyaslanacak olursa, CVD kaplamaların kalınlıkları (2,5µm), TRD prosesinde elde edilen kaplamaların kalınlıklarına yakındır [16].

4.2. Proses Karakteristikleri

TRD prosesinde sert karbür, nitrür ve karbo-nitrür kaplamalar çeliklere, tuz banyosunda veya akışkan yataklı fırınlarda uygulanabilmektedir. Tuz bantosuna daldırma tekniği ile karbür kaplamalar öncelikle Japonya' da gerçekleştirilmiştir ve Toyota difüzyon (TD) kaplama ismi altında hemen hemen 30 yıl önce endüstriyel olarak kullanılmıştır. TD prosesinde vanadyum, titanyum, neobyum veya krom gibi karbür oluşturu elementlerin ilavesiyle ergimiş boraks kullanılır. Bu yöntemde karbür oluşturu elementlerin çeliğin bünyesinde bulunan karbonla birleşmesi ile alaşım karbürleri oluşmaktadır. Tabakanın büyümesinin karbon difüzyonuna bağlı olması sebebiyle, ihtiyaç duyulan kaplama hızını sağlamak için proses 800 °C' den 1250 °C' ye kadar yüksek sıcaklığı gerektirir. 4 ila 7 µm kalınlığında karbür kaplama üretmek için banyo sıcaklığı ve çeliğin cinsine bağlı olarak 10 dakika ile 8 saat arasında işlem süresine ihtiyaç duyulabilmektedir. Kaplanmış çelikler soğutulduktan sonra, sertleştirme amacıyla tekrar ısıtılabilir veya banyo sıcaklığı ostenitleme sıcaklığı seçilebilir ve kaplama işlemi sonrasında doğrudan su verme işlemi gerçekleştirilebilir [16].

Tuz banyosunun sıcaklığı, çeliğin temperleme sıcaklığına düşürülebilir. Düşük sıcaklıklı banyo kullanımı karbo-nitrür kaplamalar için kullanılmaktadır. Bu tür kaplamalar 550-600 °C sıcaklık aralığında vanadyum içeren klorür banyolarında, sertleştirilmiş ve nitrürlenmiş çeliklere uygulanmaktadır [16].

4.3. Kullanılan Aktivatörler

Karbür oluşturuç elementler (Carbide forming elements (CFE)) ve nitrür oluşturuç elementler (Nitrüde forming elements (NFE)), karbon ve azotla reaksiyona girmek için aktif durumda olmalıdırlar. Karbür oluşturuç elementleri ve nitrür oluşturuç elementleri, tuz banyosuna daldırma tekniğinde ergiyik tuz içerisinde çözen tipik aktivatörler vardır. Bu aktivatörler akışkan yatak ve kutu karbürleme işleminde de etkilidir. CFE ve NFE' ni içeren boraks ve azalan bor karbür ve alüminyum gibi aktivatörleri banyo aktivatörleri olarak başarıyla kullanılmaktadır. Amonyum klorür, sık sık beraberinde kullanılan alümina tozu ve ferro alaşımlardan oluşun toz karışımları kutu karbürlemede ve akışkan yatak uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır [17].

4.4. Kullanılan Altık Malzemeler

TRD prosesinde karbon içeren birçok malzeme altık malzemesi olarak kullanılabilir. Çelikler, dökme demirler, kobalt alaşımlar, sementit karbürler, karbür ve metal esash sermetler, karbür seramikler ve karbon, karbür kaplamalarda altık malzeme olarak kullanılmaktadır. Karbon seviyesi düşük olan demir ve nikel alaşımları önce sementasyon işlemine sonra karbür kaplama işlemine tabi tutulabilir. Karbo-nitrür kaplamalar öncelikle nitrürlenmiş çeliklere uygulanabilir. Nitrür kaplamalar, nitrür seramiklere uygulanabilir [17].

Çeşitli takım çelikleri çoğu zaman talaşlı imalatla şekillendirilmektedir. Düşük ve orta karbonlu yapısal çelikler talaşlı imalat elemanı olarak kullanılmaktadır. Kaplamanın bileşimi ve özellikleri genellikle altık malzemenin kimyasal bileşiminden bağımsızdır. Bu sebeple pahalı olmayan ve kolayca işlenebilen malzemeler seçilmektedir [17].

4.5. Kaplama Prosedürü ve Kaplama Oluşum Mekanizması

Yüksek sıcaklık tuz banyosu prosesi olan TRD prosesi 850 °C - 1050 °C sıcaklık aralığında ergimiş boraks banyosunda gerçekleştirilmektedir. Kaplama süresi elde

edilecek kaplama kalınlığına bağlı olarak 5-15 µm tabaka kalınlığı için çoğu uygulamalarda 0,5-10 saat arasında değişmektedir. Bu sıcaklık aralığı çoğu düşük alaşımli ıslah çelikleri, sementasyon işlemine tabi tutulan çelikler ve çoğu takım çelikleri için uygundur [18].

Parçalar TRD prosesi işlemine tabi tutulmadan önce distorsiyonu ve TRD işlem süresini minimuma indirmek için, ön ısıtma işlemi uygulanmaktadır. Bu işlem sonrasında belirli standartlardaki çelikler östenitleme sıcaklığında TRD prosesine tabi tutulurlar. TRD prosesinden sonra, parçalara havada, tuz veya yağda sert altlık malzeme elde etmek için su verilir. Su verme işleminden sonra temperleme işlemi gerçekleştirilir. Yüksek hız takım çelikleri ve 1050 °C' nin üzerinde östenitleme sıcaklığı olan diğer çelikler, TRD işlemi sonrasında vakum, koruyucu gaz veya koruyucu tuz banyosunda, tam altlık malzeme sertliğini elde etmek için ısıtma işlemine tabi tutulabilirler [18].

Vanadyum karbür ve krom karbür gibi, altlık malzemenin üzerine karbür, nitrür ve karbo-nitrürler şeklinde kaplama tabakaları birikir. Karbür oluşumları aşağıdaki adımları içermektedir [16].

- Karbür oluşturuıcı elementler ilave edilen tozlar, boraks içerisinde çözünürler,
- Yüzeyde karbür tabakası oluşacak şekilde karbür oluşturuıcı elementler altlık malzemededen gelen karbon ile birleşerek karbür tabakasını oluştururlar.
- Karbür tabakası banyodan karbür oluşturuıcı element ve altlık malzemededen karbon geldiği sürece karbür oluşum reaksiyonu sürmekte ve tabaka büyümektedir.

Titanyum, vanadyum ve krom, karbür tabakası yerine çeliğin içerisine katı eriyik oluşturmak için difüze olmaktadır. Katı çözelti tabakası yüksek sıcaklıklarda düşük karbonlu çeliklerde görülmektedir [18].

4.6. İşlem Parametrelerinin Etkisi

Kaplamanın büyüme hızı, altlık malzemedede bulunan karbon ve azotla birleşmek için gerekli miktarda kritik değere ulaşan CFE ve NFE sağlayacak aktivatörleri sağlıyorsa, difüzyon vasıtası ile altlık malzemededen kaplamaya karbon ve azot

atomlarının sağlandığı ölçüde belirlenebilir. CFE ve NFE' den yeterince bulunduran (örneğin vanadyum karbür kaplama için %10' dan çok Fe-V veya %20 V_2O_5 ve %5 B_4C ağırlıkça bulundurulmalı veya krom karbür kaplamalar için %10' dan çok Cr ve %1 NH_4Cl akışkan yatak uygulamalarında gerekmektedir) banyolar gerekmektedir. Bu yüzden banyo bileşimi tek bir faktör olmayıp bunun yanında banyo sıcaklığı, altlık malzemenin cinsi, kaplamanın cinsi ve banyoda bulunan CFE ve NFE miktarları da önemli etkilere sahiptir [18].

Birçok difüzyon işleminde olduğu gibi, kaplama tabaka kalınlığında (d) zaman ve sıcaklığın etkisi aşağıdaki eşitlikle elde edilmektedir.

$$d^2/t = D = D_0 \exp (-Q/RT)$$

Bu eşitlikte; d:kaplama kalınlığı (cm), t: zaman (sn), D: büyüme hızı sabiti (cm^2/sn), D_0 : D' nin sabit terimi (cm^2/sn), Q: aktivasyon enerjisi (Kj/mol), T: sıcaklık (K) ve R: gaz sabitidir. Sıcaklık genellikle çelikleri sertleştirme sıcaklığı olan 800-1250 °C civarında seçilir [18].

Altlık malzemedeki karbon ve azot konsantrasyonu büyüme hızında olumlu etkiye sahiptir. Ancak, matristeki toplam miktar doğrudan etkiye sahip değildir. Örneğin; çeliklerde ostenit matriste karbon miktarı toplam karbon miktarına eşit değildir [18].

Alaşımli çeliklerin yüzeylerinde, sıcaklık artışı, karbonun karbür fazı içerisinde artışına ve kaplama kalınlığının artışına neden olmasının yanında, matriste karbon miktarını artırır. Sementit karbürlerin, yüzeyinde sadece karbon miktarı değil, bununla birlikte kobalt matrisin miktarı kaplama kalınlığında önemli etkiye sahiptir. Difüzyon hızı ve sıcaklığının karbon ve azot miktarına bağımlılığı kaplamalar arasında farklılık göstermektedir. Ancak VC, NbC, krom karbür (Cr_7C_3 , $Cr_{23}C_6$) ve TiC arasındaki kalınlık farkları ihmal edilebilecek kadar azdır [19].

4.7. Distorsiyon Kontrolü

Distorsiyonun ortaya çıkma olasılığı yüksek sıcaklık uygulamalarında hemen her zaman mevcuttur. Distorsiyon, boyutsal değişimde deformasyon şeklinde karşımıza çıkmaktadır. Boyutsal değişim faz dönüşümlerinden, ısıl işlemde ve oluşan kaplamadan kaynaklanmaktadır. Deformasyon şeklinde olan değişimdir. TRD prosesi genellikle sertliği arttırmaktadır. Bu sebeple bu boyutsal değişimi minimuma indirmek için parçayı sertleştirerek ve bitirme işlemleri tamamlanarak prosese başlamak en iyi yöntemdir. Bundan başka, kalıntı ostenitin miktarına bağlı olarak, bazı boyutsal değişiklikler görülebilir. Sementit karbürler proseste sertleştirilemezler ve bu sebeple boyutsal değişimde etkili rolleri yoktur. Kalıntı osteniti kontrol etmenin en kolay yolu TRD prosesinin öncesinde ve sonrasında kalıntı ostenit miktarını %0' a düşürmektir [18].

Isıtma sırasında termal gerilmeler, dönüşüm gerilmeleri, süzünme, altlık malzemede var olan yapısal anizotropi ve kalıntı gerilmeler, deformasyona neden olur. Deformasyonu minimuma indirmek için aşağıdaki kurallara uyulmaya çalışılmalıdır.

- Kesit alanlarında farklılıkları minimuma indirilmelidir.
- Kritik boyutlar için makine takımları işlem görmemiş malzemenin haddeleme yönünde döndürülmelidir.
- Toz metalurjisi ile üretilen çelikler kullanılmalıdır.
- Talaşlı imalat ve aşındırma sırasında oluşan kalıntı gerilmeler giderilmelidir.

4.8. TRD Prosesindeki Temel Prensipler

TRD prosesinde iş parçasının içine gömüldüğü toz karışımları ana olarak üç bileşenden oluşmuştur. Bunlar; kaplama element kaynağı (verici malzeme, örneğin Fe-Cr, Fe-V, Cr), karışım tozlarının birbirleriyle sinterleşmesini önlemek için inert bir dolgu maddesi (Al_2O_3) ve bir aktivatör (genellikle NH_4Cl) [9].

TRD prosesi gibi termokimyasal difüzyon yöntemleri bir çok değişkenden etkilenir. Her defasında problemlerin optimal çözümleri, parametrelerin birbirine göre

ayarlanması deneysel çalışmalar sonucu olmaktadır. Bu parametreler aşağıda sıralanmıştır;

- Aktivatör miktarı,
- Difüzyon sıcaklığı,
- Difüzyon süresi,
- Verici malzemenin miktarı,
- Numune malzemesinin yapısı (alaşım elementleri, karbon içeriği),
- Son işlemler (ısı işlemler) [18].

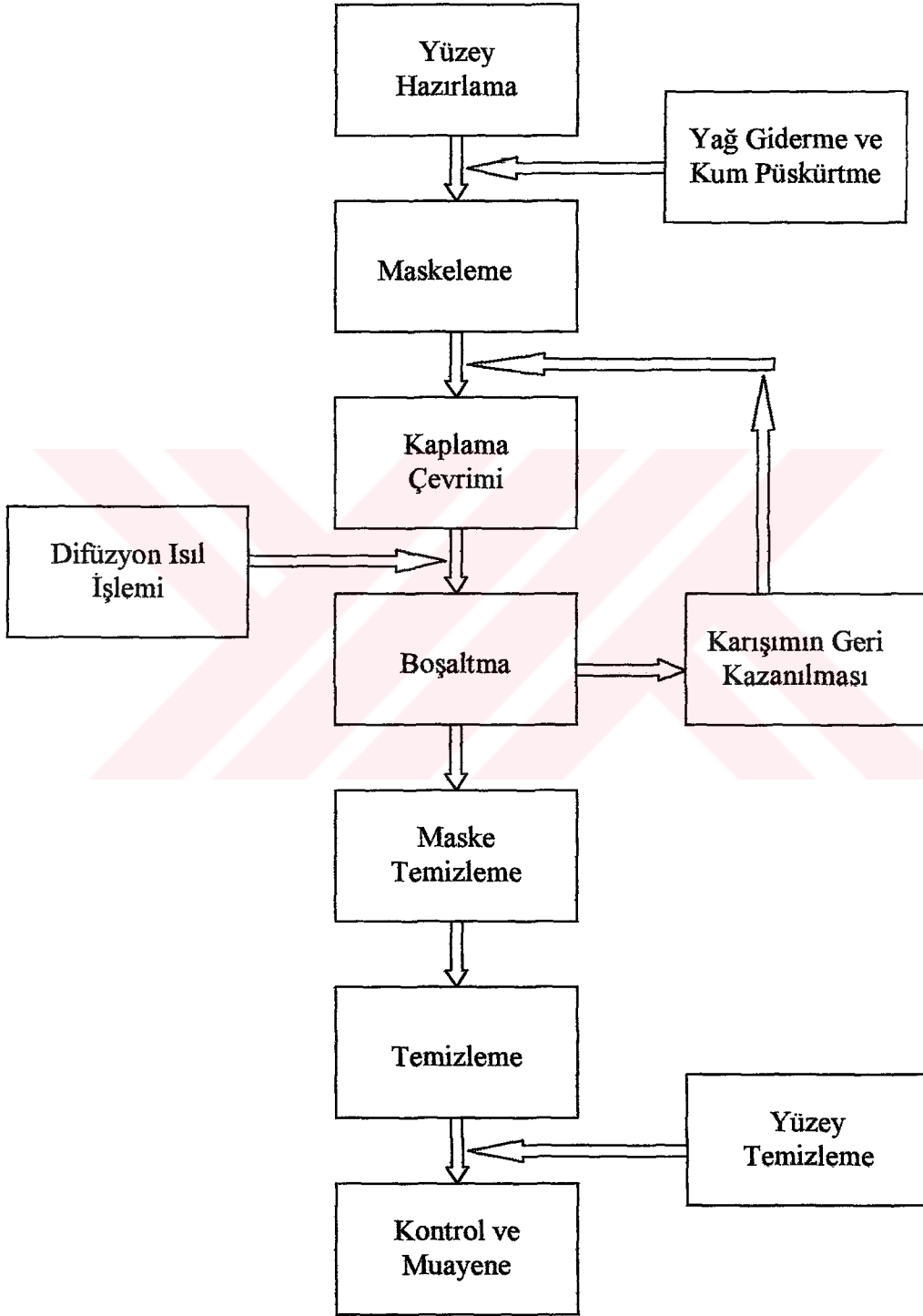
Difüzyonal kaplama işlemleri bir kutu içerisinde 900-1000 °C' de ki bir fırında genellikle 2-5 saat süreyle uygulanır. Bu süre ve sıcaklıklar üretilecek tabaka cinsi ve tabaka kalınlığına bağlı olarak değiştirilebilir. Numunenin soğuması genellikle kutu tozları içinde olmaktadır. Ayrıca fırın dışında soğutma şeklinde yapılan çalışmalarda mevcuttur [18].

TRD prosesinde verici (kaynak) olarak genellikle bulunması kolay ve ucuz olan ferro alaşımlar kullanılmaktadır. Ferro alaşımlar mümkün olan en yüksek teröre sahip olanları seçilir. Ayrıca ferro alaşımlara nazaran daha pahalı fakat saflığı yüksek metal tozları ile çalışmak da mümkündür [18].

Karışım bileşenlerinin önemli bir elemanı da aktivatörlerdir. Aktivatör; izotermal ısıtma esnasında ferro alaşım elementi ile reaksiyona girer ve uçucu metalik halojenürleri oluştururlar. Bu şekilde aktif gaz ortamı sağlanmış olur. Aktivatör olarak muhtelif halojenür tuzları (NaF, Cl, MgF, Br, NH₄F vb.) kullanılır. Aktivatör seçiminde, kullanılan altlık malzemesinin cinsi ve aktif gaz ortamını oluşturacak ferro alaşım elementinin kısmi basıncı rol oynar [18].

Proseste kullanılan altlığın karbon içeriğine bağlı olarak, düşük karbon miktarında metalik tabakalar (alüminyum, krom, titanyum, silisyum vb.), yüksek karbon içeriğinde ise kullanılan ferro alaşımın cinsine bağlı olarak da seramik esaslı tabakalar (krom karbür, titanyum karbür, vanadyum karbür, titanyum nitrür, vanadyum nitrür vb.) elde edilir [18].

TRD prosesi ile fırında soğutulmuş üretilen kaplamalar, althğın mukavemetinin artırılması amacıyla ısıtılma tabi tutulur. Isıl işlemler tuz banyosunda 800-850 °C sıcaklıkları arasında yapılır. Kutu sementasyon tekniğinin genel akım şeması Şekil 4.1' de şematik olarak gösterilmiştir [18].



Şekil 4.1 TRD prosesinde, kutu sementasyon tekniğinin akım şeması [16]

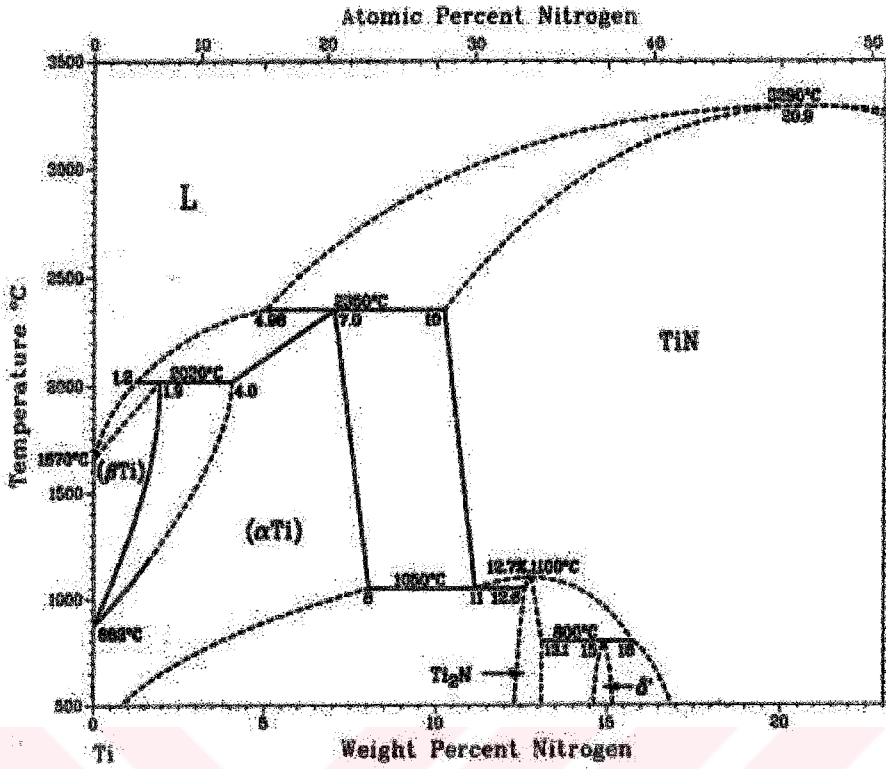
BÖLÜM 5. TİTANYUM-NİTRÜR (TiN) KAPLAMALAR

5.1. Giriş

Titanyum-nitrür (TiN) kaplamalar ilk defa ticari olarak takımlara kimyasal buhar biriktirme (CVD) tekniği ile uygulanmıştır. Geçtiğimiz 20-30 yıl içerisinde ticari olarak fiziksel buhar biriktirme (PVD) tekniğiyle TiN kaplama kullanımında artış görülmüştür. TiN kaplamalar, üstün mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleriyle diğer kaplamaların yanında en yüksek üretim kapasitesine sahip olan ve özellikle takım sektöründe kullanım alanı bulan bir kaplamadır [20].

Bileşiminde % 99 saflıkta elde edilebilen TiN yüzey merkezli kübik bir yapıya sahiptir, zehirli değildir ve tıbbi aletlerde korozyon direnci yüksek olduğu için kullanılmaktadır. Erime noktası 2930 °C, ısı genleşme katsayısı 9.4×10^{-6} °C' dir. Yoğunluğu 5,22 g/cm³ olup ısı iletkenliği 0,046 Cal/sn-cm-°C' dir. Elastiklik modülü 600 GPa, pozisyon oranı 0.25' dir. TiN kaplamalarda kaplama tabakasının kalınlıkları 0.25 ila 12 µm olup ticari olarak genellikle 1-5 µm seviyesindeki kaplama kalınlıkları kullanılmaktadır. TiN kaplamalarda sertlik yaklaşık olarak 2000-3000 HV arasında olup kullanılan altlık malzemeye göre bu değer artış veya azalış gösterebilir. TiN' ün özelliklerinden biri de altın sarısı renginde görünümünden dolayı dekoratif uygulamalar içinde de kullanım alanı bulmaktadır. TiN' ün üstün tribolojik özelliklerinin olmasından dolayı diğer sert ve ince film kaplamalara göre çok daha fazla uygulama alanı bulmaktadır [21].

TiN kaplamalarda titanyum ile azot arasındaki denge diyagramı Şekil 5.1' de gösterilmiştir. Şekil 5.1' de de görüldüğü gibi TiN geniş bir bölgede elde edilirken Ti₂N' in elde edilebilirliği kısıtlı bölgede kalmıştır.



Şekil 5.1 Titanyum ile azot arasındaki denge diyagramının gösterimi [22]

5.2. TiN Kaplamaların Üstün Özellikleri

Dünyada aşınmaya karşı yapılan kaplamaların başında TiN (Titanyumnitritür) gelmektedir. Bu kaplamaların özellikleri ve avantajları şu şekilde sıralanabilir;

- Yüksek sertliği (2400–3000 Hv) ve ısı geçirgenliğinin düşük olması nedeniyle talaşın takıma ısı transferini engeller ve takımın ısınarak yumuşamasını önler. Krater oluşumunu ve serbest yüzey aşınmasını minimuma indirir. Bu sebepten dolayı kesme ve ilerleme hızları %20 kadar arttırılabilir.
- Kimyasal stabilitesi yüksek bir malzeme olduğundan iş parçasına yapışmaz, kayganlık özellikleri yüksektir. Kesme anında uç birikimlerinin büyümesini engelleyerek iş parçası yüzeyinin temiz çıkmasını sağlar.
- Sürtünme katsayısı düşük olduğu için kesme sürtünme kuvvetleri azalır ve buna bağlı olarak takımın ısınmasını önler ve plastik deformasyonu geciktirir (kaplama yüzeyi düzgün ise).

- Kimyasal reaksiyonlara girmediği için iş parçasının çalışma yüzeyleri daha uzun süre aktif kalır. Özellikle paslanmaz çelik iş parçalarında, takımdan iş parçasına demir transferi olmadığı için paslanmayı önler.
- Kaplama yüzeyi mükemmel yapıştığından, sıvama kenarlarında ve kesici kenarlarda kaplama dökülmesi olmaz. Yüksek tonajlı preslerde dahi yüzeyden dökülmez.
- Kalınlığı genel olarak 1–5 µm arasında olduğundan takımların toleranslarını değiştirmezler. Takım, kaplama sonrası ilave bir işlem gerektirmeden kullanılır.
- İnce film olduklarından, ısıl genleşme katsayıları takımların ısıl genleşme katsayılarını alır. Bu nedenle ısıl genleşme ve eğilme ile takım yüzeyinden dökülmezler.
- Renkleri takımlardan farklı olması nedeniyle, takımın aşınma miktarı kolaylıkla görülebilir [23].

5.3. TiN Kaplama Tabakasının Altlık Malzemeye Yapışması

Kaplama ve altlık malzeme arasındaki yapışma, yüzeyler arasındaki mekanik temas, düşük kırılma tokluğu veya yüksek iç gerilmeler sebebiyle düşük derecede bir kimyasal bağ olabilir. Bu özellikler kaplama sistemine bağlıdır ve böylece geliştirilen kaplama teknolojisi yukarıda belirtilen özelliklerin çok etkili kombinasyonlarını elde etmek için kaplama sisteminin optimizasyonunu amaçlar. Bu sayede yüksek verimli yapışma elde edilir [21].

5.4. TiN Kaplamaların Uygulama Alanları ve Uygulama Örnekleri

5.4.1. TiN kaplamaların uygulama alanları

Metal kesme amacıyla kullanılan yüksek hız takım çeliklerinde başlıca kullanım alanı bulmuş olan TiN kaplamalar ayrıca yataklarda ve erozyondan korunma gereken yerlerde kullanılmaktadır. Genel olarak TiN kaplamaların kullanım alanları aşağıda maddeler halinde verilmiştir [21].

- Medikal cihazlar
- Dişçilik ekipmanları
- İmplant malzemeler
- Plastik kalıpları
- Ekstrüzyon kalıpları
- Yiyecek üretim ekipmanları
- Havacılık bileşenleri
- Kesiciler, kazıyıcılar ve bıçaklar
- Kayıcı ve dönücü bileşenler
- Sıcaklık uygulamalı bileşenler
- Şaftlar ve contalar
- Dekoratif aksesuarlar
- İtici kollar
- Kesici takımlar
- Otomotiv parçaları
- Denizcilik uygulamaları
- Farmakolojik ekipmanlar
- Bazı dişliler
- Gözlük camı işleme bıçakları
- N-Graver uçları
- Mücevhercilik
- Spor aletleri

5.4.2. TiN kaplamaların uygulama örnekleri

Talaşlı imalat örnekleri: Tüm talaşlı imalatta sert seramik film kaplamalardan faydalanılır. Delme, kılavuzlama, planyalama, diş açma gibi konularda yüksek performans elde edilir. Kesme ilerleme hızları %20–30 oranında artırılabilir. Otomatik tezgâhlarda kullanılan takımların ömürlerinin artması, makine durma sürelerinin azalması sonucunda, birim zamanda işlenen parça sayısı artar. Özellikle CNC tezgâhlarda kullanılan takımların ömürlerinin yüksek olması, tezgâhın durma süresini azaltmaktadır. Bu konuda sert seramik film kaplamalar ile büyük aşamalar sağlanmıştır. Kesme ve form kalemlerinde krater oluşumu ve serbest yüzey aşınması

önemli bir faktördür. Form kalemlerinde TiN kaplama ile %350' ye varan ömür artışı sağlanır ve bileme sonrası %70 mertebelerinde ömür artışı devam eder. Otomat tezgâhlarında, tezgâh uzun süre ayar gerektirmeden çalışabilmektedir [23].

Kılavuzlarda TiN kaplama ile diş üstü sarmaları tamamen engellenerek %800' e varan ömür artışı sağlanmıştır. Droplet miktarı yüksek olan kaplamalarda kılavuz iş parçasını sarmakta ve kılavuz kırılmaktadır. Bu sebeple kaplama kalınlığı iyi seçilmelidir. 1 µm kalınlığındaki TiN sert seramik film kaplama ile kılavuzun ömrü 20 kılavuzlamadan 2000 kılavuzlamaya çıkarılmıştır [23].

Dişli çakısı olan azdırmada TiN kaplama ile 10 kat civarında ömür artışı sağlanmıştır. Bileme sonrası dahi 2 kat ömür artışı devam etmektedir. Bunun yanı sıra kesme ve ilerleme hızları arttırılabilir. Bu da iş parçası maliyetinde önemli bir düşme sağlamaktadır. Azdırma çakılarının her bileme sonrası kaplanması takım miktarında %600–700 oranında tasarruf sağlamıştır. Ayrıca iş parçası maliyetinde (%35 civarında) önemli bir miktarda ekonomi sağlanmıştır [23].

Kalıplar: Kalıpları iki grupta toplamakta fayda vardır.

- a- Kesme kalıpları,
- b- Derin çekme ve sıvama kalıpları [23].

Kesme kalıplarında değişik uygulamalar yapılmıştır. TiN, kesme kalıplarında diğer kaplamalardan daha iyi sonuçlar vermektedir [23].

Flouresans balastlarının imalatında kullanılan silistli sac kesme kalıpları TiN kaplanmış ve iki bileme arasında 1 rulo kesen kalıp 9 rulo kesmiş ve %900 oranında artış sağlanmıştır. Kenarlarda oluşan çapaklar azaltılmış ve ürün kalitesi arttırılmıştır.

Otomatik çamaşır makinesinin paslanmaz çelik olan iç tamburunun zımba ve diş yüksükleri TiN kaplanmış ve %400 civarında ömür artışı sağlanmıştır. Ayrıca presin kesme kuvvetleri azaltılmış, preste oluşan titreşimler ve kesme sırasında presin çıkardığı ses azaltılmıştır [23].

Bükme, sıvama ve derin çekme kalıplarında CrN, sert metal (elmas) kalıplarda TiN kaplama daha iyi sonuç vermektedir. Çelik kalıplarda CrN kaplama ile 40 kata varan ömür artışları sağlanmaktadır. Sert metal kalıplarda en büyük problem iş parçasının kalıba sarmasıdır. TiN kaplama ile, çalışmayan sert metal kalıplar çalıştırılmıştır [23].

Kaplama kalıplarının avantajları şöyle sıralanabilir:

- Aşınmaya karşı yüksek mukavemet sağlar,
- İşlem sırasında parçanın kalıba yapışmasını ve sarmasını engeller,
- Paslanmaz çelik iş parçalarında kalıptan geçen metal transferini engelleyerek paslanmayı önler,
- Sürtünme katsayılarının düşük olması nedeniyle sıvama işlemini kolaylaştırır ve tezgâh üzerine binen yükleri azaltarak, daha rahat çalışma sağlar,
- Kalıbın tolerans dışına çıkma süresi 10–40 kat artar [23].

5.5. Titanyum (Ti) – Azot (N) Esaslı Kaplamalar

5.5.1. Titanyum-nitrür (TiN) kaplamalar

Altın renkli TiN kesme takımlarında verimi arttırmak amacıyla 1980'den itibaren endüstriyel olarak kullanılmaktadır. Yüksek sertliği ve kayganlık özelliği, düşük adezyon eğilimi ve yüksek sıcaklık dayanımıyla TiN evrensel kullanılabilir bir sert kaplama tabakasıdır. TiN kesme takımlarında talaş ile kesme kalemi arasındaki difüzyonu önleyen bir bariyer gibi davranır [24].

5.5.2. Titanyum-karbon-nitrür (TiCN) kaplamalar

Metal nitrür yapıya karbon eklendiğinde sertlik yükselir. Bu nedenle değişik uygulamalarda karbonitrür sert seramik filmler başarı ile kullanılmaktadır. Bunların başında TiCN sert seramik filmler gelmektedir. Bu tabakalar, karbon içeren gazların kaplama sırasında azot gazı ile birlikte vakum ortamına gönderilmesi ile elde edilirler. CrN oranı tabakanın özelliğini belirler [24].

TiCN sert seramik filmlerin özellikleri 4000 Hv değerine kadar çıkar. Yüzey pürüzlülükleri ve sürtünme katsayıları TiN'e göre daha düşüktür. Bu avantajının yanı sıra ısı iletkenlikleri TiN'e ve TiAlN'e göre daha yüksek olması dezavantajlarıdır.

TiCN sert seramik filmler, yüksek hızda çalışan ve kesikli talaş çıkartan takımlarda yüksek performans sağlarlar. Özellikle parmak frezelerde diğer kaplama çeşitlerinden daha iyi sonuçlar vermektedir [23].

5.5.3. Titanyum-alüminyum-nitrür (TiAlN) kaplamalar

Kesici takımlarda metastabil TiAlN sert malzeme kaplamalarıyla endüstride büyük bir başarıya ulaşılmıştır. Özellikle abrasif aşınmaların işlenmesinde (örn: gri dökme demir, ötektik üstü Al-Si alaşımları) TiAlN kaplamaları üstünlüğünü göstermiştir. TiAlN kaplanmış matkap, CrNi - çeliklerin işlenmesinde TiN kaplanmışlara göre daha yüksek aşınma dayanımı göstermiştir [25].

TiAlN kaplamaların TiN kaplamalara göre daha iyi özelliklere sahip olmasının nedeni kübik kafeste depolanan alüminyumun bir metastabil TiAlN bileşiği oluşturmasıdır. Bağlanma oranının ve kafes gerilmelerinin iyileştirilmesiyle mikrosertlik değeri HV_{0.05}' de 3200'e kadar yükselmiştir. TiN ile karşılaştırıldığında, belirgin şekilde daha yüksek sıcaklık sertliği nedeniyle TiAlN daha yüksek kesme hızlarında çalışmaya imkan sağlar. Bundan başka, TiAlN diğer sert malzemelere karşılık daha iyi oksidasyon dayanımı göstermektedir. Bu, takım yüzeylerinde ince, çok kararlı alüminyumoksit örtü tabakasının oluşması ve aşınmayı önleyici etkisi sebebiyledir [25].

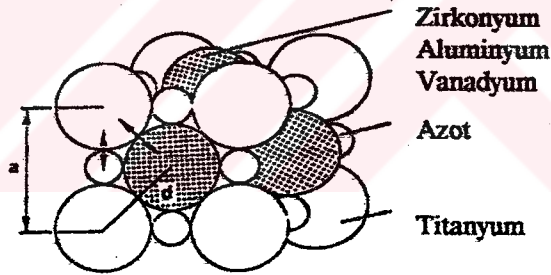
5.5.4. Titanyum-zirkonyum-nitrür (TiZrN) kaplamalar

Ti_{1-x}Zr_x- hedefinin bir argon/azot atmosferinde buharlaştırılmasıyla TiZrN sisteminde farklı kimyasal bileşimde tabakalar elde edilir. Biriken tabakalar, deney şartlarından bağımsız olarak tek fazlı TiZrN karışık kristali olarak bulunur. Uygun alaşım miktarında, kübik TiN hücresi içerisine Zr girmesiyle kafes yapısı distorsiyona uğratılır. TiZrN tabakalarının mikrosertliği HV_{0.05}'e göre 2800–3300 HV arasında

bulunur. Seçilen kesme şartlarında, kesici uç ile talaş kaldırılan malzemenin birbirine temas noktasındaki sıcaklık 700–1000 °C' ye kadar çıkmaktadır. Bu durumda, kesme takımının ucunda, kesme kaleminin alaşım elementlerinin talaşa difüzyonu söz konusudur. TiZrN esaslı kaplama tabakasıyla kaplanmış bir kesici uçta, söz konusu yüksek sıcaklıklarda, tabaka içerisindeki Zr oksitlenir ve ZrO_2 meydana gelir. ZrO_2 difüzyona karşı bir ısı bariyer görevi görürken aynı zamanda da aşınma mukavemetini arttıran bir tabaka şeklinde ortaya çıkar [24–26].

5.5.5. Titanyum-alüminyum-vanadyum-nitrür (TiAlVN) kaplamalar

Magnetik sıçratma yöntemiyle TiAlVN sisteminde de farklı bileşimde sert tabakalar, sert metal kesme plakları üzerine kaplanır. Metastabil TiAlVN tabakaları TiN' ün kübik yüzey merkezli kafes yapısını gösterir (Şekil 5.2). Alaşım elementlerinden Al ve V, TiN hücrelerine birim kafesi küçültme şeklinde etki eder. Alüminyumca zengin TiAlVN kaplamaları yüksek sertlik değeri göstermiştir ($HV_{0.05}$ ' de 3000) [23-25].



Şekil 5.2 TiN kafes yapısı ve diğer alaşım elementlerinin kafesteki durumları [24]

Alüminyumca zengin tabakalar düşük buhar basıncında biriktirildiği takdirde yüksek Al içeriğine karşılık, azot kafeste eksik kalacaktır; bu, kübik kafeste belirgin bir sertlik düşmesine neden olur ($HV_{0.05}$ ' de 1500). Alüminyumca zengin TiAlVN tabakaları düşük alüminyum içeriğinde kızıl aşınmaya dayanıklıdır. Al içeriğinin çok fazla olması durumunda (>%30) kısmen kızıl sıcaklık sahasında aşınma direnci azalır [24-26].

TiAlVN kaplamaları, atomik %4 V değerinde en yüksek sertliğe ulaşır. Özellikle vanadyum içeriğinde yüksek sıcaklıkta iyi termal kararlılık ve difüzyon aşınmasına daha yüksek direnç gösterir [25].

5.6. TRD Prosesi ile Titanyum Nitrür Kaplama Tabakasının Oluşumu

Çelik malzemelerin titanyumlanması, katı, sıvı veya gaz ihtiva eden bir ortamda, çelik yüzeyine titanyum atomlarının difüze edilmesi esasına dayanır. TRD prosesi termo kimyasal bir olaydır. Bu işlemler sonrasında çeliğin özelliğine ve daha önce yapılmış muhtemel işlemlerine bağlı olarak, malzemenin yüzeyinde titanyum, TiN, TiC gibi bileşiklerden oluşan yüzey tabakaları elde edilir [18].

Titanyumlama işlemi ile altlık malzemesinin azot içeriğine ve karışım tozları içerisindeki ferro alaşımın titanyum içeriğine bağlı olarak bir veya iki fazlı kaplama tabakaları elde edilir [18].

Titanyumlama işlemi uygulanmış çeliklerde tabaka kalınlığı, ortam sıcaklığı, işlem süresi ve ana metal bileşiminin bir fonksiyonudur. İşlem için ortam sıcaklıkları 600-1200 °C arasında seçilebilir 550 °C sıcaklıktan daha düşük sıcaklıklarda numune yüzeyine yeterli kalınlıkta nitrür tabakası elde edilemez. 1000 °C civarındaki sıcaklıklarda karışımın oluşturduğu tozlar işlem parçasının üzerine sinterlenebilir. Bu nedenle tercih edilen ortam sıcaklığı 800-1000 °C arasında değişmektedir. Ayrıca tabaka kalınlığının oluşumu işlem süresine de bağlıdır. 30 dakikadan daha kısa sürelerde, TiN tabakasının oluşumu için yeterli değildir. İşlem süresinin artmasıyla TiN tabakasının kalınlığı da artmaktadır. Ancak proses difüzyon kontrollü olduğundan tabaka kalınlığının oluşturulması için 1-10 saat arasındaki süreler tercih edilmelidir [18].

Arai, TRD yöntemiyle karbür ve nitrür esaslı kaplamaların yapılabileceğini açıklamış ancak çalışmalarında nitrür esaslı kaplamalara pek yer vermemiştir. TRD yöntemiyle TiN kaplama konusunda Şen [27] TRD ile AISI 1020 çeliğinin TiN kaplamaları ve TiN kaplamaların kinetik ve aşınma özelliklerini incelemiştir. Literatürde bu konuyla ilgili sınırlı bilgi bulunmaktadır.

5.7. Titanyum Nitrür Tabakası Oluşturulmuş Çeliklerin Özellikleri

5.7.1. Korozyon direnci

Çelik yüzeyinde oluşturulan titanyum nitrür (TiN) tabakası ile korozyona karşı yüksek direnç sağlanır. Bu tabakalar seramik karakterli oldukları için asitlere, bazlara ve tuzlara karşı yüksek korozyon direncine sahiptirler. Malzeme yüzeyine uygulanan TiN işlemi sonrasında eğer yüzey parlatılırsa korozyon direnci daha fazla artırılır. Ancak bu parlatma esnasında yüzeyde oluşturulan tabakanın kaldırılmamasına dikkat edilmelidir. Eğer yüzeyde oluşturulan kaplama tabakası kaldırılırsa, malzemenin korozyon direnci düşer [17].

5.7.2. Sertlik

Difüzyon yöntemi ile elde edilmiş TiN tabakasının sertliği, altlık malzemesinin sertliğinden bağımsızdır. Bu yöntem ile altlık malzemesinin sertliğine göre, çok daha yüksek düzeyde sertlik değerleri elde edilebilir. Titanyumun diğer elementlerle yaptığı ikili bileşenler de çok yüksek ve farklı sertlik değerlerine ulaşılabilir [18].

5.7.3. Aşınma direnci

Abrasif aşınma direnci: Çelik bileşenlerin sürtünmeye karşı aşınma dirençleri 4-6 µm kahlık aralığında yüzeylerine TiN kaplamayla dikkate değer derecede artırılabilir. Yüksek sertlik abrasif aşınma direncini geliştirmekte oldukça önemli bir parametredir [28].

Başlangıç yüzey pürüzlülüğü aşınma direncini etkiler. Öyle ki pürüzsüz yüzey daha az aşınır. Son zamanlarda ki araştırmalar çok katmanlı titanyum ve TiN kaplamalarda daha kalın kaplamaların daha tok ve daha yüksek abrasyon direncini sağladığını göstermiştir [28].

Kaplama / altlık sisteminin yük taşıma kapasitesi önemlidir. Orta derecede abrasif aşınma altında abrasif partiküllerle plastik oluşan yivlerin kesişmesinden bölgesel

kopmalar ile ince kaplamalardan hasarın geliştiği bulunmuştur. Diğer bir deyişle kalın kaplamalar elastik olarak temas gerilmelerini karşılama kabiliyetine sahip olurlar ve altlık malzemenin deformasyona uğramaksızın kaplamada parlatma mekanizması veya mikro partiküller ile hasara uğraması söz konusudur [28].

Ancak daha kalın TiN kaplamalarda mikroyapının etkisine bağlı olarak aşınma hızında farklılıklar gözlenmiştir. Bunlar kaplama yoğunluğundaki azalma ve artan kaplama ile tane boyutuna bağlı olabilir. Şiddetli abrasif aşınma şartları altında kalın kaplamalar kohezif kırılma mekanizmasıyla başlıca hasara uğrar [28].

Yukarıda açıklandığı gibi TiN kaplamaların aşınma dirençleri başlangıçta titanyum ile daha kuvvetli olarak gerçekleştirilebilir veya kaplamanın içinde dağıtılması ile arttırılabilir ve bu aynı zamanda iyi yapışmayı destekler. Özellikle bazı teknikler ark, buharlaşma gibi film içinde titanyumun küçük partiküller halinde dağılımını sağlar. Düşük gerilmelerde metalik titanyumun ortaya çıkışı iç gerilmeyi azaltması ve tokluğu arttırması sebebiyle faydalı etkiye sahiptir. Yüksek temas gerilmelerinde abrasif partiküllerle kaplamada metalik titanyumun birikintilerinin çökmesi artan aşınmada, kaplama ve altlık arasında abrasyon ve yırtılmanın artmasına sebep olur.

TiN kaplamaların abrasif aşınma performansları kaplama sistemlerine bağlıdır. İyon kaplama metodu diğerlerinden daha çok ön plana çıkmıştır. Çünkü etkili iyonlaşma seviyesi proses karakteristiklerini yüksek seviyede sağlamaya daha uygundur [28].

Erozif aşınma direnci: 1 ila 10 μm arası TiN kaplanmış çeliğin aşınma direnci, kaplanmamış çelikten dikkate değer derecede daha iyidir. Görülmektedir ki aşınma direnci kaplamanın sertliğine, kaplama / altlık kompozit sisteminin sertliğine, erozyonu gerçekleştiren partiküllerin şekline ve bombardımanın açısına bağlıdır [28].

Daha yüksek kompozit sertlik yani kaplama / altlık kombinasyonunun sertliğinin genel olarak erozif aşınmayı azaltıcı etkiye sahip olduğu söylenmektedir. Daha kalın kaplamalar keskin partiküllerle normal çarpma etkisinin gerçekleştiği durumlarda ince olan kaplamalardan daha yüksek erozyon direnci sağlayacağı umulabilir. Diğer

bir deyişle daha ince kaplamalar yuvarlak partiküllerin 45° açıyla yüzeye çarpmaları durumunda daha iyi erozyon direnci sergileyecekleri görülecektir [28].

Bu etki hertziyan koni kırılmasının oluşumu kritik kalınlığına ulaşıldığında elastik / plastik çentik kırılması sebebiyledir. Kaplamaların erozyon mekanizmalarının 3 tipi görülmektedir ve şöyle belirtilebilir;

- Eroziyon aşınması
- Kesme erozyonu
- Spalling (kalkma) aşınması

Eroziyon aşınması çok yaygın olarak görülür. Kesme erozyonu düşük kompozit sertlikte görülür ve kalkma erozyonu yüksek kompozit sertlikte görülür.

Yüksek sıcaklıklarda 2 µm kalınlığındaki TiN kaplanmış çelik yüzeyinin 200-400 °C sıcaklığa yükselmesiyle hacimsel aşınma hızının arttığı görülmektedir. Bunun başlıca nedeni sıcaklığın artmasıyla kaplama sertliğinin azalmasıdır. 400 °C' nin üzerinde erozyon ve korozyona karşı oksidasyon hızındaki artış sebebiyle minimum koruma sağlanmaz. Ancak 500 °C' de aşınmayan bölgelerde çelik altlığın oksidasyona karşı hala korunmasını sağlar [28].

BÖLÜM 6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1. Giriş

Demir esaslı malzemeler üzerine titanyum-nitrür (TiN) kaplamalar üzerine yapılan çalışmalar son yıllarda oldukça hızlanmıştır. Araştırmalar neticesinde elde edilen sonuçların iyi çıkması ve malzeme ömrünü uzatması sebebiyle TiN kaplamalar birçok gelişmiş ülkeler de sanayiye aktarılmıştır. TiN kaplamalar fiziksel buhar biriktirme (PVD) ve kimyasal buhar biriktirme (CVD) yöntemleri uygulanarak elde edilmektedir. Ancak termoreaktif difüzyon yöntemi uygulanarak TiN kaplama araştırmaları oldukça sınırlıdır ve bu konuda az sayıda çalışma yapılmıştır [3].

Ülkemiz de titanyum rezervi yok denecek kadar azdır. Mevcut rezervlerde de üretim yapılmamaktadır [5]. Fakat titanyum yer kabuğunda en çok bulunan altıncı element olması sebebiyle geleceği parlak olan çalışmalar yapmaya elverişlidir. Ülkemiz sanayinde son yıllarda hızlı bir şekilde yer almaya başlayan titanyum esaslı kaplamalar, genellikle PVD yöntemiyle üretilmektedir. Bu çalışmada; PVD yöntemin pahalı olması sebebiyle daha ucuz olan termoreaktif difüzyon yöntemiyle çelikler üzerine TiN kaplanabilirliğinin araştırılması ve ülkemiz sanayinde uygulanabilirliği amaçlanmıştır. Literatür taramalarında, TiN kaplamalar hakkında birçok yayın olmasına rağmen termoreaktif difüzyon yöntemi ile TiN kaplamalar yok denecek kadar azdır.

Bu çalışmanın amacı, termoreaktif difüzyon yöntemiyle düşük ve yüksek oranda karbon içeren çeliklerin; mikroyapı ve kimyasal bileşim, oluşan TiN tabakasının morfolojisi ve mekanik özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla kullanılacak malzemeler, AISI 1010 (düşük karbonlu) ve AISI M2 (yüksek karbonlu)

olacak şekilde seçilmiş ve benzer şartlarda TiN kaplanarak çelikler üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Bu çalışmada AISI 1010 ve AISI M2 türü düşük karbonlu ve yüksek alaşımlı çeliklerin TiN kaplanması ve kaplama sonucu oluşan tabaka kalınlıkları, morfolojileri, sertlikleri, aşınma özellikleri; optik mikroskop, mikro sertlik cihazı, x-ışınları difraksiyonu, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve ball-on-disk aşınma cihazı kullanılarak incelenmiştir.

Çalışmada öncelikle bahsi geçen çeliklerden 20 mm çapında ve 6 mm kalınlığında numuneler hazırlanmıştır. Daha sonra bu numunelerin yüzeyleri metalografik olarak parlatılmıştır. TiN kaplama banyosu için ferro titanyum, alümina, nişadır ve naftalinden oluşan bileşim kullanılmıştır. Kaplama işlemi, 900 - 1000 ve 1100 °C sıcaklıklarda, 1, 2, 3 ve 4 saat sürelerde gerçekleştirilmiştir. TiN kaplanan numuneler metalografik olarak hazırlanarak mikroyapı, mikrosertlik ve tabaka kalınlıkları ölçümleri yapılmıştır. Aynı şekilde, hazırlanan malzemelerden taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile mikroyapı çekimleri ve çizgisel ve elementel analizler gerçekleştirilmiştir. TiN tabakasının içerdiği fazları belirlemek üzere numunelerin kaplanmış olan yüzeylerinden x-ışınları difraksiyonları alınarak faz analizleri yapılmıştır. Ayrıca TiN kaplanmış numuneler üzerinde 2, 5 ve 10 N yükler altında 80, 160, 240 ve 320 metre mesafelerde ve 0,1, 0,3 ve 0,5 m/s hızlarda aşınma deneyleri gerçekleştirilmiş ve hacimsel olarak aşınma değerleri ile sürtünme katsayıları belirlenmiştir.

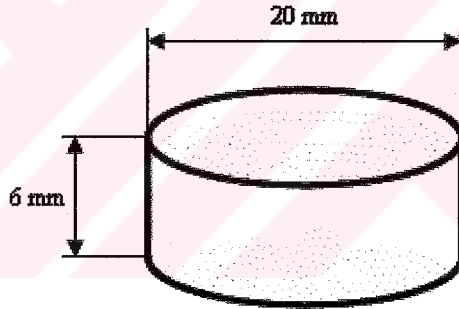
6.2. Deneylerde Kullanılan Numuneler

Deneylerde; TiN kaplamanın malzeme içindeki karbon miktarına bağlı olarak kaplama tabakasında değişimin olup olmadığını göstermek için biri düşük diğeri yüksek karbon içeren iki farklı yapıdaki çelik türü kullanılmıştır. Bu seçimi yaparken, TiN kaplamaların sanayide en çok kesici ve aşındırıcı takımlarda kullanıldığı göz önünde bulundurularak yüksek karbonlu yüksek alaşımlı çelik seçiminde bu kategoriden olan AISI M2 çeliği seçilmiştir. Tablo 6.1’ de deneylerde kullanılan çelik türlerinin kimyasal bileşimleri verilmiştir.

Tablo 6.1 Deneysel çalışmalarda kullanılan çelik türlerinin kimyasal bileşimleri

Standart No	Kimyasal Bileşim (% Ağırlıkça)								
	Fe	C	Si	P	S	Cr	Mo	Mn	Ni
AISI 1010	98.84	0.12	0.118	0.0038	0.0239	0.012	0.02	0.529	0.029
AISI M2	78.05	0.873	0.513	0.0387	0.0253	3.71	3.36	0.258	0.328
	Kimyasal Bileşim (% Ağırlıkça)								
	Al	B	Co2	Cu	Ti	V	W	Nb	
AISI 1010	0.003	0.0002	0.006	0.013	0.004	0.0	0.015	0.003	
AISI M2	0.026	0.003	0.137	0.017	0.014	1.45	10.75	0.237	

Metalografik inceleme, aşınma ve sertlik deneyleri için çapı 20 mm ve kalınlığı 6 mm olan numuneler otomatik şerit testere ile kesilerek hazırlanmıştır (Bkz. Şekil 6.1). Yüzeyleri metalografik numune hazırlama teknikleriyle 100, 220, 400, 800 ve 1200 zımpara kademeleri ile sırayla zımparalanmıştır. Son olarak yüzeyleri % 10'luk sülfürik asit çözeltisinde temizlenmiştir.



Şekil 6.1 Deneysel çalışmalarda kullanılan numunelerin şekil ve boyutları

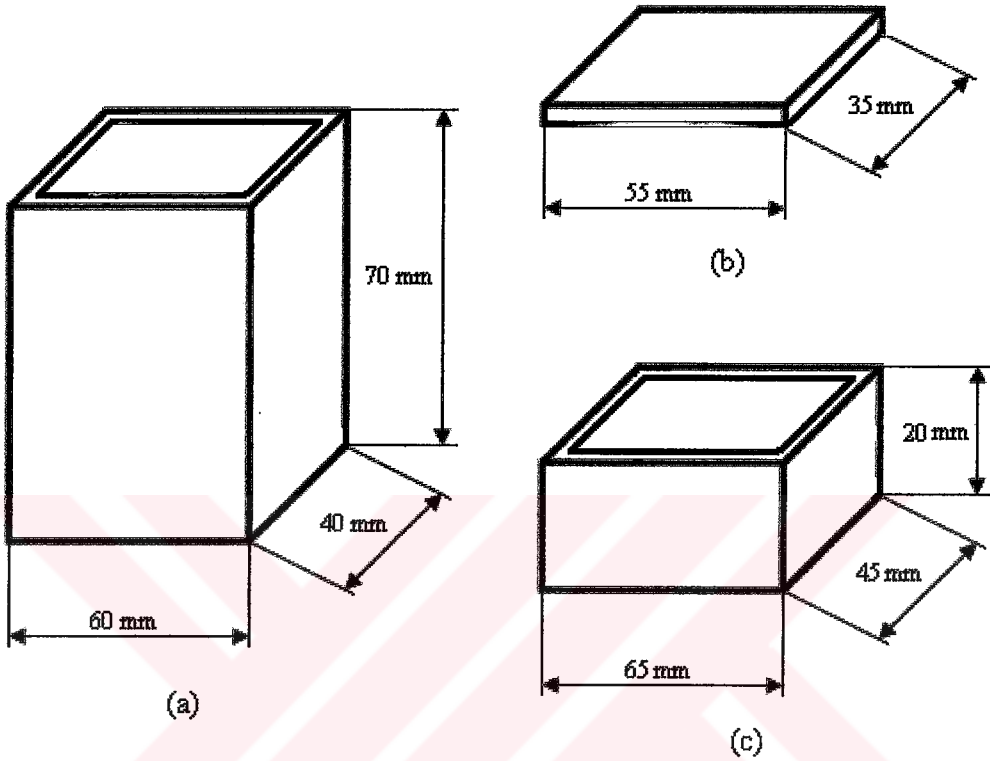
6.3. Deneylerde Kullanılan Cihazlar

6.3.1. Kaplama fırını

TiN kaplama işleminde NÜVE MF 120 tipi elektrik direnç fırını kullanılmıştır. Fırın atmosferik şartlara açık olup, fırının sıcaklık hassasiyeti ± 1 °C' dir.

6.3.2. Kaplama potası

TiN kaplama işleminde 40x60x70 mm boyutların dikdörtgen prizma şeklinde hazırlanmış çelik pota kullanılmıştır. Potanın boyutları Şekil 6.2' de verilmektedir.



Şekil 6.2 Deneysel çalışmalarda kullanılan potanın geometrik şekli ve boyutları (a) pota, (b) potanın iç kapağı, (c) potanın dış kapağı

6.3.3. Kaplama banyosu

Kullanılan TiN kaplama banyosu içerik olarak; ferro titanyum tozu, alümina (inert dolgu malzemesi), amonyum klorür (aktivatör) ve naftalin (karbon verici bileşik) ihtiva etmektedir. Ferro titanyum öğütülerek 100 mesh elek altı tane boyutuna getirilmiştir. Daha sonra belirli oranlarda ferro titanyum, alümina (Al_2O_3), nişadır ve naftalin olacak şekilde karıştırılmış ve toz karışımı homojen hale gelinceye kadar harmanlanmıştır.

6.4. Kaplama İşlemi

Şekil 6.1' de gösterilen boyutlarda hazırlanan numuneler, 1200 gridlik zımpara ile parlatılarak TiN kaplamaya hazır hale getirilmiştir. Öncelikle numuneler TiN tabakasındaki nitrürün oluşturulması için 500-550 °C sıcaklıkları arasında 2 saat süre ile nitrüleme işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra ferro titanyum, alümina (Al₂O₃), nişadır ve naftalin ihtiva eden TiN kaplama banyosu, 1/10.000 hassasiyette tartılarak hazırlanmıştır. Hazırlanan toz karışımının içerisine numuneler birbirlerine ve potaya temas etmeyecek şekilde yerleştirilmiştir. İşlem sıcaklığına çıkarılan fırına daha önce hazırlanmış olan potalar yerleştirilmiştir. Her deney için yeni bir banyo hazırlanarak kullanılmıştır. Bütün seriler için üç farklı sıcaklık (900 - 1000 ve 1100 °C) ve dört farklı süre (1, 2, 3 ve 4 saat) kullanılmıştır.

TiN kaplama işlemi sonrasında potalar oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur. Kaplanan numuneler potadan çıkarıldıktan sonra üzerlerindeki kalıntılardan temizlenmek amacıyla % 10' luk sülfürik asit çözeltisinde yıkanmıştır.

6.5. Metalografik İnceleme

Kaplanan numuneler, metalografik inceleme için orta kısımlarından kesilerek bu yüzeyleri görünecek şekilde bakalite alınmışlardır. Bu numuneler 100, 220, 400, 800 ve 1200 grid' lik zımparalama işlemlerinden sonra 1µ' luk alümina pasta kullanılarak parlatma işlemine tabi tutulmuşlardır. Metalografik olarak parlatılmış olan yüzeyler %2' lik nitelle dağlanarak mikroyapılar ortaya çıkarılmıştır.

Hazırlanan numuneler Olympus B 071 marka optik mikroskop ile incelenmiştir. Yüzeye yakın olan TiN fazı dağlama ile elde edilen renk farkından dolayı ayırt edilmiştir. Bununla birlikte, kaplama tabakasındaki bulunan bütün fazları bulmak için x-ışınları difraksiyon analizleri kullanılmıştır.

Tabaka kalınlığında Olympus B 071 marka optik metalografi cihazının bünyesinde bulunan optik mikrometre yardımıyla ölçülmüştür. Tabaka kalınlığı, numunelerin iki kenarında en az beş ölçüm yapılarak gerçekleştirilmiştir.

6.6. X-Işınları Difraksiyon Analizi

Kaplama tabakasında mevcut fazların tanınmasında ve özelliklerinin saptanmasında kullanılan yöntemlerden biri de x-ışınları difraksiyon analizidir. X-ışınları difraksiyon analiz yönteminde, genellikle Cu veya Co gibi hafif elementlerden elde edilen K_{α} karakteristik x-ışını demeti, analiz edilecek numune üzerine gönderilmektedir. Işın demeti numunenin üç boyutlu kristal kafeslerinde difraksiyona uğrayarak, numuneye has difraksiyon paterni elde edilmektedir. Bu paternlerin incelenmesi, bileşimi belirli standart malzemelerden elde edilen paternler ile karşılaştırılarak yapılmaktadır. Karşılaştırma sırasında standart ASTM kartlarından yararlanılmaktadır.

Numunelerin x-ışınları difraksiyon analizi sırasında Cu K_{α} ışın demeti kullanılmış ve oluşan fazların saptanmasında ASTM kartlarından yararlanılmıştır.

6.7. Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) ve Elementer Analiz İncelemesi

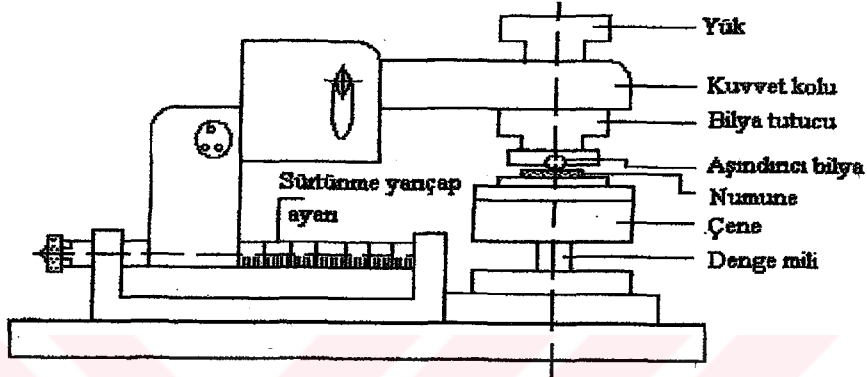
Kaplama tabakalarının mikroyapı görüntülerinin çıkartılmasında, taramalı elektron mikroskopu (SEM) kullanılmıştır. Ayrıca kaplama tabakasının belirli bölgelerinden elementer analiz değerlerinin belirlenmesi, taramalı elektron mikroskopuna (SEM) kombine edilmiş EDS (Electron Dispersive Spectroscopy) yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

6.8. Sertlik DeneYleri

Kaplama tabakalarının ve matrisin sertlik dağılımları SHIMADZU marka mikrosertlik cihazında Vickers sertlik ucu kullanılarak 25gr. Yük altında gerçekleştirilmiştir. Ölçme işlemi tabaka kalınlıkları ince olduğundan sadece yüzeyden ve her bir numuneden en az beş değişik noktadan alınarak yapılmıştır. Sertlik ölçümleri, kaplama sıcaklıklarına ve bekleme sürelerine bağlı olarak gerçekleştirilmiştir.

6.9. Aşınma Deneyleri

Aşınma deneyleri, Şekil 6.3' de şematik olarak gösterilen ve ASTM G – 99 standardına uygun olan ball-on-disc tribometre cihazında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde bilye olarak 9,5 mm çapında Al_2O_3 ve AISI M50 aşındırıcı bilyeler kullanılmıştır.



Şekil 6.3 Aşınma deneylerinde kullanılan cihazın şematik gösterilişi [3]

Şekil 6.3' de görülen aşınma cihazı, aşınma deneyleri yapılırken aynı zamanda sürtünme nedeniyle oluşan ikincil kuvvetlerin ve de dolayısıyla sürtünme katsayılarının ölçülmesine imkan sağlayan teknik bir donanıma da sahiptir.

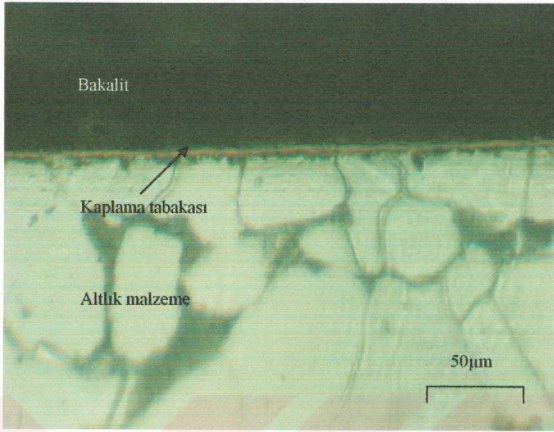
Aşınma deneylerine başlamadan önce aşındırıcı bilye ve numuneler aseton ile silinerek temizlenmişlerdir. Deneyler sırasında numuneler; 2, 5 ve 10 N yük altında ayrı ayrı 80, 160, 240 ve 320 metre mesafelerde 0,1, 0,3 ve 0,5 m/s hızlarda aşınma deneylerine tabi tutulmuştur.

BÖLÜM 7. SONUÇLAR VE İRDELEME

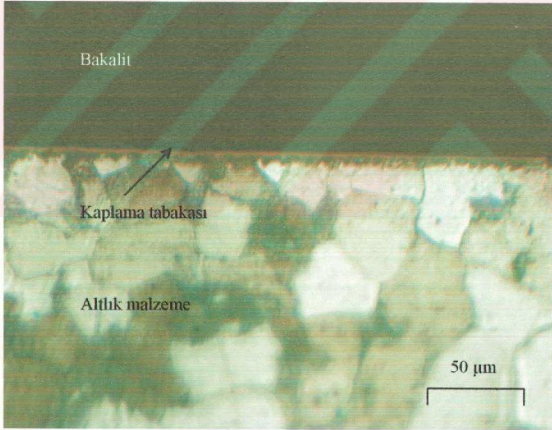
7.1 Metalografik İnceleme Sonuçları

Klasik metalografi teknikleri ile hazırlanan numuneler üzerinde yapılan optik mikroskop incelemeleri neticesinde, TiN kaplama işlemine tabi tutulan bütün numunelerde TiN tabakası, kaplama-matris ara yüzeyi ve matris açık bir şekilde ortaya çıkmıştır. Şekil 7.1-7.24' de 900 °C – 1000 °C ve 1100 °C sıcaklıklarda 1, 2, 3 ve 4 saat sürelerde TiN kaplama işlemine tabi tutulmuş olan AISI 1010 ve AISI M2 numunelerin optik mikroyapıları görüntüleri verilmektedir.

Gerçekleştirilen TiN kaplama işlemi sonrasında, kaplama sıcaklığı ve süresine bağlı olarak seramik esaslı bir kaplama tabakası ve matris fazından oluşan iki farklı bölge ortaya çıkmıştır. Kaplama tabakası homojen olarak malzeme yüzeyinde süreklilik arz etmektedir. Zaman ve sıcaklığa bağlı olarak kaplama tabakasının kalınlığında artış gözlenmektedir. Bütün sıcaklık ve sürelerde yapılan TiN kaplama işlemlerinde TiN fazının olduğu Şekil 7.1-7.24' de görülmektedir.

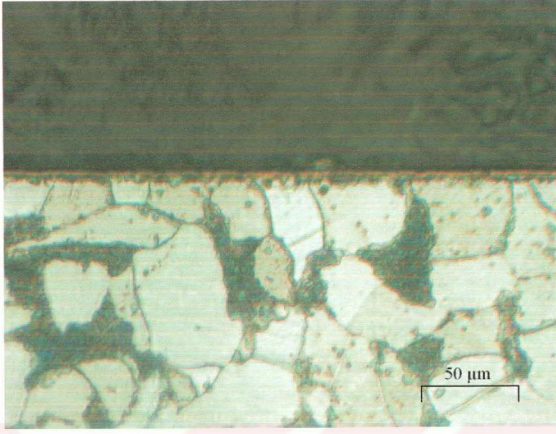


(a)

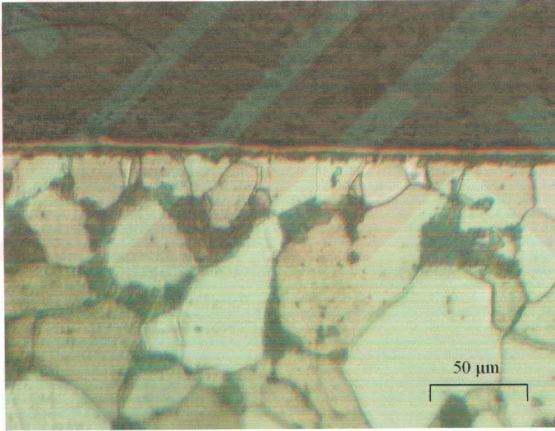


(b)

Şekil 7.1 900 °C sıcaklıkta (a) 1 saat, (b) 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI 1010 çeliğinin mikroyapısı

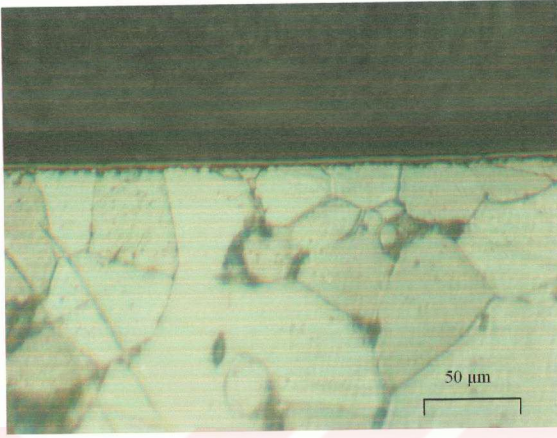


(a)

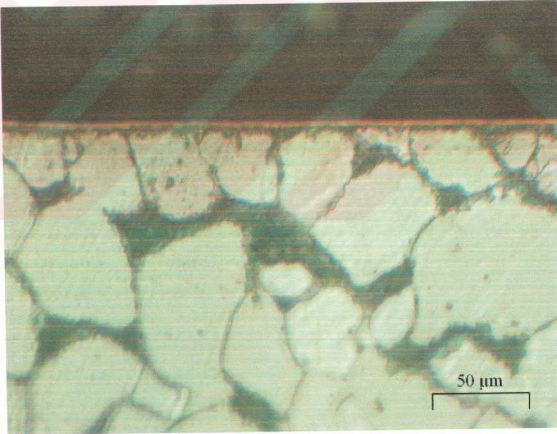


(b)

Şekil 7.2 900 °C sıcaklıkta (a) 3 saat, (b) 4 saat süre ile TiN kaplanmış AISI 1010 çeliğinin mikroyapısı

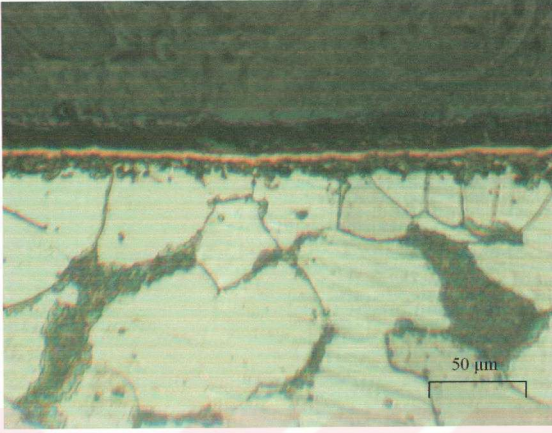


(a)

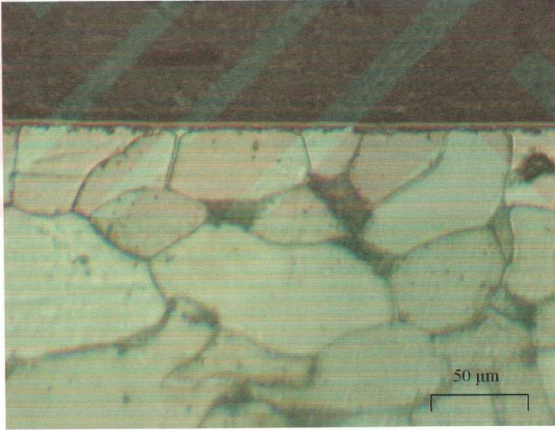


(b)

Şekil 7.3 1000 °C sıcaklıkta (a) 1 saat, (b) 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI 1010 çeliğinin mikroyapısı

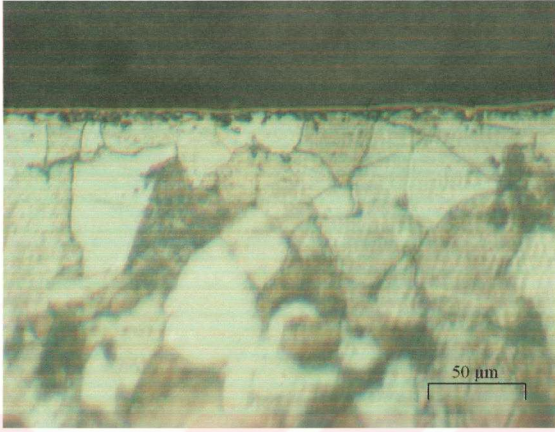


(a)

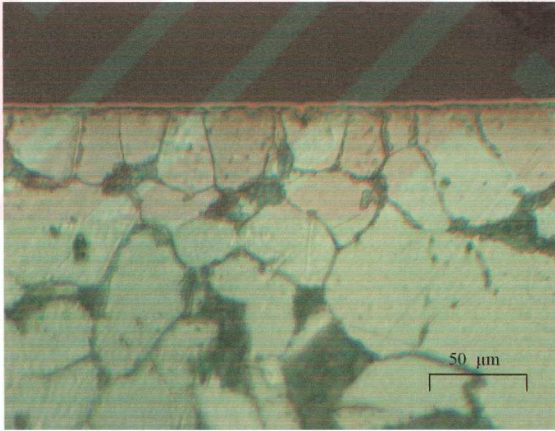


(b)

Şekil 7.4 1000 °C sıcaklıkta (a) 3 saat, (b) 4 saat süre ile TiN kaplanmış AISI 1010 çeliğinin mikroyapısı

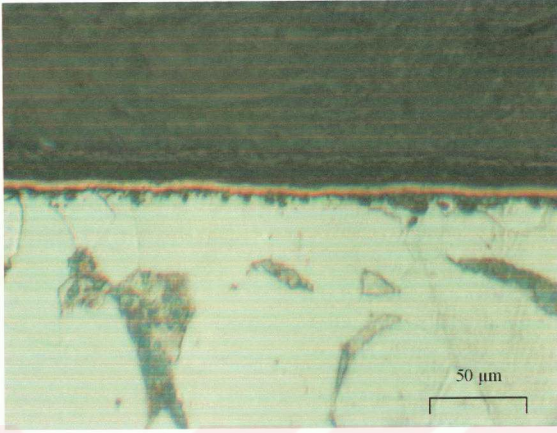


(a)

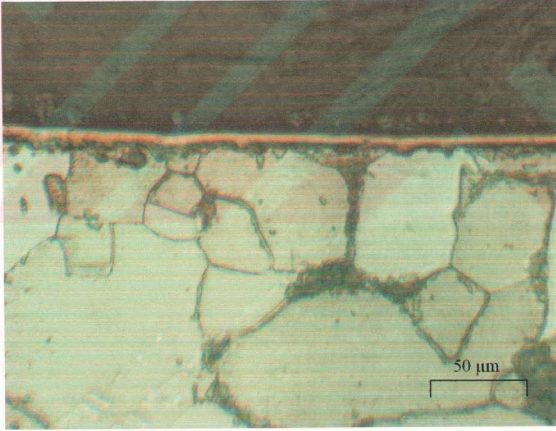


(b)

Şekil 7.5 1100 °C sıcaklıkta (a) 1 saat, (b) 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI 1010 çeliğinin mikroyapısı

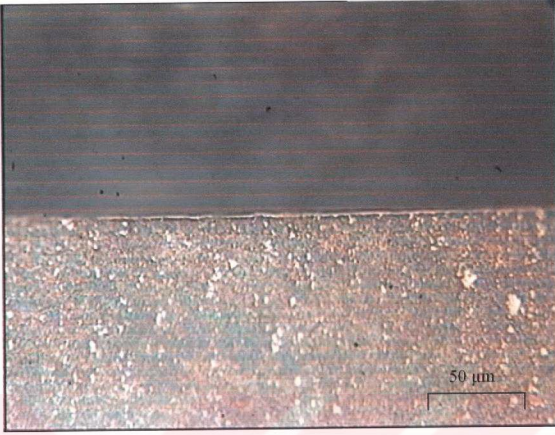


(a)

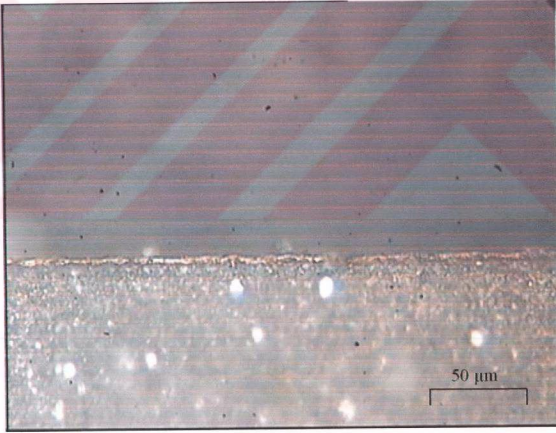


(b)

Şekil 7.6 1100 °C sıcaklıkta (a) 3 saat, (b) 4 saat süre ile TiN kaplanmış AISI 1010 çeliğinin mikroyapısı

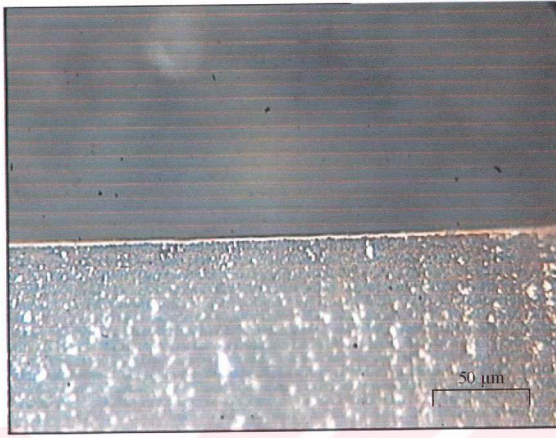


(a)

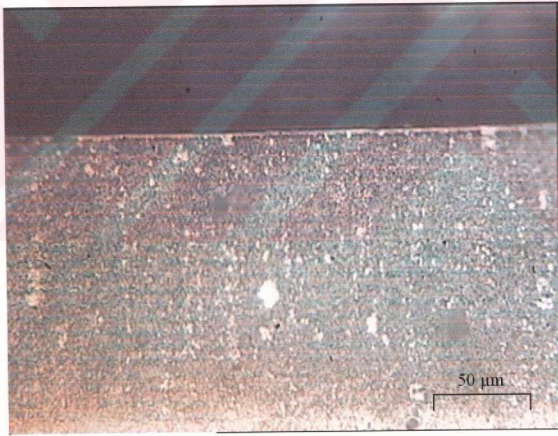


(b)

Şekil 7.7 900 °C sıcaklıkta (a) 1 saat, (b) 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI M2 çeliğinin mikroyapısı

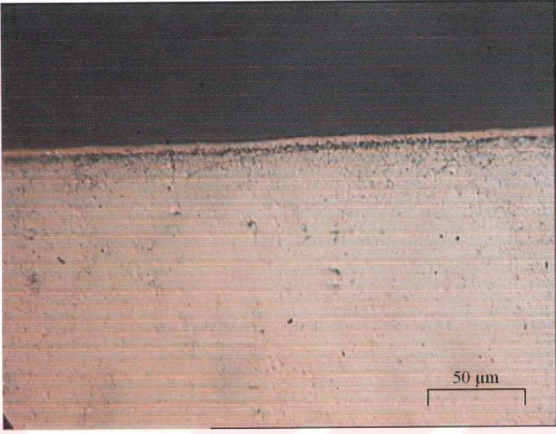


(a)

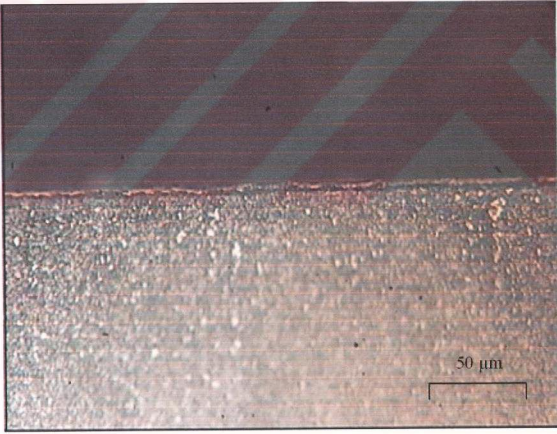


(b)

Şekil 7.8 900 °C sıcaklıkta (a) 3 saat, (b) 4 saat süre ile TiN kaplanmış AISI M2 çeliğinin mikroyapısı

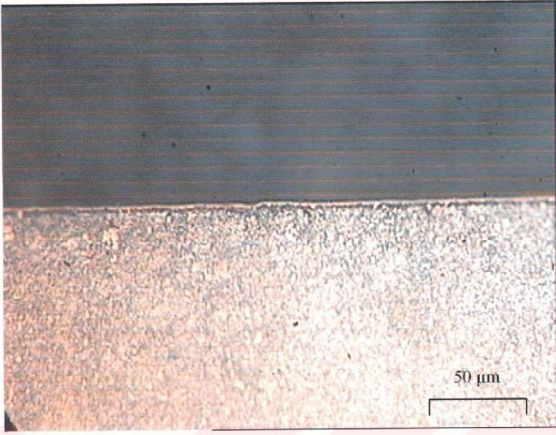


(a)

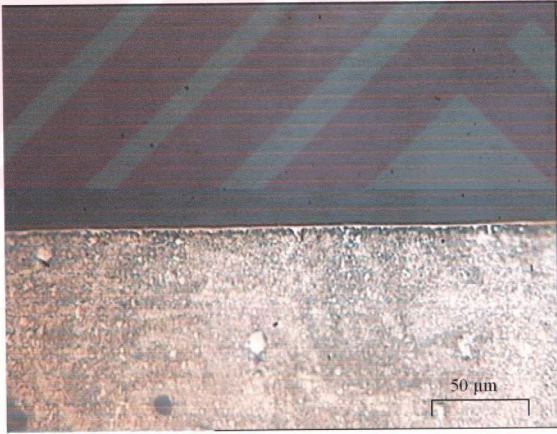


(b)

Şekil 7.9 1000 °C sıcaklıkta (a) 1 saat (b) 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI M2 çeliğinin mikroyapısı

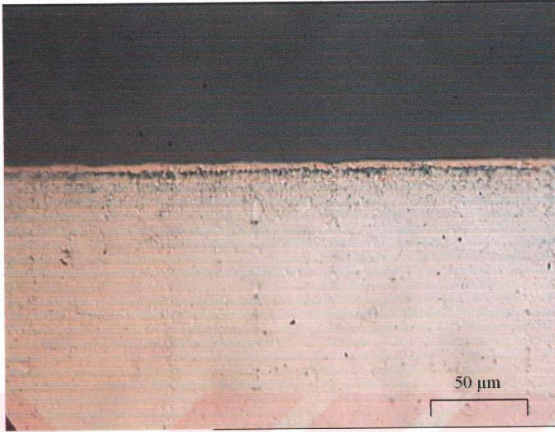


(a)

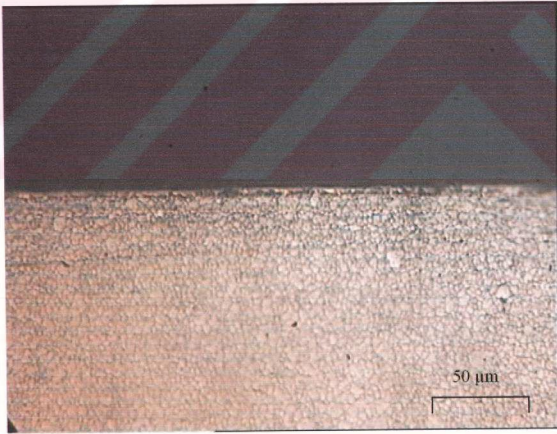


(b)

Şekil 7.10 1000 °C sıcaklıkta (a) 3 saat, (b) 4 saat süre ile TiN kaplanmış AISI M2 çeliğinin mikroyapısı

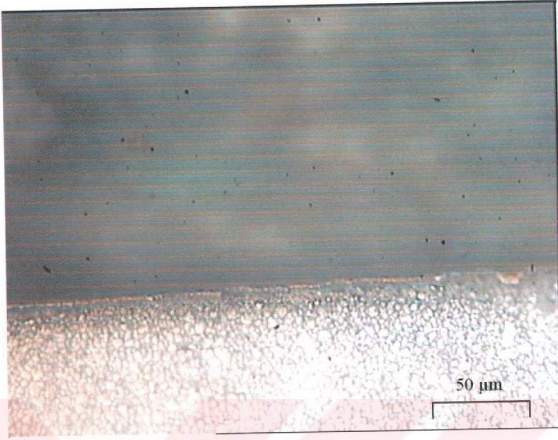


(a)

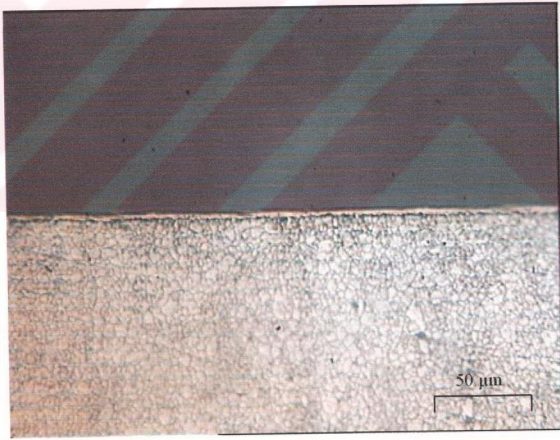


(b)

Şekil 7.11 1100 °C sıcaklıkta (a) 1 saat, (b) 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI M2 çeliğinin mikroyapısı



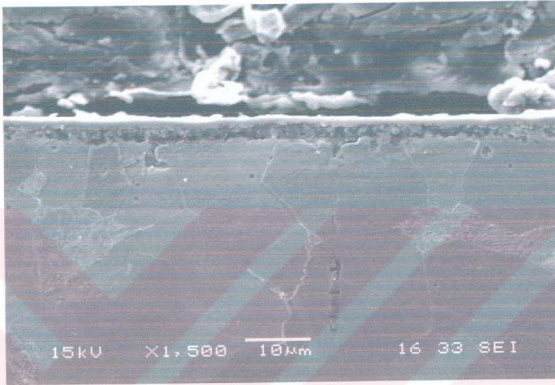
(a)



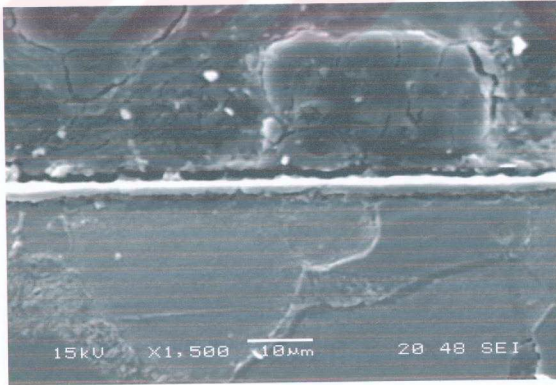
(b)

Şekil 7.12 1100 °C sıcaklıkta (a) 3 saat, (b) 4 saat süre ile TiN kaplanmış AISI M2 çelığının mikroyapısı

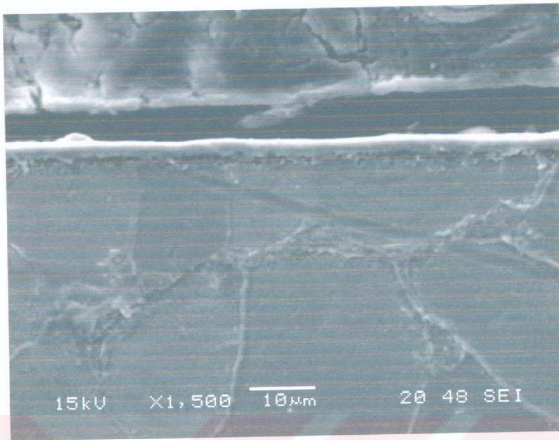
Bütün numuneler üzerinde yapılan mikroyapı çalışmalarında, AISI 1010 ve AISI M2 çeliklerinde kaplama tabakası her yerde homojen bir şekilde görülmektedir. Ayrıca kaplama tabakası SEM mikroyapı görüntülerinde açık bir şekilde görülmektedir. Şekil 7.13 – 7.18’ da SEM geri saçılan elektron görüntüleriyle (SEM-BEI) kaplama tabakalarının tek tabakadan oluştuğu görülmektedir.



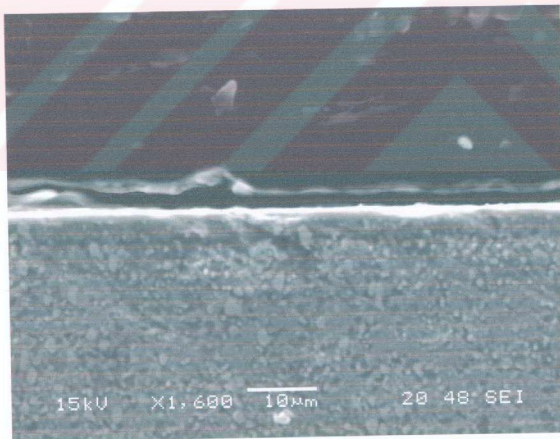
Şekil 7.13 900 °C’ de 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI 1010 çeliğinin SEM-BEI görüntüsü



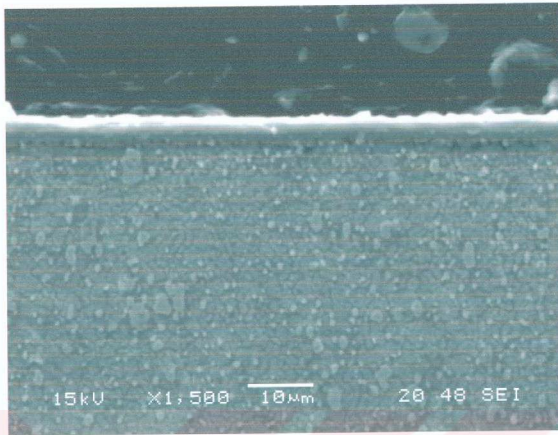
Şekil 7.14 1000 °C’ de 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI 1010 çeliğinin SEM-BEI görüntüsü



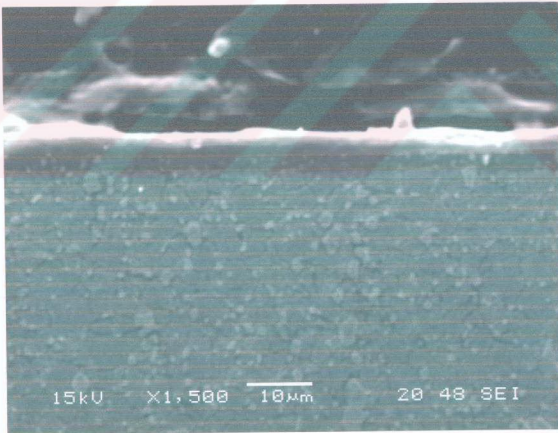
Şekil 7.15 1100 °C' de 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI 1010 çeliğinin SEM-BEI görüntüsü



Şekil 7.16 900 °C' de 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI M2 çeliğinin SEM-BEI görüntüsü



Şekil 7.17 1000 °C' de 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI M2 çeliğinin SEM-BEI görüntüsü



Şekil 7.18 1100 °C' de 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI M2 çeliğinin SEM-BEI görüntüsü

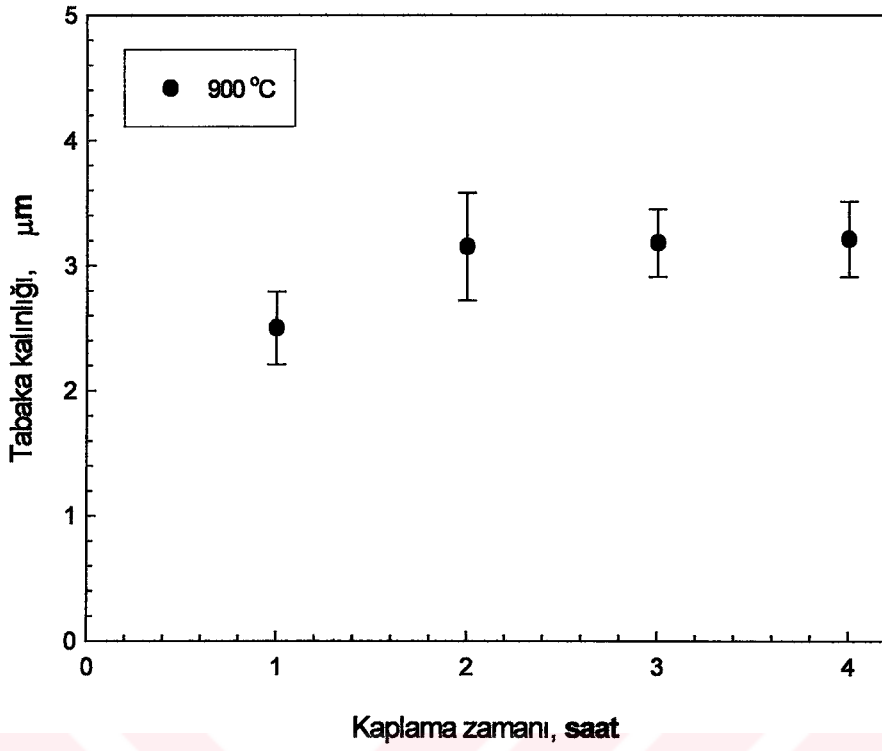
900 °C – 1000 °C ve 1100 °C' sıcaklıklarda 1, 2, 3 ve 4 saat süre ile TiN kaplanmış AISI 1010 ve AISI M2 çelik numunelerin TiN tabaka kalınlıkları sırasıyla Tablo 7.1-7.2' de ve Şekil 7.19-7.24' da verilmektedir. Şekil 7.25-7.26' de tüm sıcaklıklardaki tabaka kalınlıkları bir arada verilmektedir.

Tablo 7.1 AISI1010 çelik numunelerde TiN kaplama süresi ve sıcaklığına bağlı olarak elde edilen TiN tabaka kalınlıkları

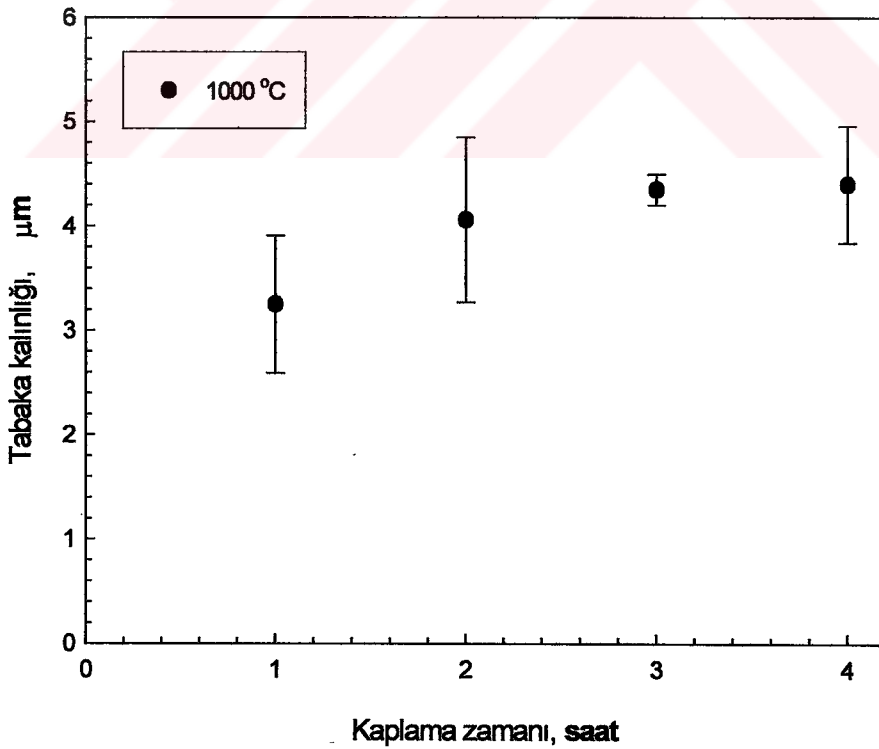
TiN Kaplama Sıcaklığı (°C)	TiN Kaplama Süresi (Saat)	Tabaka Kalınlığı (µm)
900	1	2.50±0.29
	2	3.15±0.43
	3	3.18±0.27
	4	3.21±0.30
1000	1	3.25±0.66
	2	4.06±0.79
	3	4.35±0.15
	4	4.40±0.56
1100	1	4.42±1.18
	2	5.50±0.77
	3	5.90±0.50
	4	6.32±0.69

Tablo 7.2 AISI M2 çelik numunelerde TiN kaplama süresi ve sıcaklığına bağlı olarak elde edilen TiN tabaka kalınlıkları

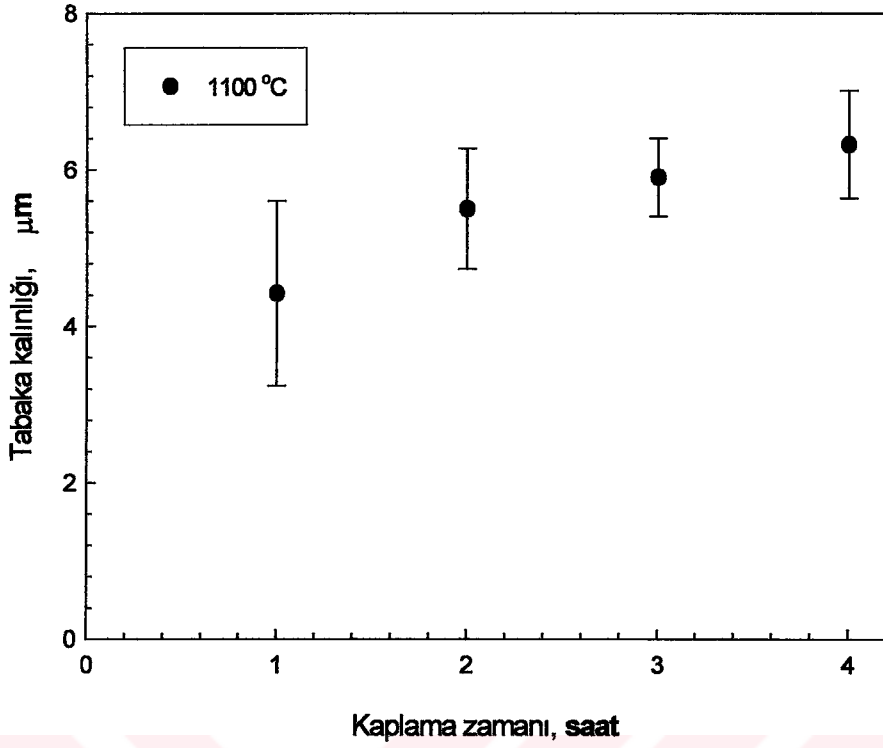
TiN Kaplama Sıcaklığı (°C)	TiN Kaplama Süresi (Saat)	Tabaka Kalınlığı (µm)
900	1	2.97±0.66
	2	3.87±0.35
	3	4.08±0.31
	4	4.35±0.43
1000	1	3.86±0.43
	2	4.90±0.50
	3	5.49±0.33
	4	6.13±0.47
1100	1	5.15±0.29
	2	6.80±0.48
	3	7.73±0.93
	4	7.82±0.67



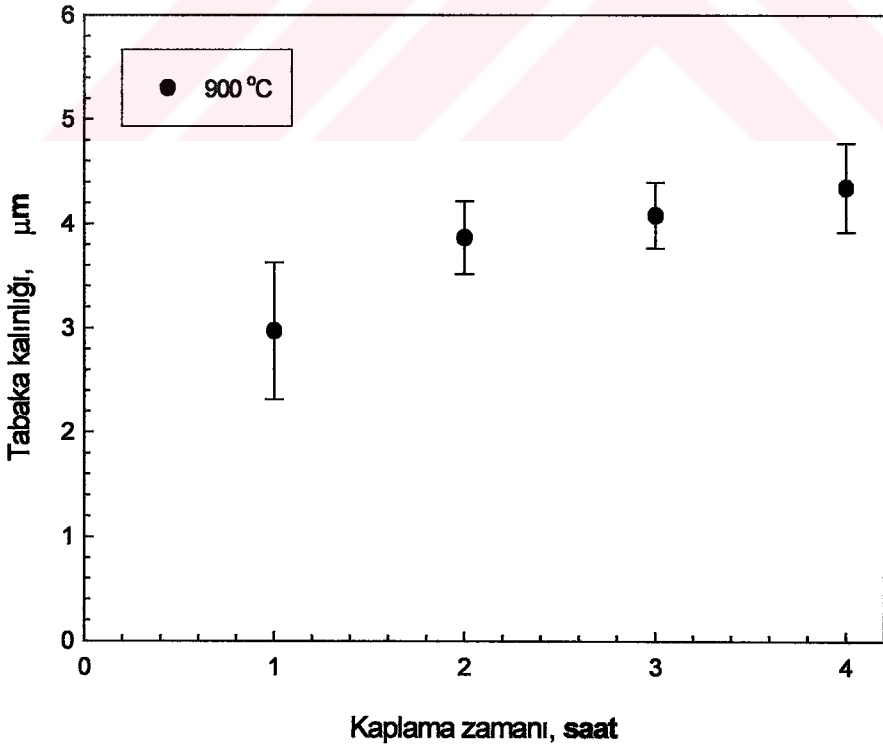
Şekil 7.19 900 °C' de TiN kaplanan AISI 1010 çeliğinde kaplama süresine bağlı olarak elde edilen tabaka kalınlığındaki değişim



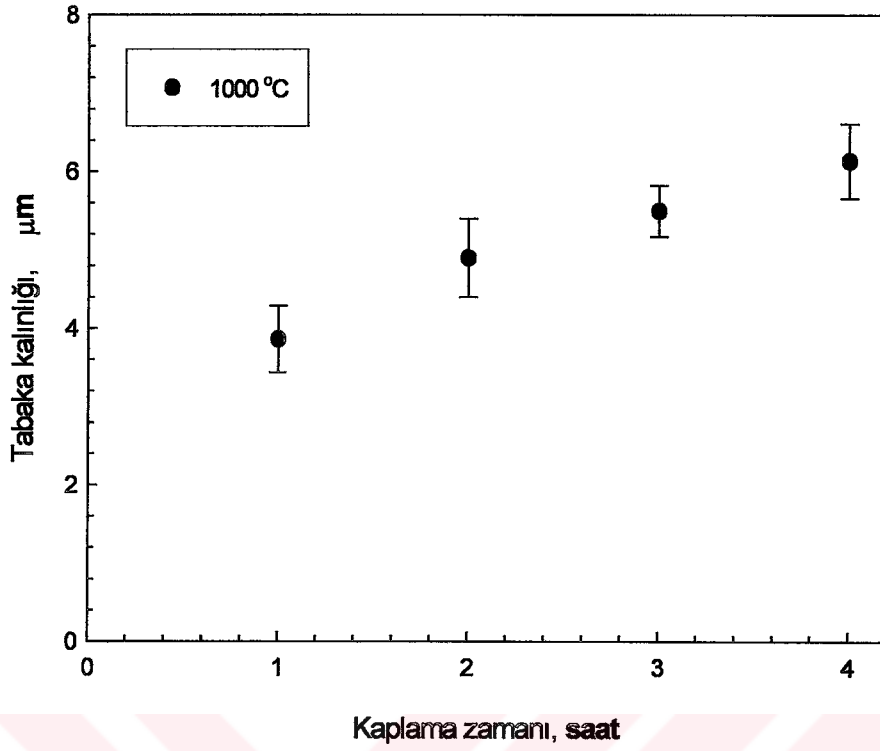
Şekil 7.20 1000 °C' de TiN kaplanan AISI 1010 çeliğinde kaplama süresine bağlı olarak elde edilen tabaka kalınlığındaki değişim



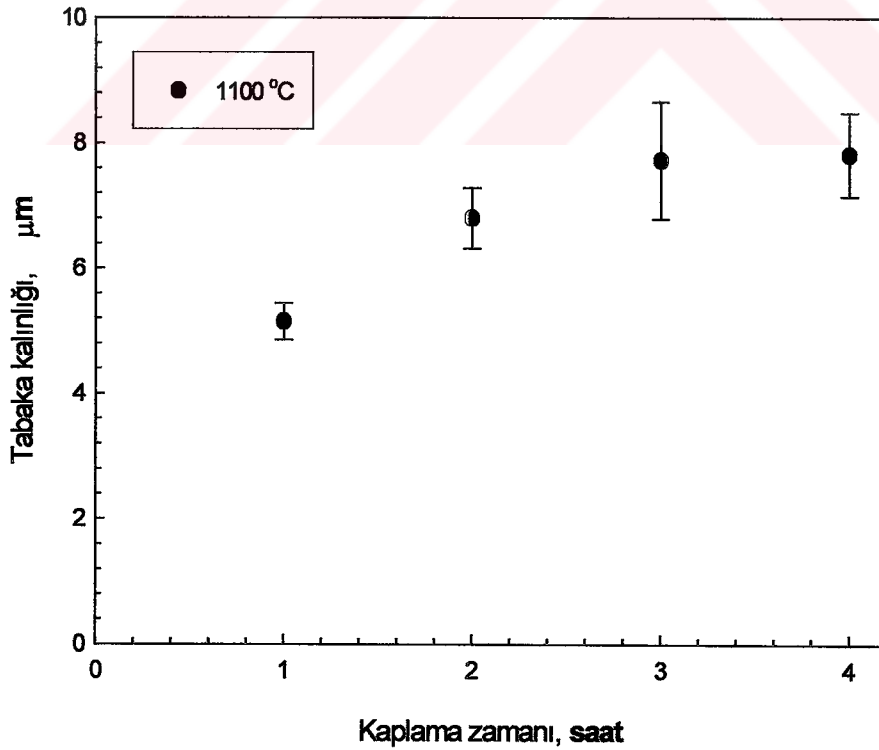
Şekil 7.21 1100 °C' de TiN kaplanan AISI 1010 çeliğinde kaplama süresine bağlı olarak elde edilen tabaka kalınlığındaki değişim



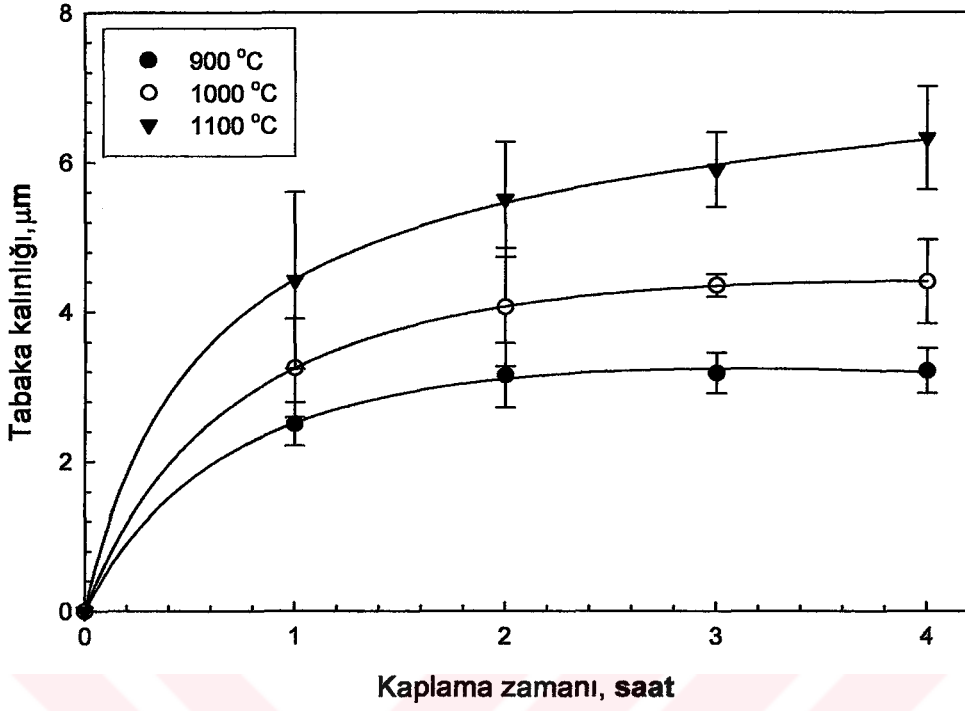
Şekil 7.22 900 °C' de TiN kaplanan AISI M2 çeliğinde kaplama süresine bağlı olarak elde edilen tabaka kalınlığındaki değişim



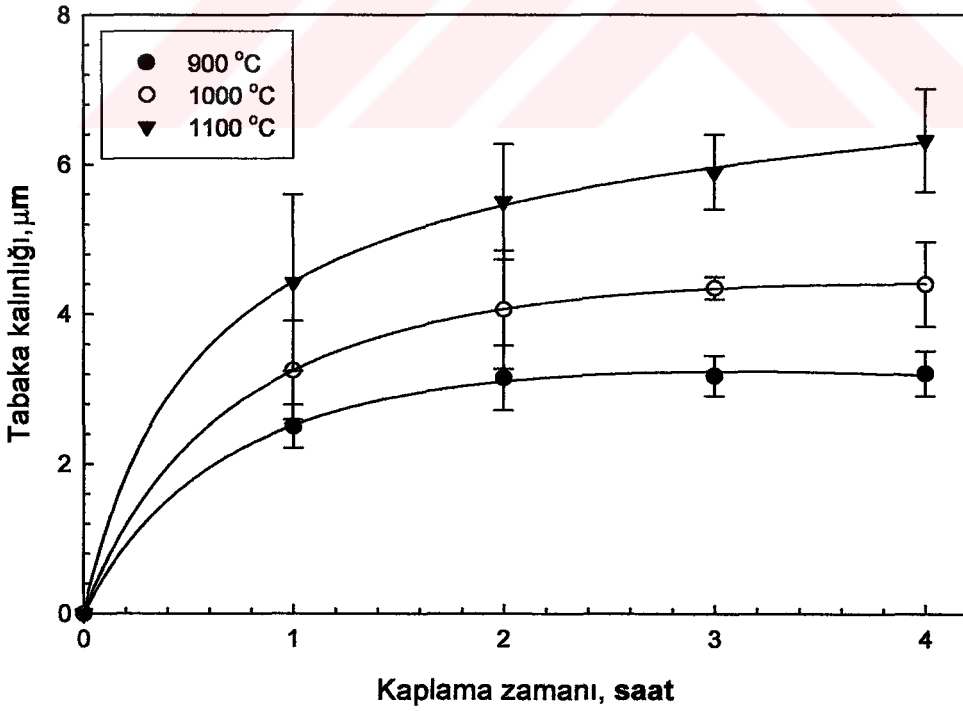
Şekil 7.23 1000 °C' de TiN kaplanan AISI M2 çeliğinde kaplama süresine bağlı olarak elde edilen tabaka kalınlığındaki değişim



Şekil 7.24 1100 °C' de TiN kaplanan AISI M2 çeliğinde kaplama süresine bağlı olarak elde edilen tabaka kalınlığındaki değişim



Şekil 7.25 900 – 1000 ve 1100 °C’ de TiN kaplama işlemine tabi tutulmuş AISI 1010 çeliğinin kaplama zamanına bağlı olarak tabaka kalınlığı değişimi

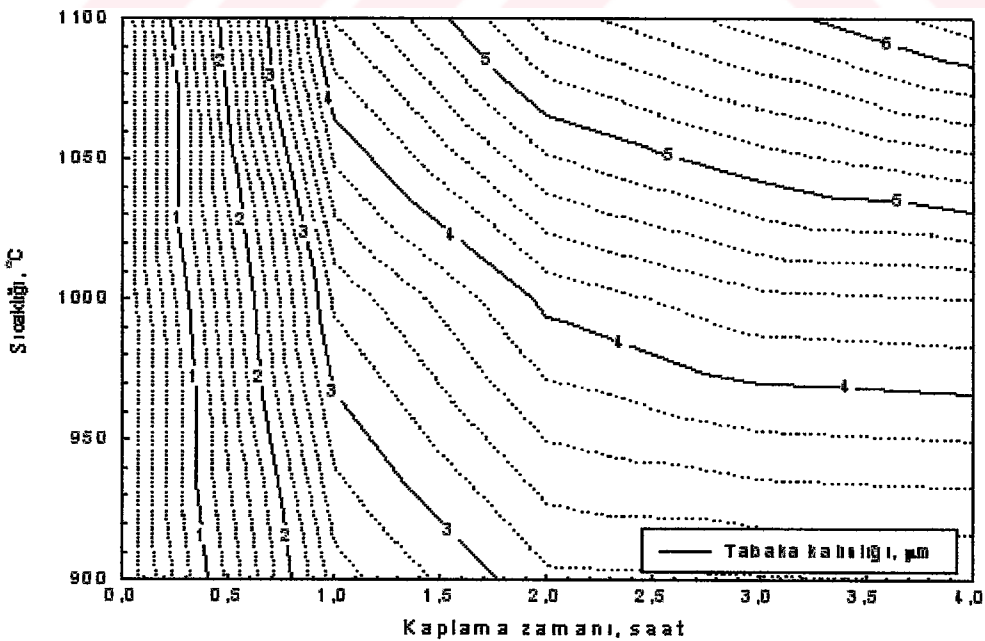


Şekil 7.26 900 – 1000 ve 1100 °C’ de TiN kaplama işlemine tabi tutulmuş AISI M2 çeliğinin kaplama zamanına bağlı olarak tabaka kalınlığı değişimi

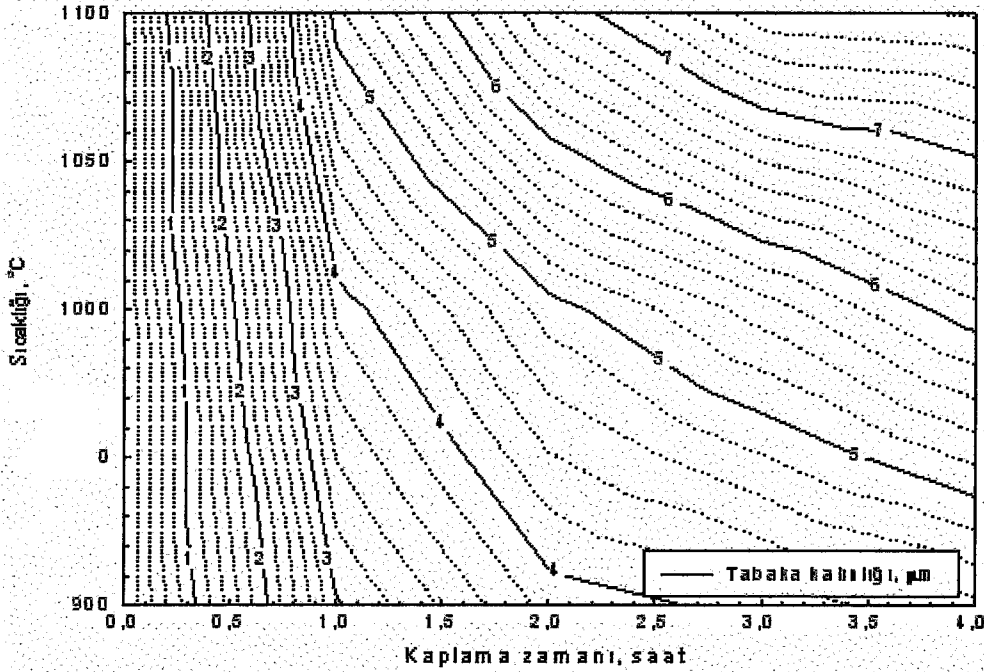
TiN kaplanmış AISI 1010 ve AISI M2 numunelerin farklı bölgelerinde yapılan incelemeler ve ölçümlerde, tabaka kalınlıklarının sıcaklık ve süreye bağlı olarak artış gösterdiği tespit edilmiştir. Difüzyon kontrollü sementasyon, karbürizasyon, nitrasyon ve TiN kaplama işlemlerinde zaman ve sıcaklığa bağlı olarak, tabaka kalınlığının artması beklenen bir sonuçtur [29]. Ayrıca matris içerisinde bulunan alaşım elementleri de TiN tabaka kalınlıklarını etkilemektedir.

Zaman ve sıcaklığa bağlı olarak AISI 1010 ve AISI M2 çeliklerinin yüzeyinde oluşan TiN tabakalarının tabaka kalınlıkları sırasıyla 2,50-6,32 μm ve 2,97-7,82 μm arasında değişmektedir.

Şekil 7.27-7.28' de sırasıyla AISI 1010 ve AISI M2 çelikleri için kaplama zamanı ve sıcaklığına bağlı olarak tabaka kalınlığının değişimi gösteren bir kontur diyagramdır. Bu diyagramlar sayesinde 575 °C' de 2 saat süre ile nitrürlenmiş AISI 1010 ve AISI M2 çeliklerinin yüzeylerinde oluşacak TiN tabakasının kalınlığını önceden tespit etmek mümkündür. Örneğin: Şekil 7.40' da AISI M2 çeliği için 4 μm kalınlığında bir kaplama tabakası elde etmek için 1100 °C' de yaklaşık 1 saat süre gerekirken, 7 μm kalınlığındaki kaplama tabakasını elde etmek için ise aynı sıcaklıkta 2 saat, 15 dakika bekletilmesi gerekmektedir.



Şekil 7.27 TiN kaplama işlemine tabi tutulmuş AISI 1010 çeliğinin sıcaklığa ve kaplama zamanına bağlı olarak tabaka kalınlığı değişimi



Şekil 7.28 TiN kaplama işlemine tabi tutulmuş AISI M2 çeliğinin sıcaklığa ve kaplama zamanına bağlı olarak tabaka kalınlığı değişimi

7.2. TiN Tabakasının Büyüme Kinetiği

AISI 1010 ve AISI M2 çelik numunelerde TiN kaplama süresi ve sıcaklığına bağlı olarak elde edilen tabaka kalınlıkları Tablo 7.1-7.2' de verilmektedir. Değişik özelliklerdeki bu çelik çiftinin yüzeylerinde oluşan TiN tabaka kalınlıklarındaki değişim, alaşım elementlerinin miktarına bağlı olarak farklılık göstermektedir.

TiN tabaka kalınlığının kinetik açıdan incelenmesi sırasında, difüzyon katsayısının (D) hesaplanması için Eşitlik 7.1' den faydalanılmıştır [27].

$$d^2 = 2 D t \quad (7.1)$$

Burada;

d = Tabaka kalınlığı (mm)

t = Zaman (sn)

D= Difüzyon katsayısı (mm²/sn)' nı göstermektedir.

Aktivasyon enerjisi (Q) ve frekans faktörü (D_0) değerlerinin belirlenmesinde ise Eşitlik 7.2' den yararlanılmıştır [27].

$$D = D_0 \exp(-Q/RT) \quad (7.2)$$

D = Difüzyon katsayısı (mm^2/sn)

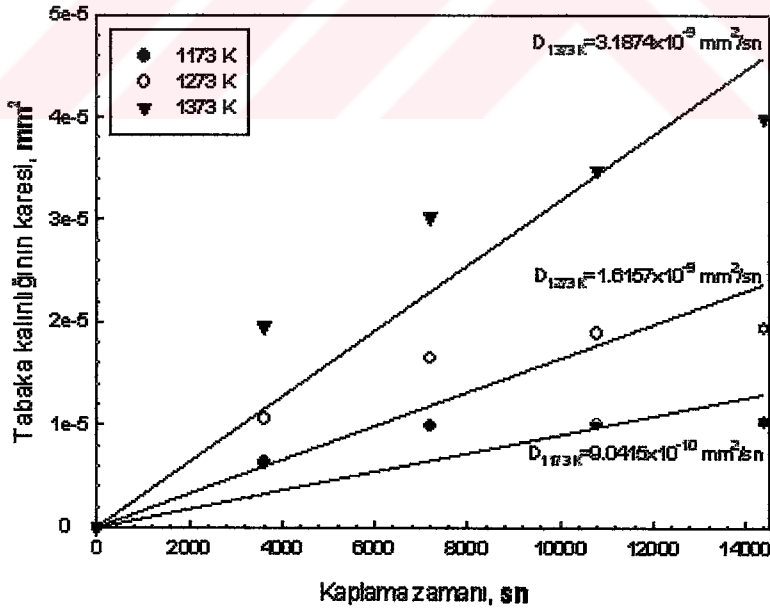
D_0 = Frekans faktörü (mm^2/sn)

Q = Aktivasyon enerjisi (J/mol.)

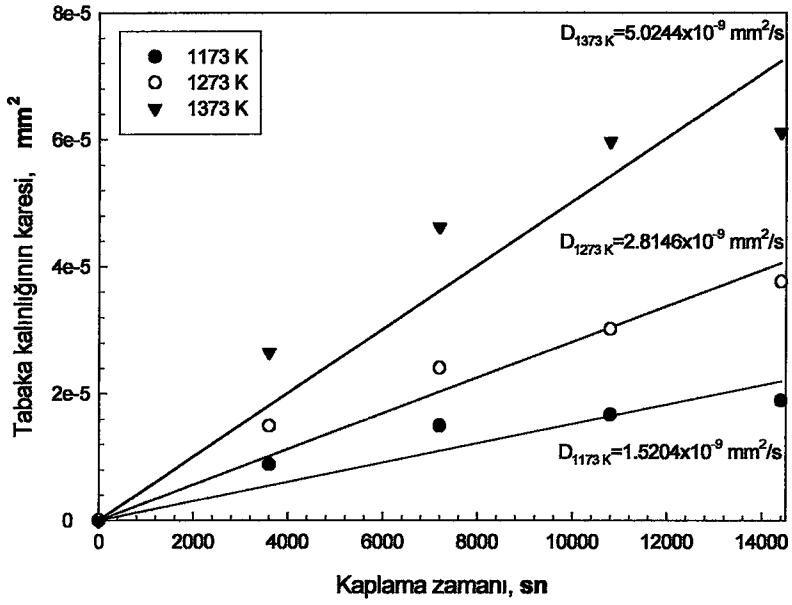
T = Sıcaklık ($^{\circ}\text{K}$)

R = Gaz sabiti (8.31) (J/mol.K)' ni göstermektedir.

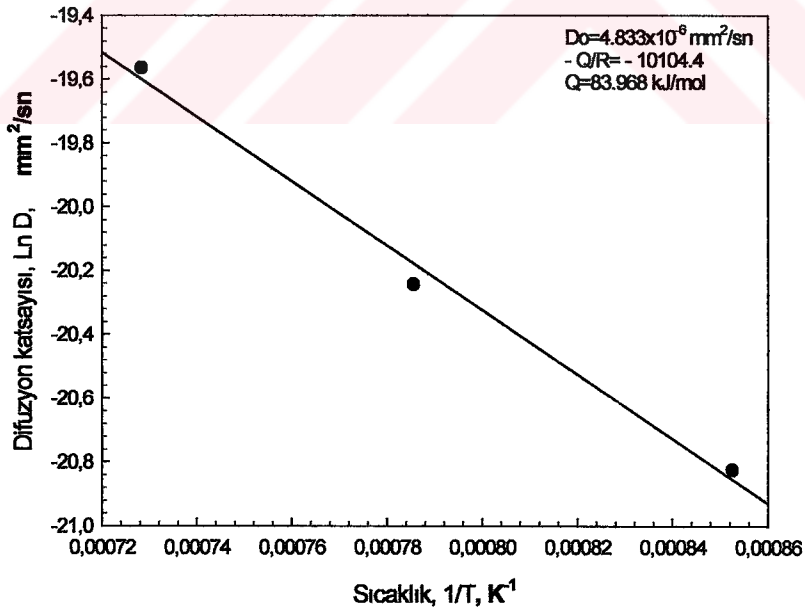
Hesaplamalar sonucunda TiN kaplanmış AISI 1010 ve AISI M2 çelik numuneler için elde edilen difüzyon katsayısı, difüzyon sabiti ve aktivasyon enerjisi değerleri Tablo 7.3' de verilmektedir. Ayrıca; Şekil 7.29-7.30' de difüzyon katsayıları, Şekil 7.31-7.32' de ise aktivasyon enerjileri grafik halinde verilmektedir.



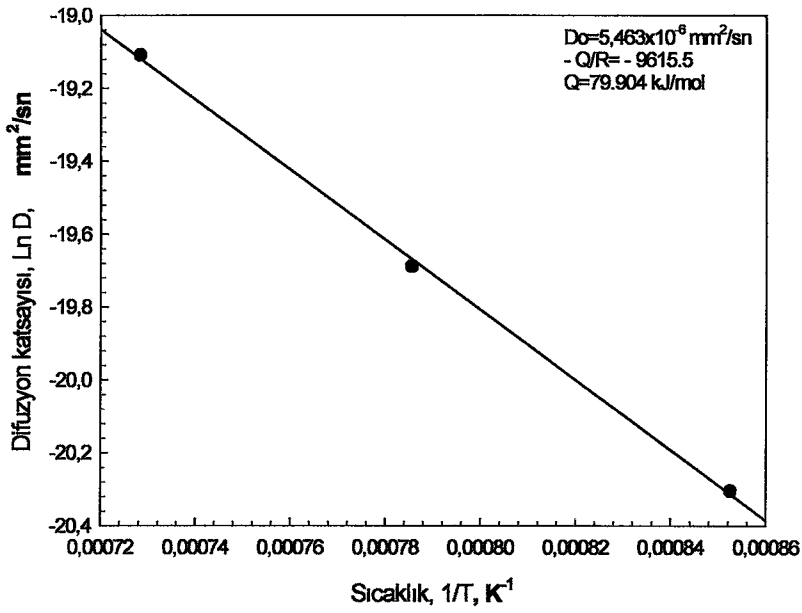
Şekil 7.29 AISI 1010 çeliğinin yüzeyinde oluşan TiN tabaka kalınlığının karesinin zamana bağlı olarak değişimi



Şekil 7.30 AISI M2 çeliğinin yüzeyinde oluşan TiN tabaka kalınlığının karesinin zamana bağlı olarak değişimi



Şekil 7.31 TiN kaplanmış AISI 1010 çeliğinin difüzyon katsayısının işlem sıcaklığına bağlı olarak değişimi



Şekil 7.32 TiN kaplanmış AISI M2 çeliğinin difüzyon katsayısının işlem sıcaklığına bağlı olarak değişimi

Tablo 7.3 AISI 1010 ve AISI M2 çelik numunelerin difüzyon katsayıları, difüzyon sabitleri ve aktivasyon enerjileri

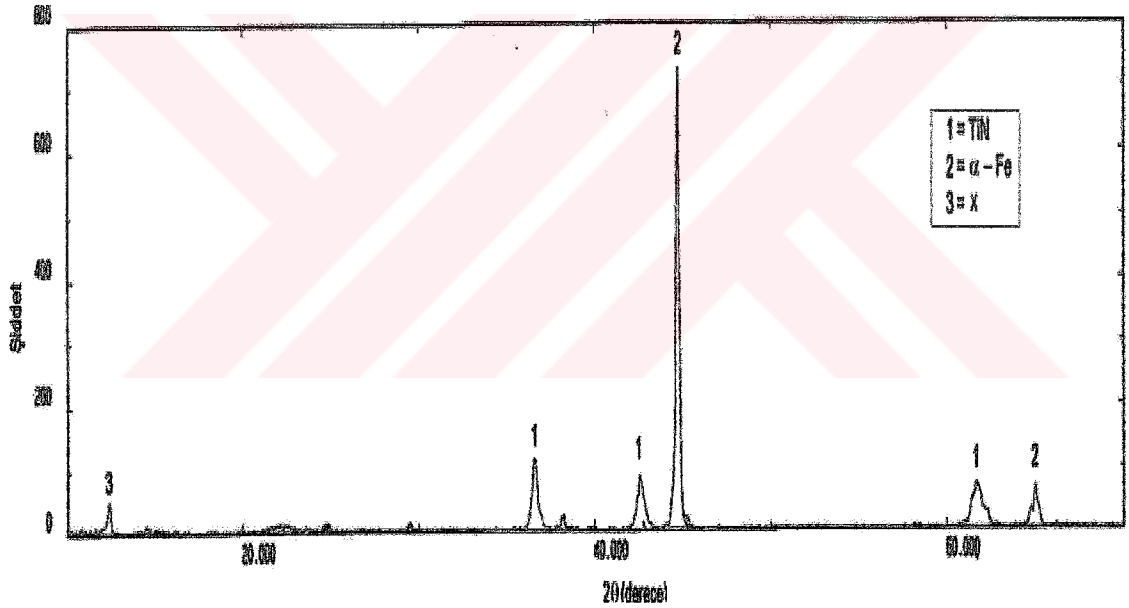
Özellik	AISI 1010			AISI M2		
	900 °C	1000 °C	1100 °C	900 °C	1000 °C	1100 °C
Difüzyon Katsayısı (mm ² /sn)	1.52x10 ⁻⁹	2.81x10 ⁻⁹	5.02x10 ⁻⁹	9.04x10 ⁻¹⁰	1.61x10 ⁻⁹	3.18x10 ⁻⁹
Difüzyon sabiti (mm ² /sn)	4.833x10 ⁻⁶			5.453x10 ⁻⁶		
Aktivasyon Enerjisi (J/mol)	83.966			79.904		

Elde edilen bu kinetik verilerden (D, Q ve D₀) faydalanılarak, pratik açıdan verilen bir sıcaklık ve süre için tabaka kalınlıkları önceden belirlenebilmektedir.

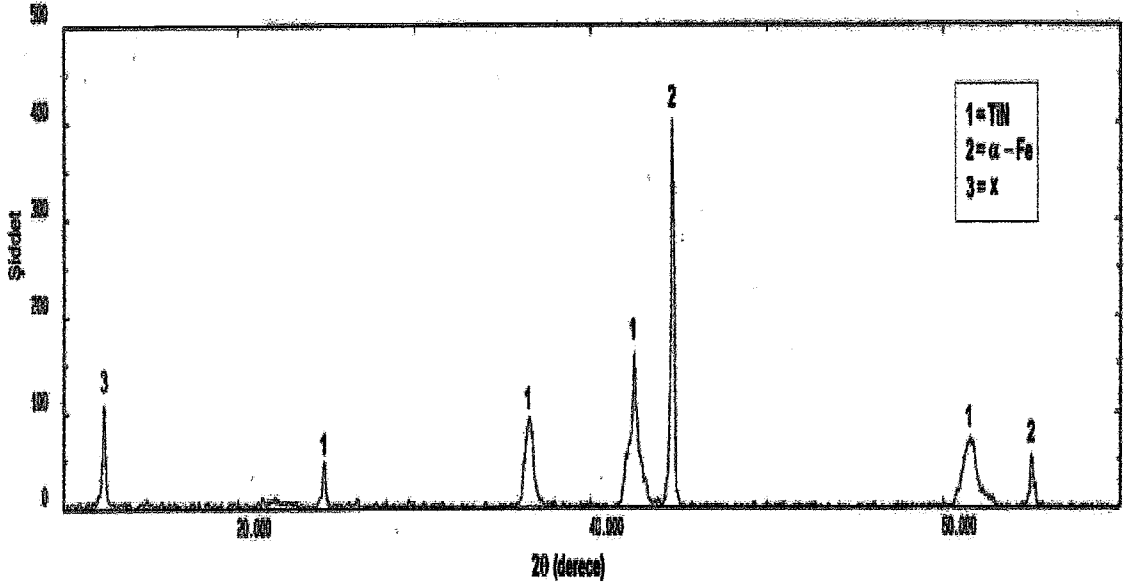
Yapılan kinetik çalışmada, kullanılan AISI 1010 ve AISI M2 çelikleri ve banyo bileşimleri etkili olmaktadır. Bozkurt [27]' un çelikler üzerinde yapmış olduğu çalışmalarda da banyo ve malzeme bileşiminin kinetik değerler üzerinde etkili olduğu belirtilmiştir.

7.3. X-Işınlari Difraksiyon Analizi

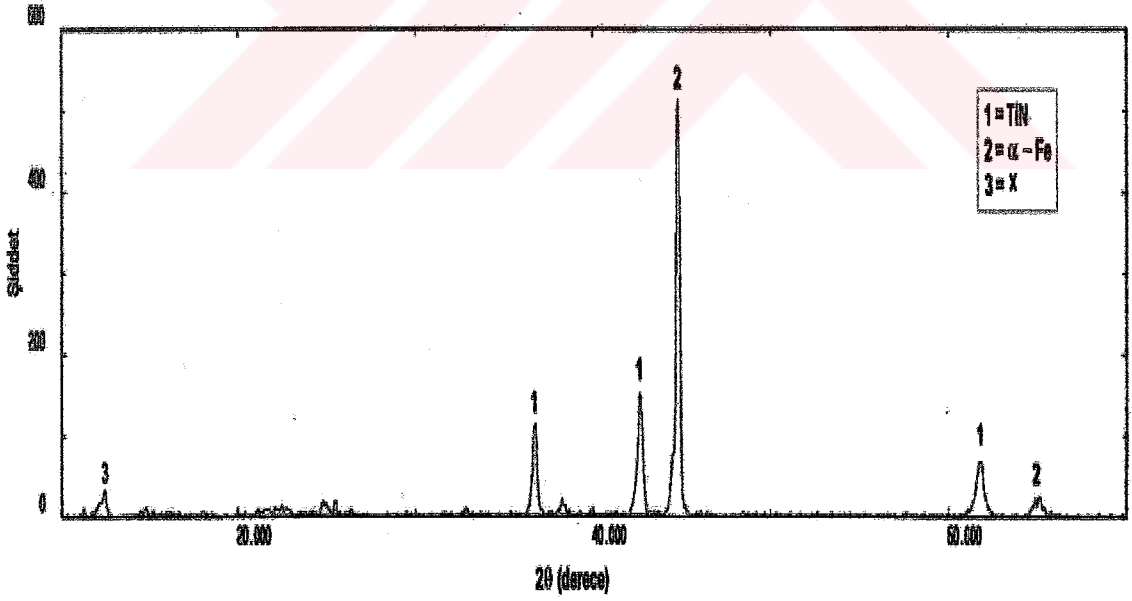
Kaplama tabakasında oluşan fazları tespit edebilmek için x-ışınları difraksiyon analiz yöntemi kullanılmıştır. AISI 1010 ve AISI M2 çelik numunelerin 900 °C - 1000 °C ve 1100 °C sıcaklıklarda ve 2 saat süre ile TiN kaplama işlemine tabi tutulmaları sonucunda elde edilen kaplama tabakalarında oluşan fazlar, Rigaku Dimaks 2200 marka x-ışınları difraktometresi kullanılarak saptanmaya çalışılmıştır. Analiz sırasında Cu K α ışın demeti kullanılmıştır. 900 °C - 1000 °C ve 1100 °C sıcaklıklarda ve 2 saat süre ile TiN kaplama işlemine tabi tutulan AISI 1010 ve AISI M2 çelik numunelerin difraksiyon paternleri Şekil 7.33-7.38' de sırası ile verilmiştir.



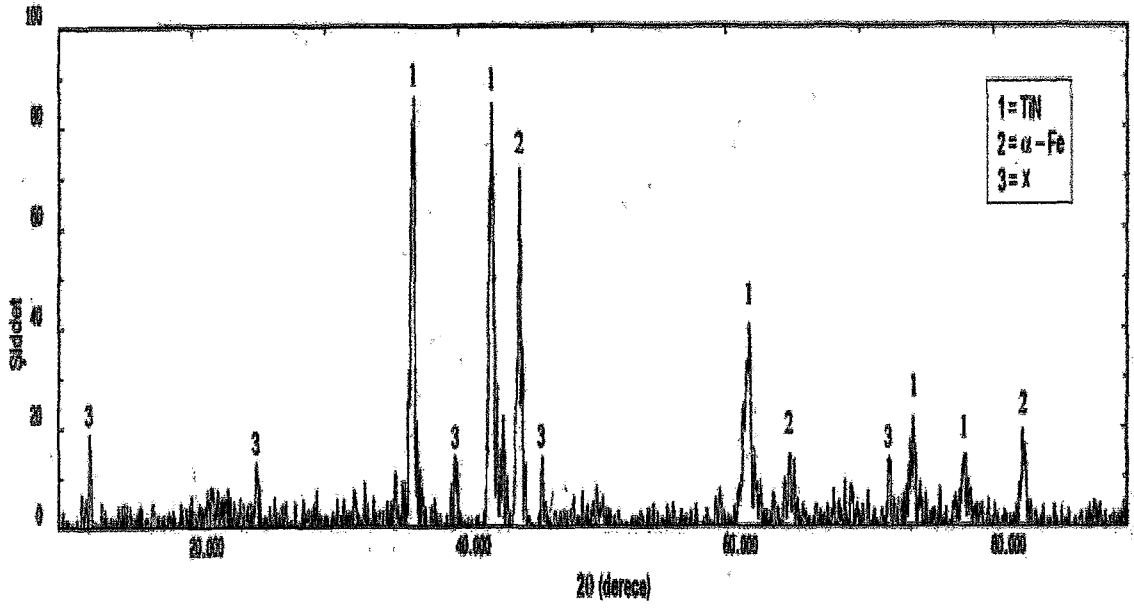
Şekil 7.33 900 °C sıcaklıkta 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numunenin x-ışınları difraksiyon paterni



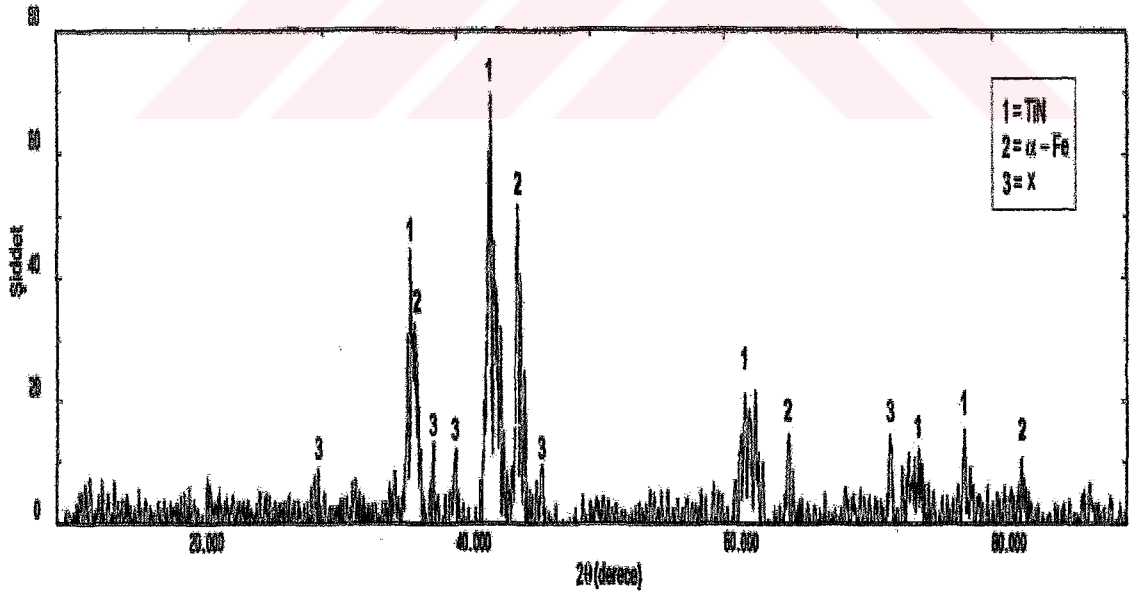
Şekil 7.34 1000 °C sıcaklıkta 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numunenin x-ışınları difraksiyon paterni



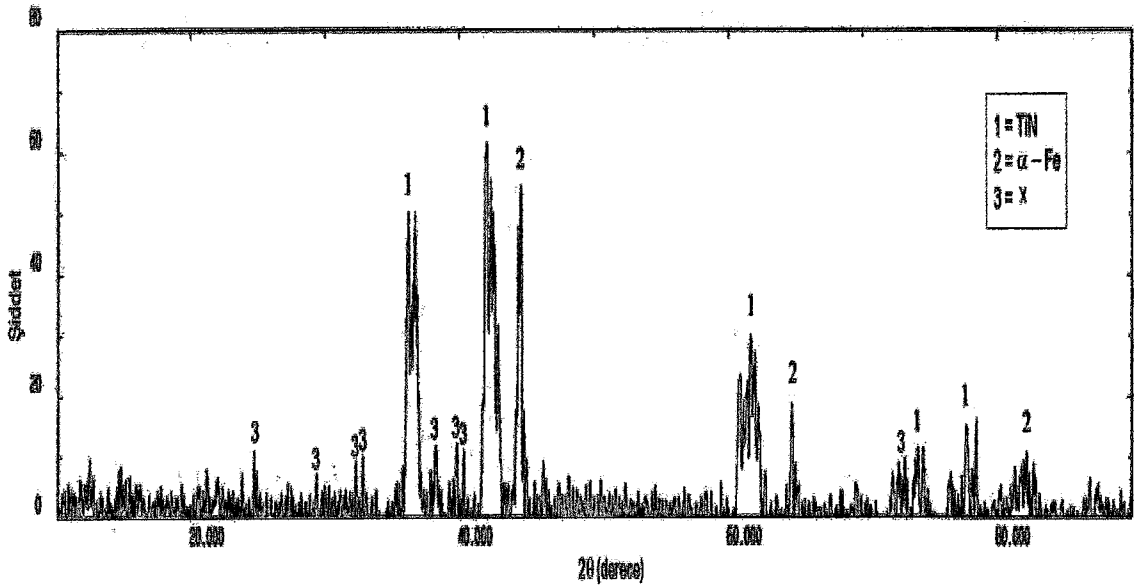
Şekil 7.35 1100 °C sıcaklıkta 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numunenin x-ışınları difraksiyon paterni



Şekil 7.36 900 °C sıcaklıkta 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI M2 çelik numunenin x-ışınları difraksiyon paterni



Şekil 7.37 1000 °C sıcaklıkta 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI M2 çelik numunenin x-ışınları difraksiyon paterni

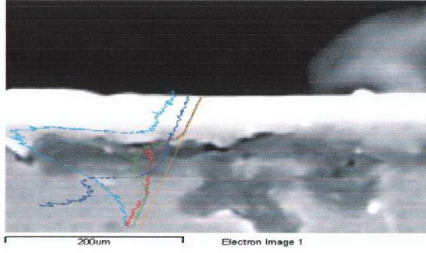


Şekil 7.38 1100 °C sıcaklıkta 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI M2 çelik numunenin x-ışınları difraksiyon paterni

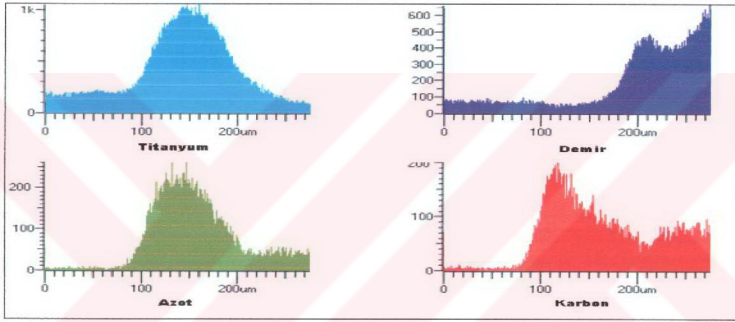
X-ışınları difraksiyon analizleri sonucunda TiN kaplanmış AISI 1010 ve AISI M2 çeliklerinin yüzeylerinde oluşan kaplama tabakaları tek fazlı (TiN) olarak tespit edilmiştir (Şekil 7.33-7.38).

7.4. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Elementer Analiz İncelemesi

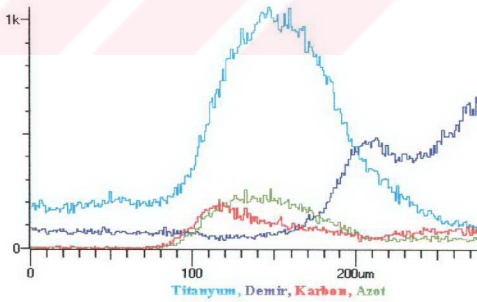
TiN kaplanmış AISI 1010 ve AISI M2 çelik numunelerin metalografik olarak incelenen yüzeylerinin mikro yapı görüntüleri, taramalı elektron mikroskobunda 1500 büyütme ve 15 kV enerjide ikincil elektronlardan faydalanılarak elde edilmiştir (Şekil 7.13-7.18). Ayrıca 900 °C - 1000 °C ve 1100 °C sıcaklıklarda 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI 1010 ve AISI M2 çelik numunelerin lineer elementer analizleri TiN tabakası boyunca gerçekleştirilmiş (Şekil 7.39-7.44) ve TiN tabakasının bazı bölgelerinden noktasal analizleri alınarak kaplama tabakası içerisinde bulunan elementler incelenmiştir (Şekil 7.45-7.50).



(a)

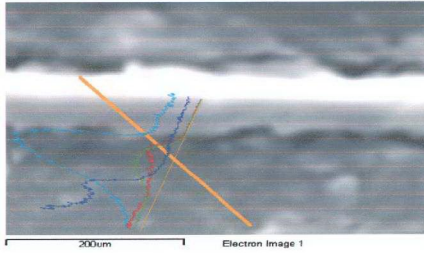


(b)

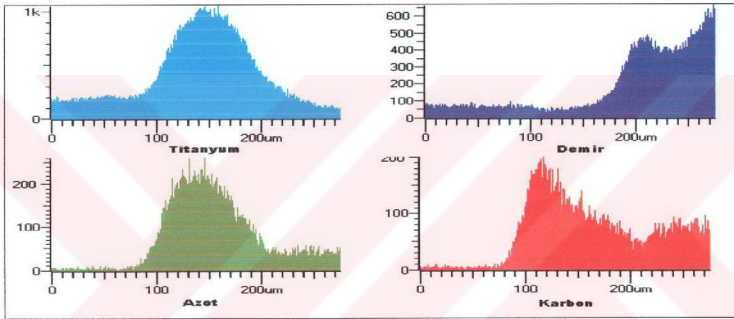


(c)

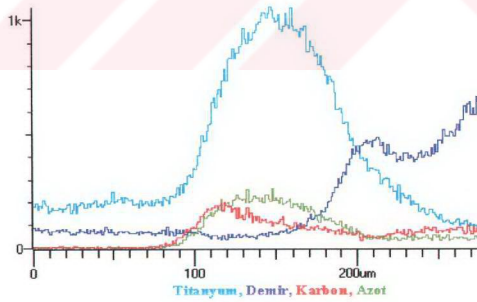
Şekil 7.39 900 °C sıcaklıkta 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numunenin kaplama tabakasının elementer analiz dağılımı. (a) SEM mikroyapı görüntüsü üzerinde linear analiz sonuçları, (b) ve (c) Elementlerin linear analiz dağılımları



(a)

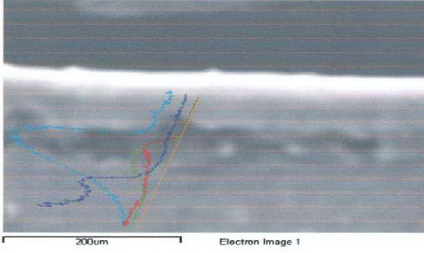


(b)

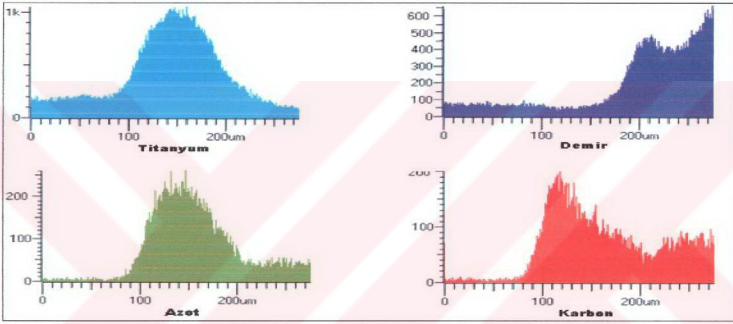


(c)

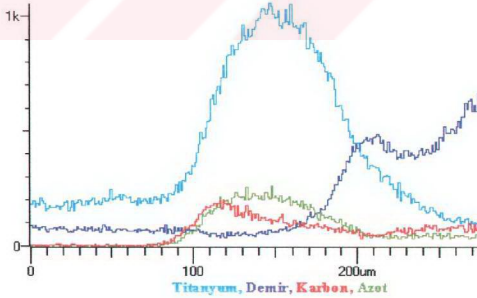
Şekil 7.40 1000 °C sıcaklıkta 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numunenin kaplama tabakasının elementer analiz dağılımı. (a) SEM mikroyapı görüntüsü üzerinde lineer analiz sonuçları, (b) ve (c) Elementlerin lineer analiz dağılımları



(a)

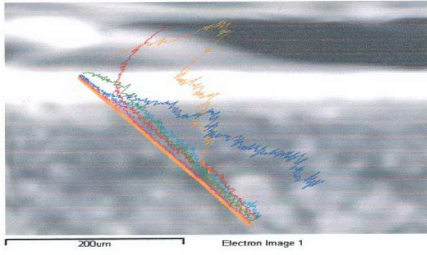


(b)

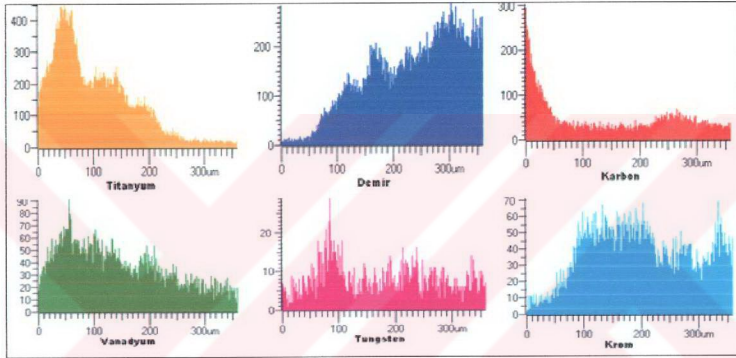


(c)

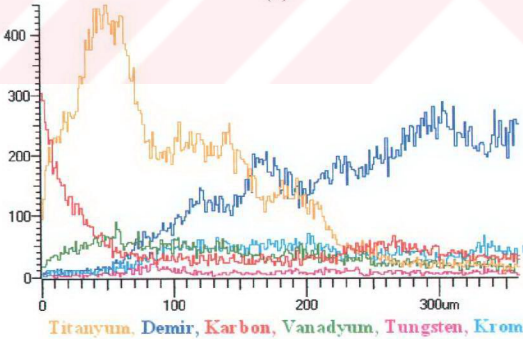
Şekil 7.41 1100 °C sıcaklıkta 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numunenin kaplama tabakasının elementer analiz dağılımı. (a) SEM mikroyapı görüntüsü üzerinde lineer analiz sonuçları, (b) ve (c) Elementlerin lineer analiz dağılımları



(a)

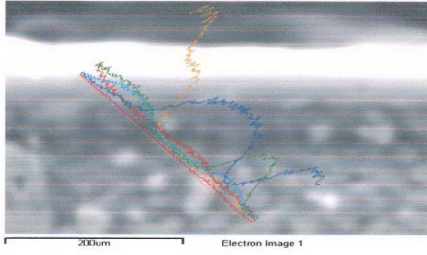


(b)

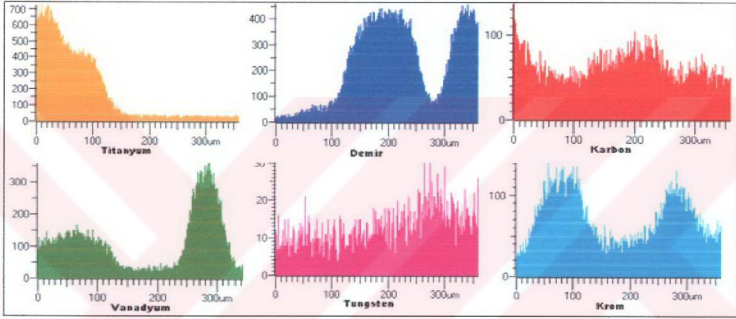


(c)

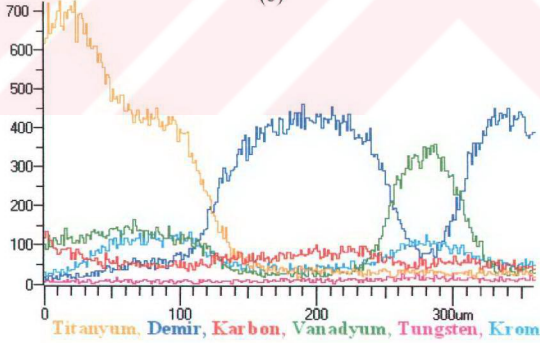
Şekil 7.42 900 °C sıcaklıkta 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI M2 çelik numunenin kaplama tabakasının elementer analiz dağılımı. (a) SEM mikroyapı görüntüsü üzerinde lineer analiz sonuçları, (b) ve (c) Elementlerin lineer analiz dağılımları



(a)

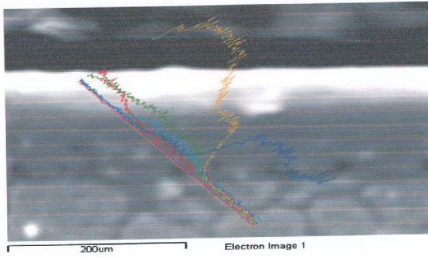


(b)

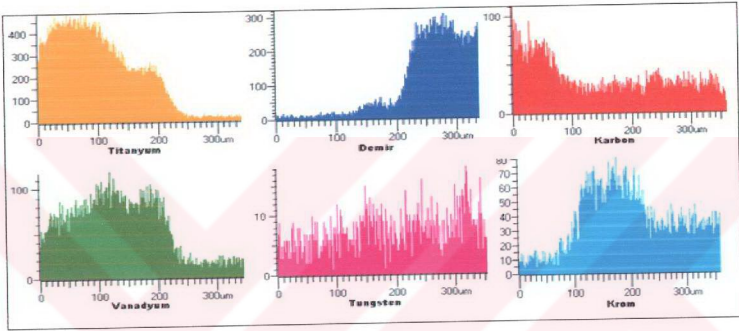


(c)

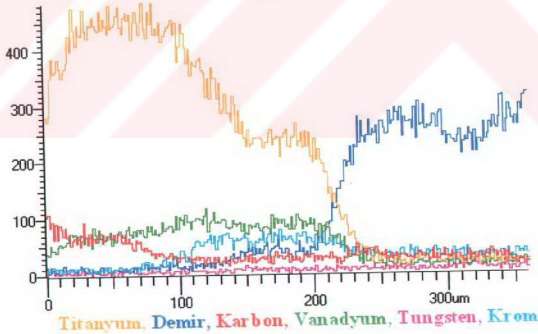
Şekil 7.43 1000 °C sıcaklıkta 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numunenin kaplama tabakasının elementer analiz dağılımı. (a) SEM mikroyapı görüntüsü üzerinde lineer analiz sonuçları, (b) ve (c) Elementlerin lineer analiz dağılımları



(a)

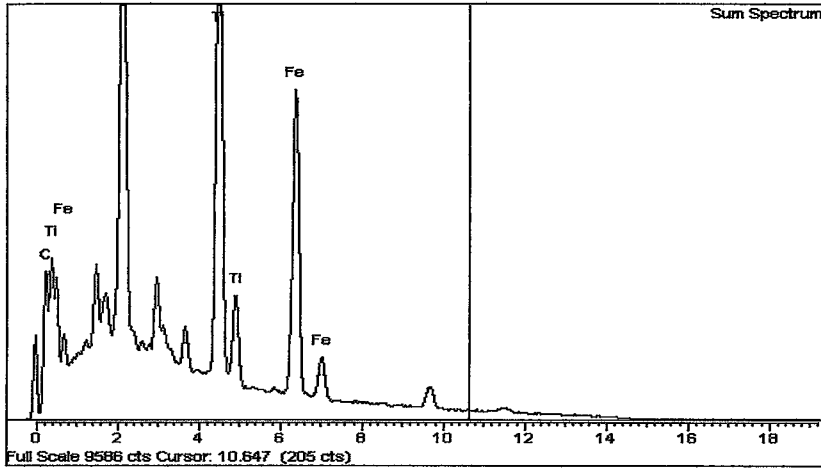


(b)

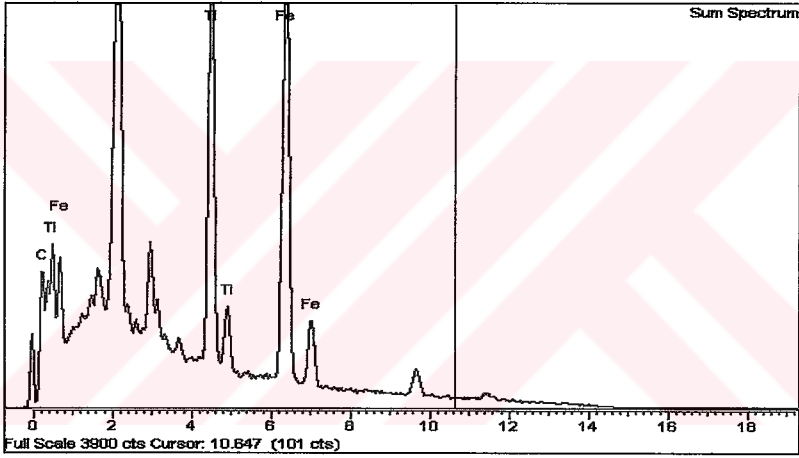


(c)

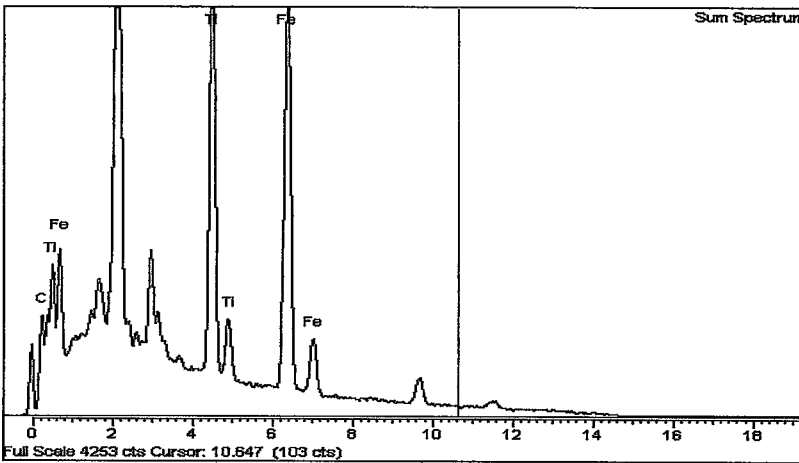
Şekil 7.44 1100 °C sıcaklıkta 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numunenin kaplama tabakasının elementer analiz dağılımı. (a) SEM mikroyapı görüntüsü üzerinde lineer analiz sonuçları, (b) ve (c) Elementlerin lineer analiz dağılımları



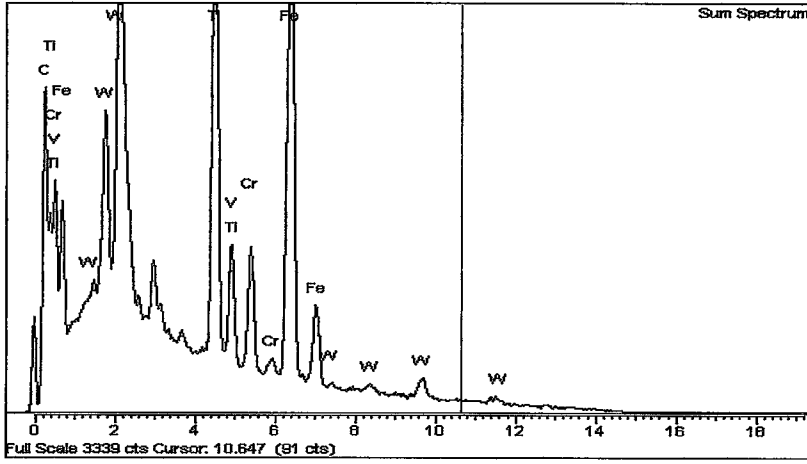
Şekil 7.45 900 °C sıcaklıkta 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numunenin kaplama tabakasının noktasal analiz diyagramı



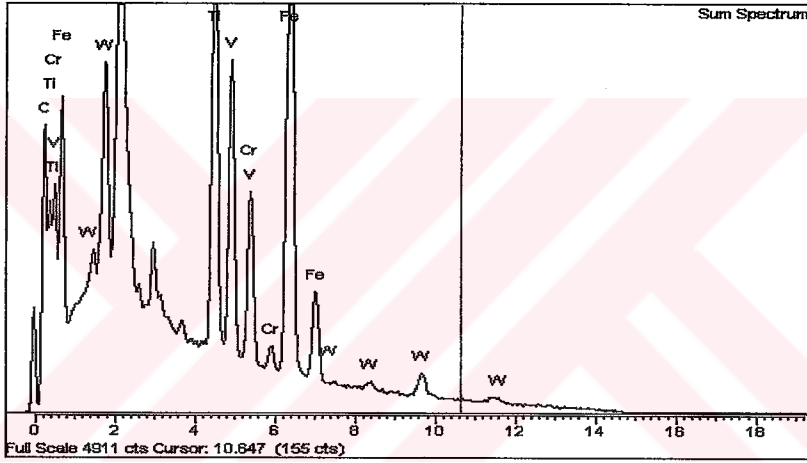
Şekil 7.46 1000 °C sıcaklıkta 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numunenin kaplama tabakasının noktasal analiz diyagramı



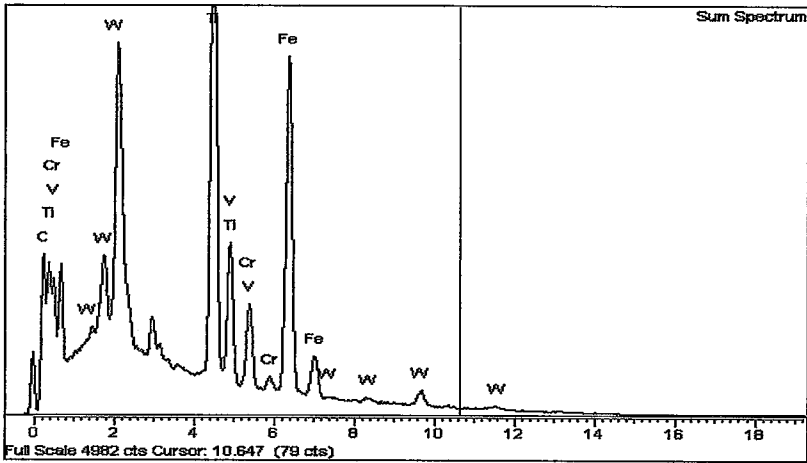
Şekil 7.47 1100 °C sıcaklıkta 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numunenin kaplama tabakasının noktasal analiz diyagramı



Şekil 7.48 900 °C sıcaklıkta 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI M2 çelik numunenin kaplama tabakasının noktasal analiz diyagramı



Şekil 7.49 1000 °C sıcaklıkta 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI M2 çelik numunenin kaplama tabakasının noktasal analiz diyagramı



Şekil 7.50 1100 °C sıcaklıkta 2 saat süre ile TiN kaplanmış AISI M2 çelik numunenin kaplama tabakasının noktasal analiz diyagramı

Kaplama tabakalarında Ti ve N' un eşit olarak dağıldığı görülmektedir. Kaplama tabakasının hemen altında N miktarı Ti' a göre azalmaktadır. Fakat kaplama tabakasına göre Ti konsantrasyonu yüksek seviyededir (geçiş bölgesi) matriste ise Ti ve N miktarı çok düşük seviyededir. Atomik yüzde olarak yüzeyde Ti ve N oranları TiN' in olduğunu göstermektedir. Geçiş bölgesinde serbest halde bulunan (katı eriyik) Ti ve N' un şiddeti yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi muhtemelen katı eriyik olarak bulunan Ti ve N atomlarından alınan sinyallerden kaynaklanmaktadır.

7.5. Sertlik Ölçümleri

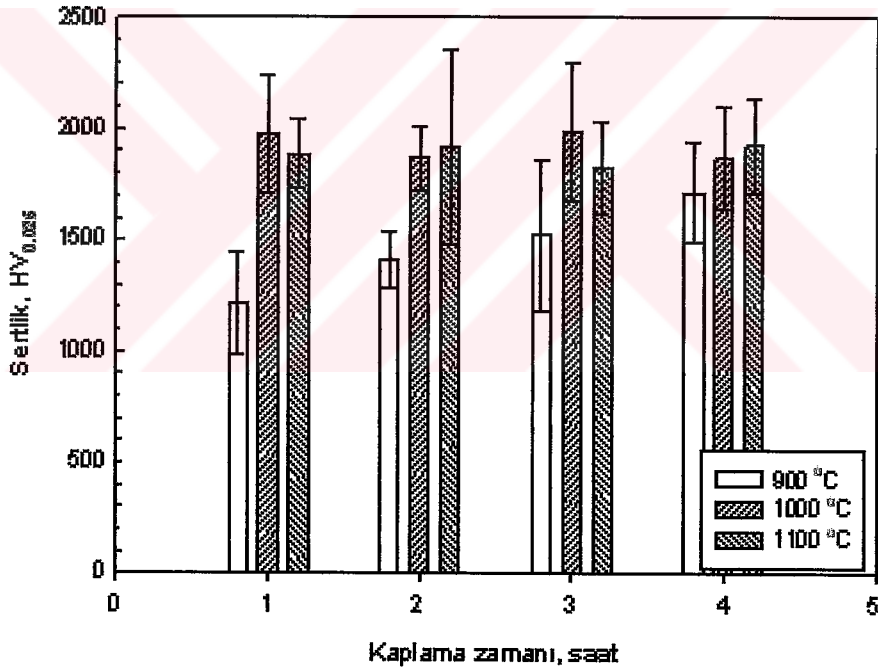
AISI 1010 ve AISI M2 çelik numunelerin, TiN kaplama sonrasında tabaka kalınlıklarının ince olması sebebiyle sıra sertlik ölçümü yapılamamış, sadece kaplama yüzeyinden ve her bir numune için en az beş farklı ölçüm yapılarak gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümleri SHIMADZU marka mikrosertlik cihazında Vickers sertlik ucu kullanılarak 25gr. yük altında gerçekleştirilmiştir. TiN kaplama süresi ve sıcaklığına bağlı olarak AISI 1010 ve AISI M2 çelik numunelerin yüzeylerinden ölçülen sertlik değerleri Tablo 7.4-7.5' de ve Şekil 7.51-7.52' de verilmektedir.

Tablo 7.4 AISI1010 çelik numunelerde TiN kaplama süresi ve sıcaklığına bağlı olarak elde edilen sertlik değerleri

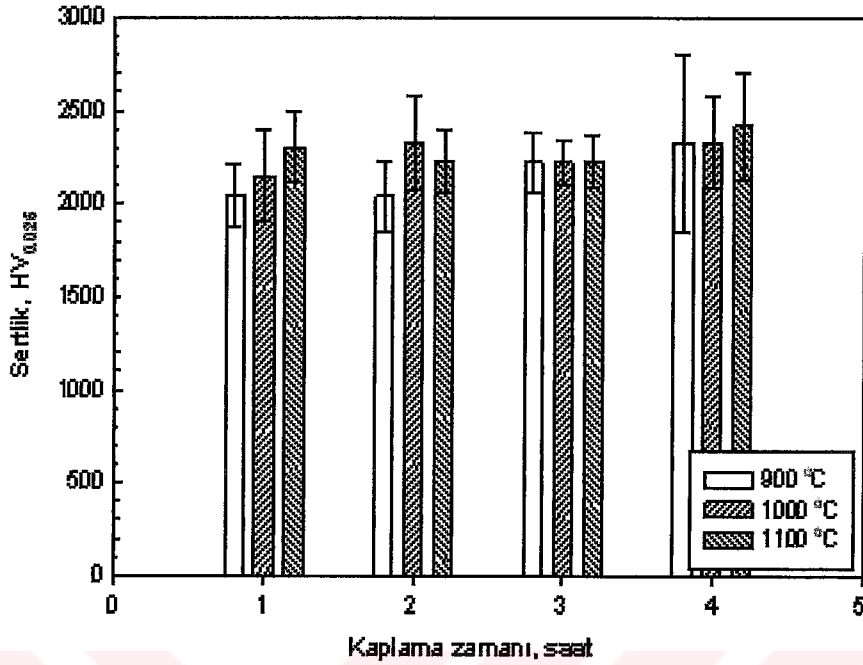
TiN Kaplama Sıcaklığı (°C)	TiN Kaplama Süresi (Saat)	Sertlik Değeri (HV _{0,025})
900	1	1214±230
	2	1413±124
	3	1521±344
	4	1714±229
1000	1	1979±264
	2	1869±144
	3	1987±315
	4	1869±227
1100	1	1884±154
	2	1913±437
	3	1825±206
	4	1925±210

Tablo 7.5 AISI M2 çelik numunelerde TiN kaplama süresi ve sıcaklığına bağlı olarak elde edilen sertlik değerleri

TiN Kaplama Sıcaklığı (°C)	TiN Kaplama Süresi (Saat)	Sertlik Değeri (HV _{0,025})
900	1	2050±169
	2	2040±186
	3	2221±162
	4	2328±477
1000	1	2148±245
	2	2328±254
	3	2221±123
	4	2328±247
1100	1	2299±190
	2	2228±170
	3	2228±141
	4	2418±291



Şekil 7.51 900 – 1000 ve 1100 °C’ de TiN kaplama işlemine tabi tutulmuş AISI 1010 çeliğinin kaplama zamanına bağlı olarak sertlik dağılımı



Şekil 7.52 900 – 1000 ve 1100 °C’ de TiN kaplama işlemine tabi tutulmuş AISI M2 çeliğinin kaplama zamanına bağlı olarak sertlik dağılımı

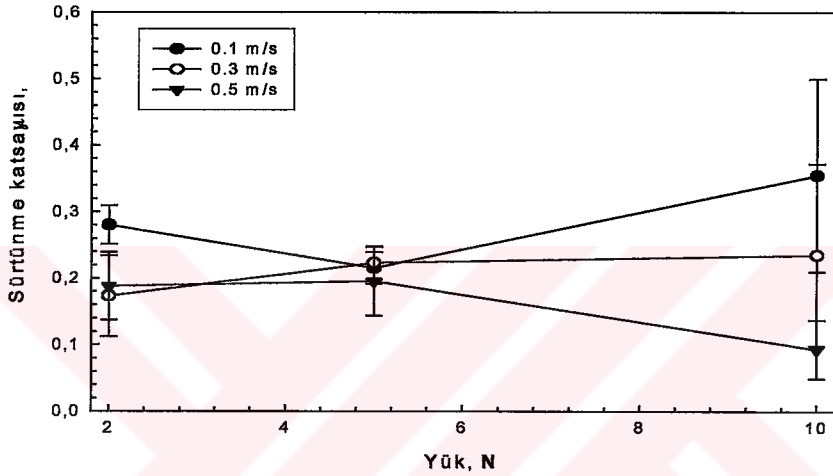
Tablo ve grafiklerden görüldüğü gibi AISI 1010 ve AISI M2 çeliklerinin yüzeyinde oluşan TiN tabakasının sertlik değerleri zaman ve sıcaklığa bağlı olarak sırayla 1214HV_{0,025}-1914HV_{0,025} ve 2040HV_{0,025}-2418HV_{0,025} arasında değişmektedir. Bu sertlik değerleri sementasyon, nitrasyon ve sert krom kaplamadan çok daha yüksektir.

7.6. Aşınma Özellikleri

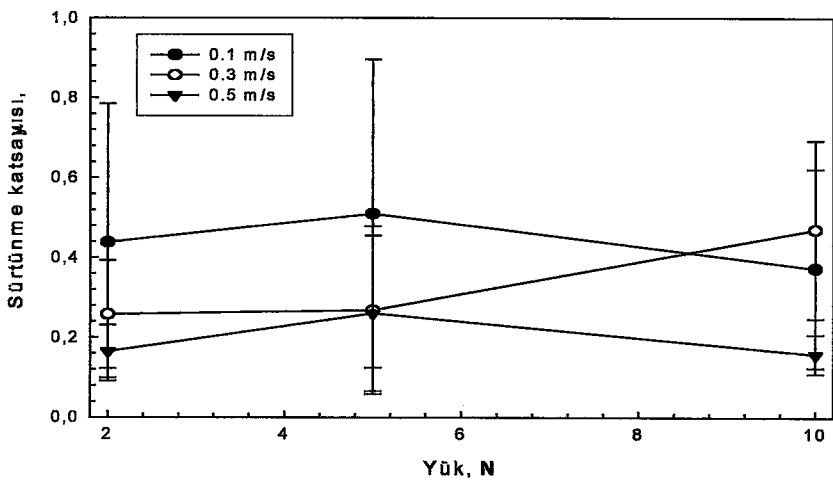
Aşınma deneyleri ASTM G – 99 standardına uygun olan tribometre cihazında gerçekleştirilmiştir. Deneyler Ball-on-Disk metodu kullanılarak yapılmıştır. Deneylerde bilye olarak 9,5 mm çapında safir ve AISI M50 bilyeler kullanılmıştır. Aşınma deneyleri sırasında numuneler; 2N, 5N ve 10 N yük altında ayrı ayrı 80, 160, 240 ve 320 metre mesafelerde 0,1 – 0,3 ve 0,5 m/s hızlarda gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyleri yapılırken sürtünme katsayıları tribometre cihazına bağlı özel bir sistemle bilgisayara aktarılarak elde edilmiştir. Aşınma deneyleri sonrasında, oluşan aşınma izlerinin mikroyapıları OLYMPUS B071 marka optik mikroskop ile

çekilmiştir. Ayrıca aşınma izleri ölçümleri OLYMPUS B071 marka optik mikroskobun bünyesinde bulunan optik mikrometre ile gerçekleştirilmiştir.

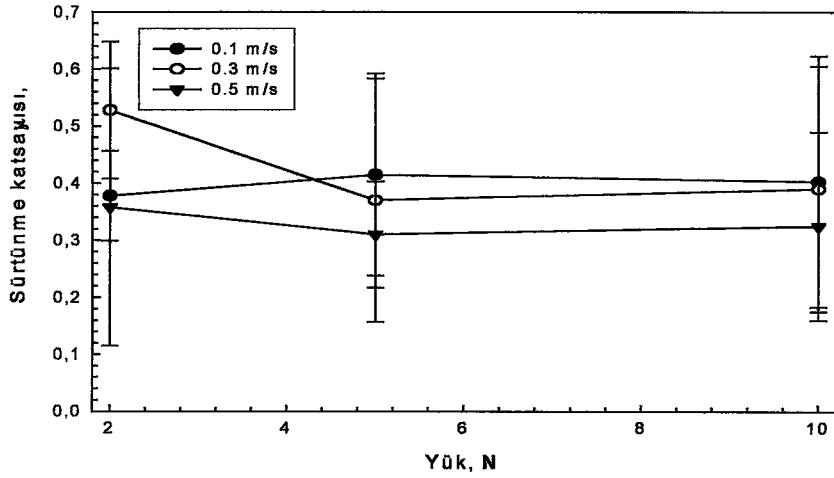
TiN kaplanmış AISI 1010 ve AISI M2 çelik numuneler ile safir ve AISI M50 aşındırıcı bilyeler arasındaki sürtünme katsayıları uygulanan yüklere ve hızlara bağlı olarak Şekil 7.53-7.56' da verilmiştir. Aşınma deneyleri sırasında ölçülen yanıl kuvvetlerden yararlanılarak, uygulanan yüklere göre sürtünme katsayılarındaki değişim Şekil 7.57-7.60' da gösterilmiştir.



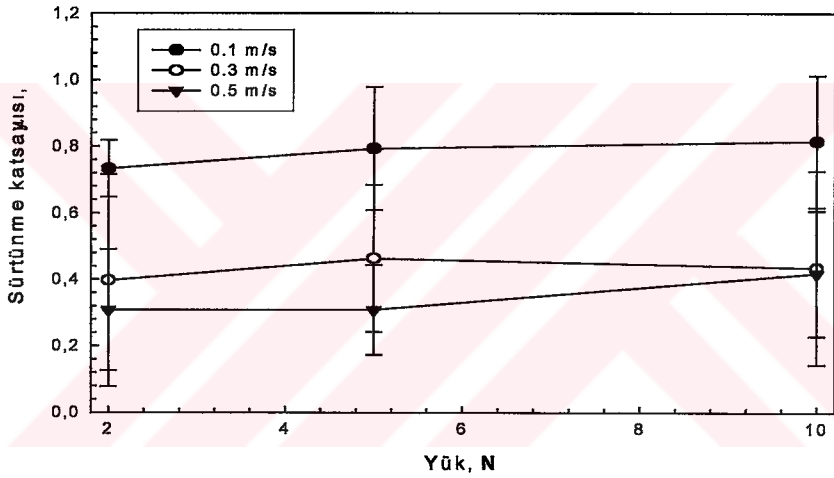
Şekil 7.53 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile safir aşındırıcı bilye arasındaki sürtünme katsayılarının uygulanan yüklere ve hızlara bağlı olarak değişimi



Şekil 7.54 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile AISI M50 aşındırıcı bilye arasındaki sürtünme katsayılarının uygulanan yüklere ve hızlara bağlı olarak değişimi



Şekil 7.55 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile safir aşındırıcı bilye arasındaki sürtünme katsayılarının uygulanan yüklere ve hızlara bağlı olarak değişimi



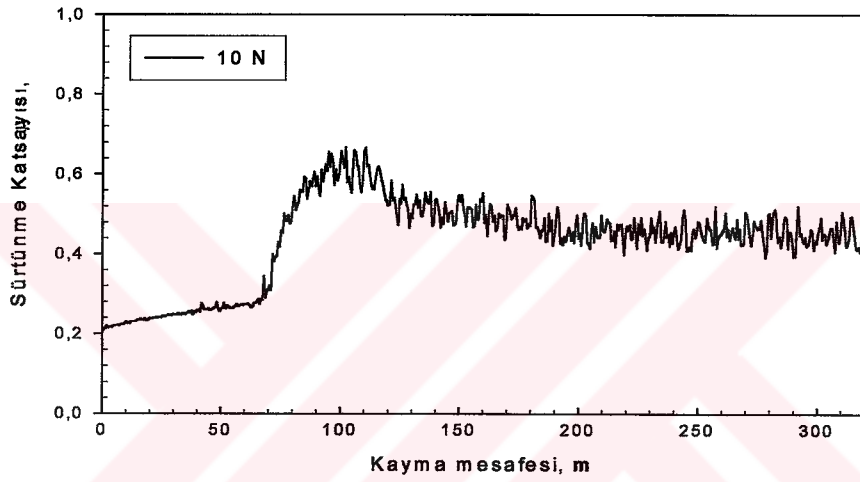
Şekil 7.56 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile AISI M50 bilye arasındaki sürtünme katsayılarının uygulanan yüklere ve hızlara bağlı olarak değişimi

Yapılan aşınma deneyleri sonucunda elde edilen sürtünme katsayıları incelendiğinde TiN kaplanmış AISI 1010 çeliği ile AISI M50 bilye arasındaki sürtünme katsayısı değerleri 0,16 ile 0,51 değerleri arasında olduğu görülmektedir. Aynı çelik ile safir bilye arasındaki sürtünme katsayısı değerleri ise 0,17 ile 0,36 arasındadır. Şekil 7.53-7.54' de görüldüğü gibi hız arttığında sürtünme katsayısı düşmektedir.

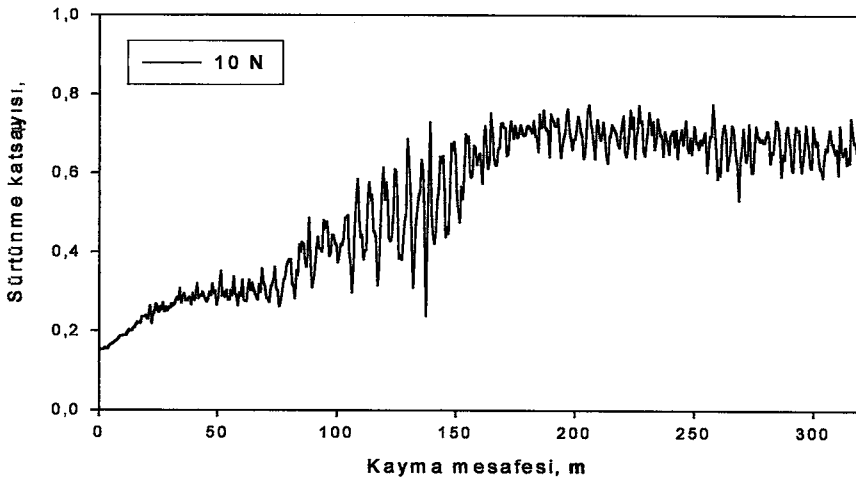
TiN kaplanmış AISI M2 çeliği ile AISI M50 bilye arasında yapılan aşınma deneyleri incelendiğinde sürtünme katsayısı değerleri 0,31 ile 0,82 değerleri arasında olduğu görülmektedir. Aynı çelik ile safir bilye arasındaki sürtünme katsayısı değerleri ise

0,31 ile 0,53 arasındadır. Şekil 7.55-7.56' da görüldüğü gibi hız arttığında sürtünme katsayısı düşmektedir.

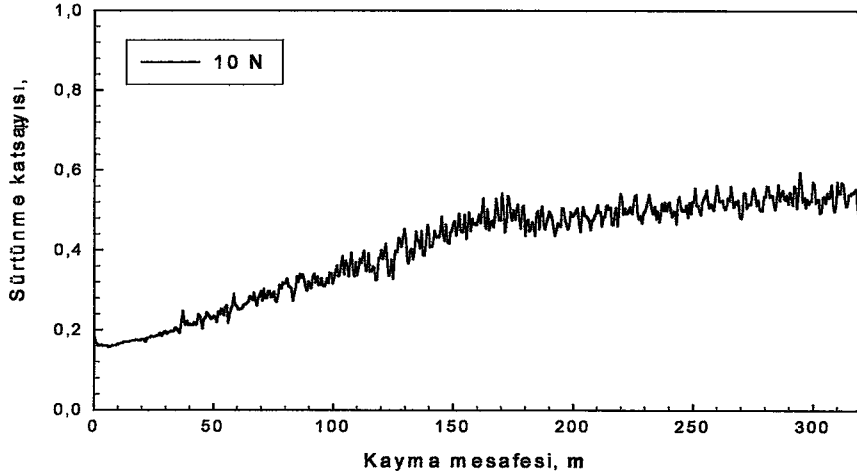
TiN kaplanmış her iki çelik türünün safir ve AISI M50 bilyelere karşı sürtünme katsayılarının hızla ters orantılı olduğu görülmektedir. Safir bilye ile yapılan aşınma deneyleri sonrasında TiN kaplanmış her iki çelik türü için elde edilen sürtünme katsayısı değerleri daha dar bir aralıkta seyrederken, AISI M50 bilye ile yapılan aşınma deneyleri sonrasında TiN kaplanmış her iki çelik türü için elde edilen sürtünme katsayısı değerleri daha geniş bir aralıkta seyretilmektedir.



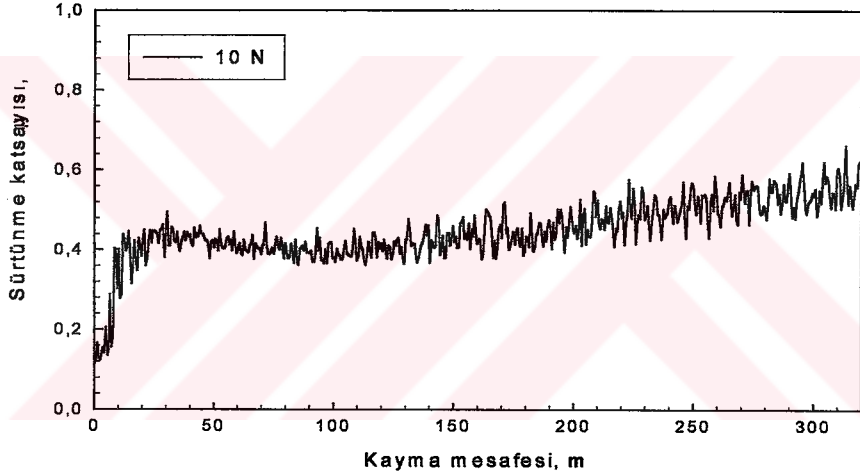
Şekil 7.57 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile safir bilye arasındaki 10N yük ve 0,1 m/s hızdaki sürtünme katsayısının değişimi



Şekil 7.58 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile AISI M50 bilye arasındaki 10N yük ve 0,1 m/s hızdaki sürtünme katsayısının değişimi



Şekil 7.59 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile AISI M50 bilye arasındaki 10N yük ve 0,1 m/s hızdaki sürtünme katsayısının değişimi



Şekil 7.60 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile safir bilye arasındaki 10N yük ve 0,1 m/s hızdaki sürtünme katsayısının değişimi

TiN kaplanmış AISI 1010 ve AISI M2 çelik numunelerin safir bilyeye karşı oluşan aşınma hacimlerindeki değişim uygulanan yüklere bağlı olarak Tablo 7.6-7.7' de ve Şekil 7.61-7.66' da gösterilmiştir. Aynı şekilde TiN kaplanmış AISI 1010 ve AISI M2 çelik numunelerin safir bilyeye karşı oluşan aşınma hızlarındaki değişim uygulanan yüklere bağlı olarak Tablo 7.8-7.9' da ve Şekil 7.67-7.68' de ve spesifik aşınma hızlarındaki değişimler ise Tablo 7.10-7.11' de ve Şekil 7.69-7.70' de gösterilmiştir.

Tablo 7.6 Safir bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiN kaplanmış AISI 1010 çeliğinin aşınma hacmi değişimi

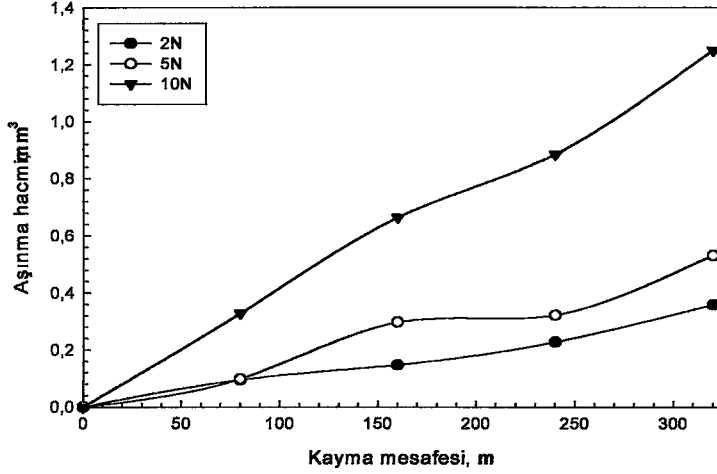
TiN kaplanmış AISI 1010 çeliğinin aşınma hacimleri (mm ³)									
Hız	0,1 m/s			0,3 m/s			0,5 m/s		
Yük	2N	5N	10N	2N	5N	10N	2N	5N	10N
80	1,49E-01	9,79E-02	3,28E-01	9,48E-02	2,62E-01	3,37E-01	9,46E-02	1,34E-01	1,46E-01
160	1,72E-01	2,97E-01	6,64E-01	1,47E-01	2,97E-01	5,26E-01	1,13E-01	1,71E-01	2,63E-01
240	2,27E-01	3,21E-01	8,85E-01	1,99E-01	3,26E-01	9,26E-01	1,71E-01	1,99E-01	3,84E-01
320	3,58E-01	5,31E-01	1,25E+00	2,45E-01	3,57E-01	1,55E+00	2,46E-01	2,63E-01	6,24E-01

Tablo 7.7 Safir bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiN kaplanmış AISI M2 çeliğinin aşınma hacmi değişimi

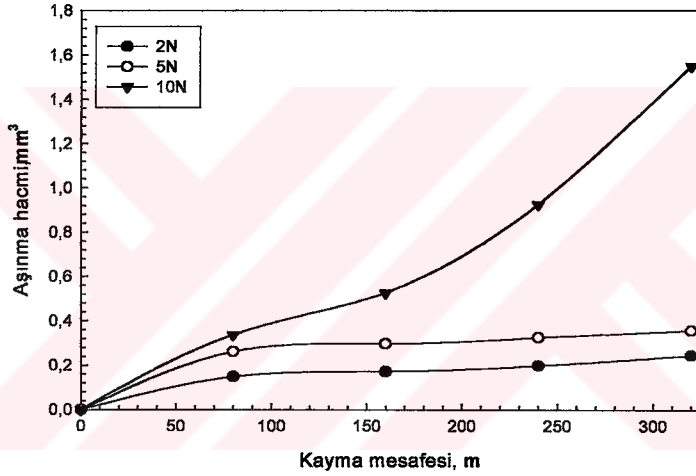
TiN kaplanmış AISI M2 çeliğinin aşınma hacimleri (mm ³)									
Hız	0,1 m/s			0,3 m/s			0,5 m/s		
Yük	2N	5N	10N	2N	5N	10N	2N	5N	10N
80	9,79E-02	1,06E-01	1,23E-01	9,66E-02	1,15E-01	1,65E-01	2,63E-01	3,00E-01	2,81E-01
160	1,10E-01	1,43E-01	1,65E-01	1,72E-01	1,99E-01	1,85E-01	4,55E-01	4,80E-01	4,30E-01
240	1,23E-01	1,88E-01	2,27E-01	2,14E-01	2,62E-01	3,16E-01	5,94E-01	6,24E-01	6,24E-01
320	1,33E-01	2,87E-01	3,58E-01	2,45E-01	3,37E-01	4,99E-01	7,24E-01	7,95E-01	7,95E-01

Yapılan aşınma deneyleri sonrasında aşınma hacimlerinde ki değişimler incelendiğinde, TiN kaplanmış AISI 1010 çeliğinin, safir bilye ile aşındırılması sonucu oluşan aşınma hacimlerinin, uygulanan yük arttığında arttığı, hız arttıkça aşınma hacimlerinin düştüğü görülmektedir. Yapılan aşınma deneyleri sonrasında aşınma hacimleri incelendiğinde, TiN kaplanmış AISI M2 çeliğinin, safir bilye ile aşındırılması sonucu oluşan aşınma hacimlerinin, uygulanan yük ve hız arttığında arttığı görülmektedir.

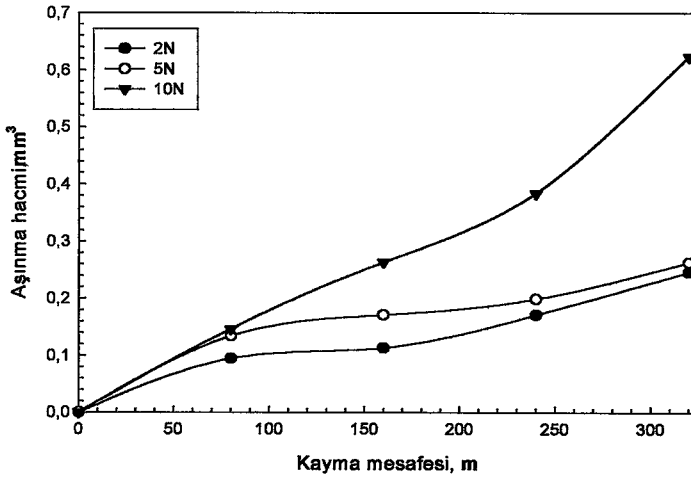
TiN kaplanmış her iki çelik türünün safir bilye ile aşındırılması sonucu oluşan aşınma hacimlerinde uygulanan yükler arttığında aşınma hacimlerinin arttığı görülmektedir. Fakat hızlar arttığında TiN kaplanmış AISI 1010 çeliğindeki aşınma hacmi düşerken, TiN kaplanmış AISI M2 çeliğindeki aşınma hacminde artış görülmektedir.



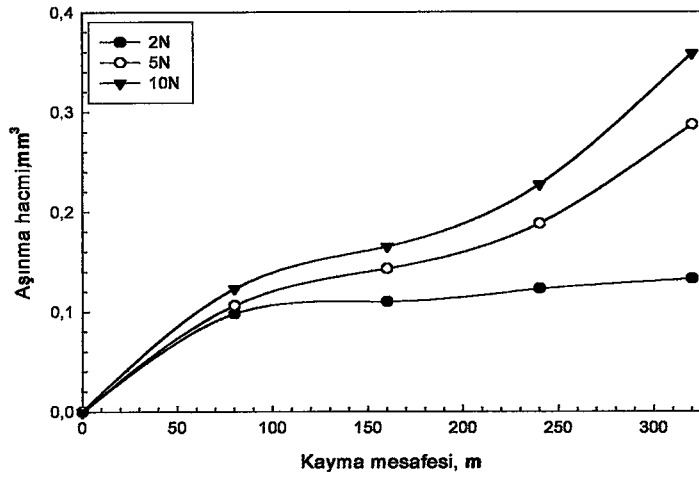
Şekil 7.61 Safir bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiN kaplanmış AISI 1010 çeliğinin 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,1 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi



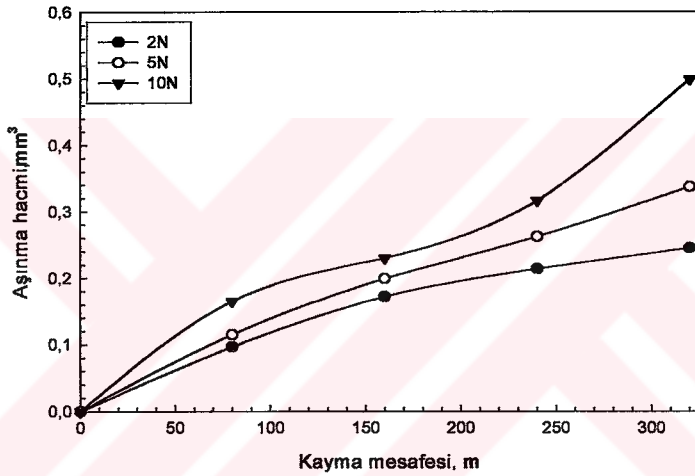
Şekil 7.62 Safir bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiN kaplanmış AISI 1010 çeliğinin 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,3 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi



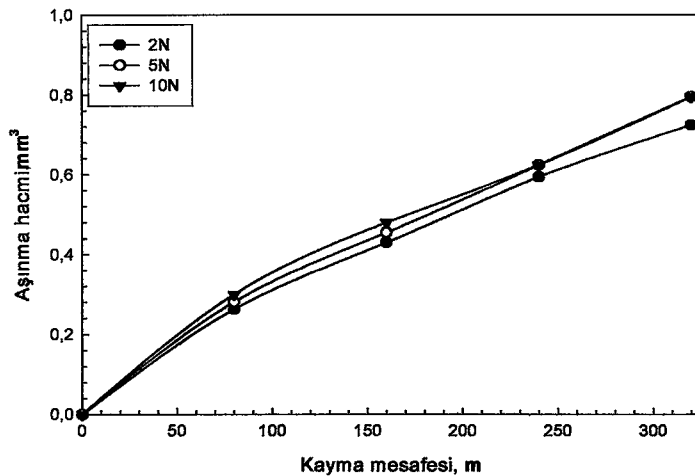
Şekil 7.63 Safir bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiN kaplanmış AISI 1010 çeliğinin 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,5 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi



Şekil 7.64 Safir bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiN kaplanmış AISI M2 çeliğinin 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,1 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi



Şekil 7.65 Safir bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiN kaplanmış AISI M2 çeliğinin 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,3 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi



Şekil 7.66 Safir bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiN kaplanmış AISI M2 çeliğinin 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,5 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi

Tablo 7.8 Safir bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiN kaplanmış AISI 1010 çeliğinin aşınma hızı değerlerinin değişimi

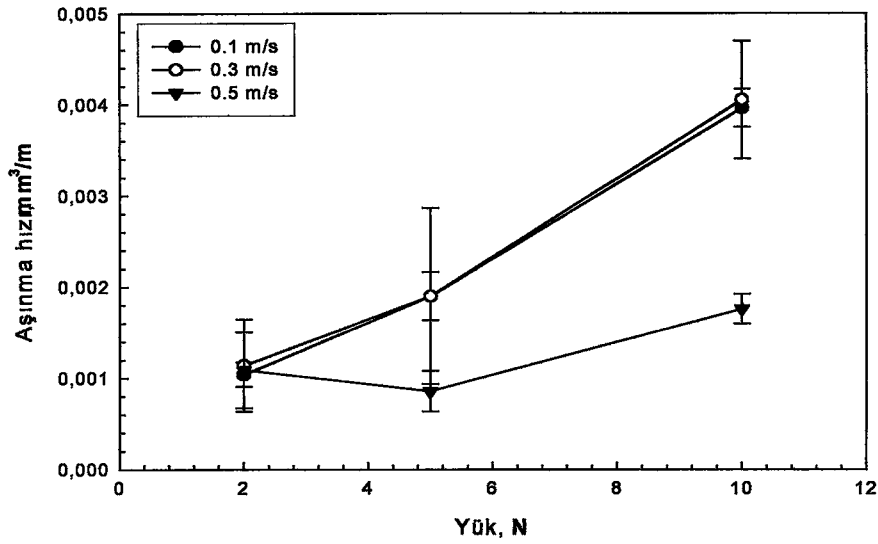
TiN kaplanmış AISI 1010 çeliğinin aşınma hızları (mm ³ /m)									
Hız	0,1 m/s			0,3 m/s			0,5 m/s		
Yük	2N	5N	10N	2N	5N	10N	2N	5N	10N
80	1,19E-03	3,27E-03	4,10E-03	1,87E-03	3,27E-03	4,21E-03	1,68E-03	1,18E-03	1,83E-03
160	9,18E-04	1,86E-03	4,15E-03	1,08E-03	1,86E-03	3,29E-03	1,07E-03	7,08E-04	1,65E-03
240	9,45E-04	1,36E-03	3,69E-03	8,29E-04	1,36E-03	3,86E-03	8,28E-04	7,14E-04	1,60E-03
320	1,12E-03	1,12E-03	3,91E-03	7,67E-04	1,12E-03	4,83E-03	7,70E-04	8,23E-04	1,95E-03

Tablo 7.9 Safir bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiN kaplanmış AISI M2 çeliğinin aşınma hızı değerlerinin değişimi

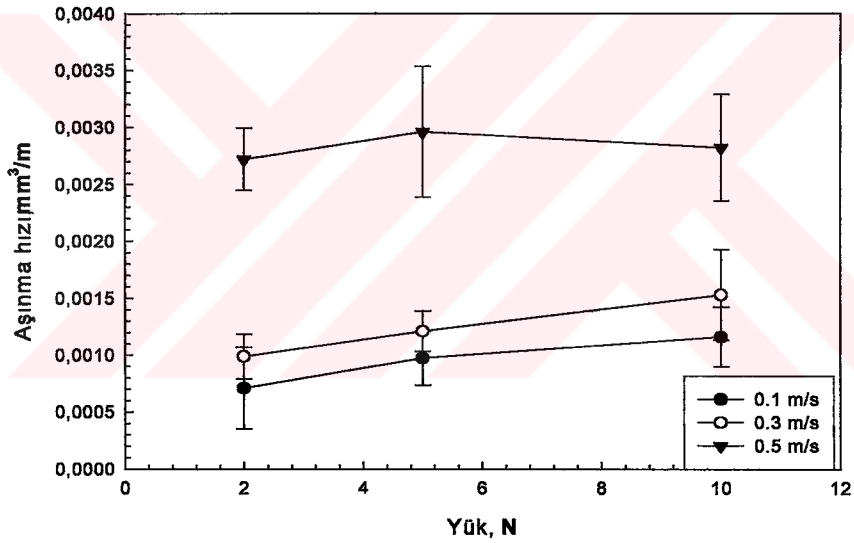
TiN kaplanmış AISI M2 çeliğinin aşınma hızları (mm ³ /m)									
Hız	0,1 m/s			0,3 m/s			0,5 m/s		
Yük	2N	5N	10N	2N	5N	10N	2N	5N	10N
80	1,22E-03	1,32E-03	1,54E-03	1,21E-03	1,44E-03	2,07E-03	3,29E-03	3,75E-03	3,51E-03
160	6,87E-04	8,92E-04	1,03E-03	1,08E-03	1,24E-03	1,16E-03	2,84E-03	3,00E-03	2,69E-03
240	5,14E-04	7,83E-04	9,54E-04	8,93E-04	1,09E-03	1,32E-03	2,47E-03	2,60E-03	2,60E-03
320	4,15E-04	8,98E-04	1,12E-03	7,67E-04	1,05E-03	1,56E-03	2,26E-03	2,48E-03	2,48E-03

Yapılan aşınma deneyleri sonrasında aşınma hızları incelendiğinde, TiN kaplanmış AISI 1010 çeliğinin, safir bilye ile aşındırılması sonucu oluşan aşınma hızlarının, uygulanan yükler arttığında arttığı, hız arttıkça aşınma hızlarının azaldığı görülmektedir. Yapılan aşınma deneyleri sonrasında aşınma hızları incelendiğinde, TiN kaplanmış AISI M2 çeliğinin, safir bilye ile aşındırılması sonucu oluşan aşınma hızlarının, uygulanan yükler ve hızlar arttığında arttığı görülmektedir.

TiN kaplanmış her iki çelik türünün safir bilye ile aşındırılması sonucu oluşan aşınma hızlarının, uygulanan yükler arttığında arttığı görülmektedir. Fakat hızlar arttığında TiN kaplanmış AISI 1010 çeliğindeki aşınma hızı düşerken, TiN kaplanmış AISI M2 çeliğindeki aşınma hızında artış görülmektedir.



Şekil 7.67 Safir bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiN kaplanmış AISI 1010 çeliğinin 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,1- 0,3 ve 0,5 m/s hızdaki aşınma hızı değişimi



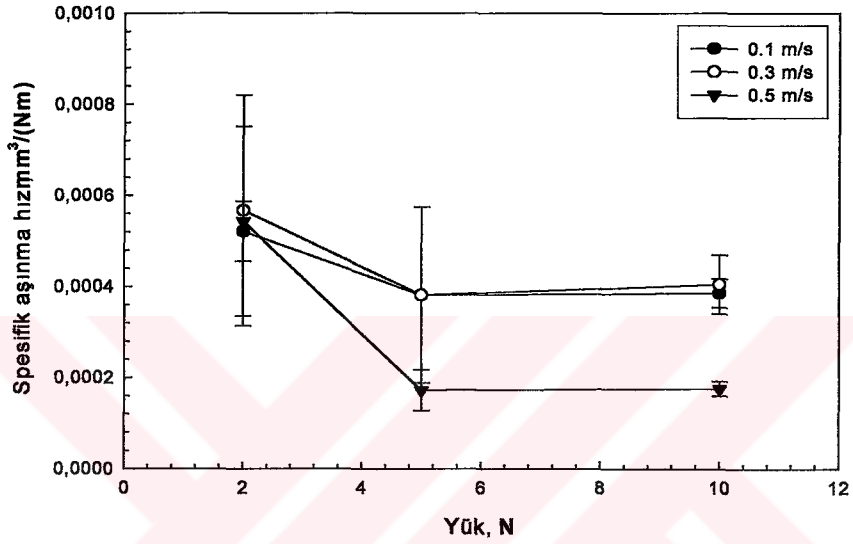
Şekil 7.68 Safir bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiN kaplanmış AISI M2 çeliğinin 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,1- 0,3 ve 0,5 m/s hızdaki aşınma hızı değişimi

Tablo 7.10 Safir bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiN kaplanmış AISI 1010 çeliğinin spesifik aşınma hızı değerlerinin değişimi

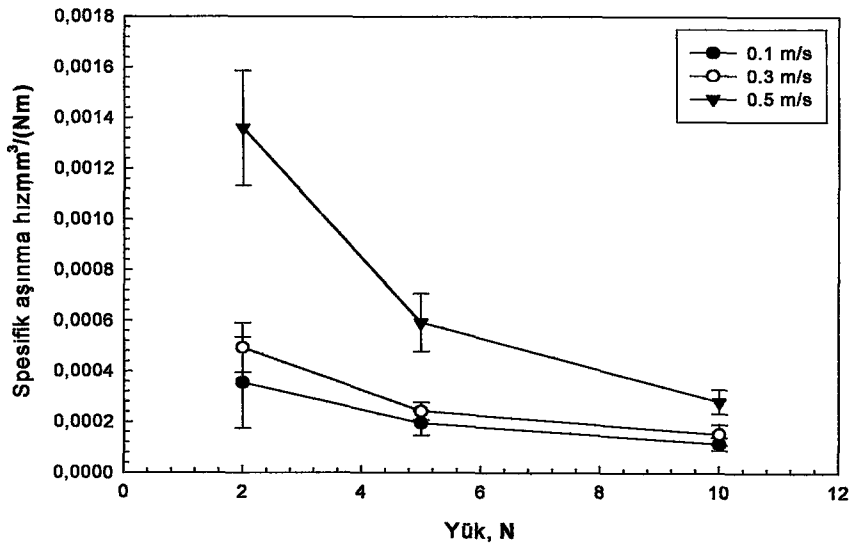
TiN kaplanmış AISI 1010 çeliğinin spesifik aşınma hızları (mm ³ /(Nm))									
Hız	0,1 m/s			0,3 m/s			0,5 m/s		
Yük	2N	5N	10N	2N	5N	10N	2N	5N	10N
80	5,93E-04	6,55E-04	4,10E-04	9,33E-04	6,55E-04	4,21E-04	8,39E-04	2,37E-04	1,83E-04
160	4,59E-04	3,72E-04	4,15E-04	5,38E-04	3,72E-04	3,29E-04	5,35E-04	1,42E-04	1,65E-04
240	4,72E-04	2,72E-04	3,69E-04	4,14E-04	2,72E-04	3,86E-04	4,14E-04	1,43E-04	1,60E-04
320	5,60E-04	2,23E-04	3,51E-04	3,83E-04	2,23E-04	4,83E-04	3,85E-04	1,65E-04	1,95E-04

Tablo 7.11 Safir bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiN kaplanmış AISI M2 çeliğinin spesifik aşınma hızı değerlerinin değişimi

TiN kaplanmış AISI M2 çeliğinin spesifik aşınma hızları ($\text{mm}^3/(\text{Nm})$)									
Hız	0,1 m/s			0,3 m/s			0,5 m/s		
Yük	2N	5N	10N	2N	5N	10N	2N	5N	10N
80	6,12E-04	2,65E-04	1,54E-04	6,04E-04	2,88E-04	2,07E-04	1,65E-03	7,49E-04	3,51E-04
160	3,43E-04	1,78E-04	1,03E-04	5,38E-04	2,49E-04	1,16E-04	1,42E-03	6,00E-04	2,69E-04
240	2,57E-04	1,57E-04	9,45E-05	4,46E-04	2,18E-04	1,32E-04	1,24E-03	5,20E-04	2,60E-04
320	2,08E-04	1,80E-04	1,12E-04	3,83E-04	2,11E-04	1,56E-04	1,13E-03	4,97E-04	2,48E-04



Şekil 7.69 Safir bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiN kaplanmış AISI 1010 çeliğinin 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,1-0,3 ve 0,5 m/s hızdaki spesifik aşınma hızı değişimi



Şekil 7.70 Safir bilye ile aşınma deneyine tabi tutulan TiN kaplanmış AISI M2 çeliğinin 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,1-0,3 ve 0,5 m/s hızdaki spesifik aşınma hızı değişimi

Yapılan aşınma deneyleri sonrasında spesifik aşınma hızları incelendiğinde, TiN kaplanmış AISI 1010 çeliğinin, safir bilye ile aşındırılması sonucu oluşan spesifik aşınma hızlarının, uygulanan yükler ve hızlar arttığında düştüğü görülmektedir. Yapılan aşınma deneyleri neticesinde spesifik aşınma hızları incelendiğinde, TiN kaplanmış AISI M2 çeliğinin, safir bilye ile aşındırılması sonucu oluşan spesifik aşınma hızlarının uygulanan yükler arttığında azaldığı görülmekte olup hız arttıkça spesifik aşınma hızlarının arttığı görülmektedir. TiN kaplanmış her iki çelik türünün safir bilye ile aşındırılması sonucu oluşan spesifik aşınma hızlarının, uygulanan yükler arttığında düştüğü görülmektedir. Hız arttığında TiN kaplanmış AISI 1010 çeliğindeki spesifik aşınma hızı düşerken, TiN kaplanmış AISI M2 çeliğindeki spesifik aşınma hızında artış görülmektedir.

TiN kaplanmış AISI 1010 ve AISI M2 çelik numuneler ile safir bilye arasında yapılan aşınma deneyleri sonrasında, safir bilye üzerindeki aşınma hacimlerindeki değişim uygulanan yüklere bağlı olarak Tablo 7.12-7.13' de ve Şekil 7.71-7.76' da gösterilmiştir. Aynı şekilde safir bilyenin aşınma hızlarındaki değişim uygulanan yüklere bağlı olarak Tablo 7.14-7.15' de ve Şekil 7.77-7.78' de ve spesifik aşınma hızlarındaki değişimler ise Tablo 7.16-7.17' de ve Şekil 7.79-7.80' de gösterilmiştir.

Tablo 7.12 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan safir aşındırıcı bilyede ki aşınma hacmi değişimi

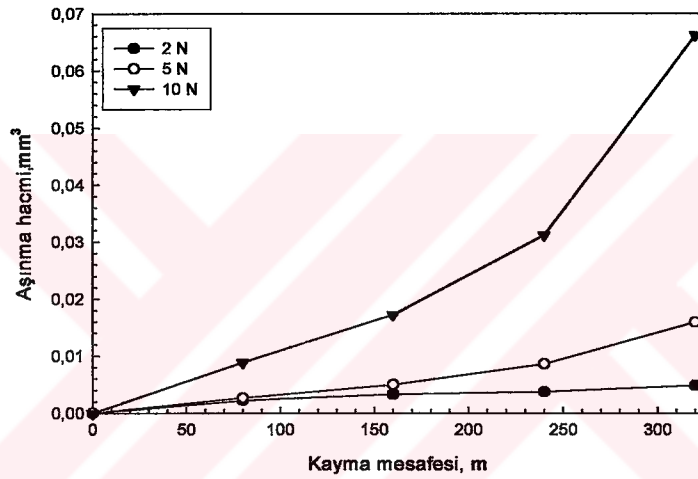
Safir bilyedeki aşınma hacimleri (mm ³)									
Hız	0,1 m/s			0,3 m/s			0,5 m/s		
Yük	2N	5N	10N	2N	5N	10N	2N	5N	10N
80	2,24E-03	2,66E-03	8,85E-03	2,24E-03	7,06E-03	9,73E-03	1,39E-03	2,05E-03	4,98E-03
160	3,27E-03	4,98E-03	1,72E-02	3,41E-03	8,03E-03	1,31E-02	2,66E-03	4,63E-03	7,53E-03
240	3,69E-03	8,60E-03	3,12E-02	4,98E-03	9,15E-03	2,12E-02	4,63E-03	7,06E-03	1,10E-02
320	4,81E-03	1,59E-02	6,62E-02	6,17E-03	9,73E-03	2,84E-02	9,73E-03	1,10E-02	1,39E-02

Tablo 7.13 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan safir aşındırıcı bilyede ki aşınma hacmi değişimi

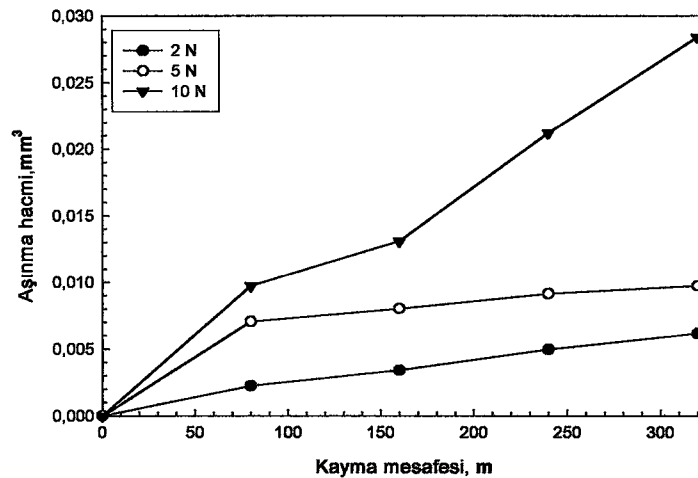
Safir bilyedeki aşınma hacimleri (mm ³)									
Hız	0,1 m/s			0,3 m/s			0,5 m/s		
Yük	2N	5N	10N	2N	5N	10N	2N	5N	10N
80	4,43E-04	3,84E-04	5,72E-04	1,14E-03	1,47E-03	2,66E-03	1,14E-03	1,26E-03	2,05E-03
160	7,27E-04	9,12E-04	1,14E-03	1,39E-03	2,44E-03	3,41E-03	1,87E-03	1,87E-03	3,13E-03
240	1,26E-03	1,54E-03	5,76E-03	1,62E-03	5,34E-03	4,30E-03	2,24E-03	2,66E-03	3,19E-03
320	2,05E-03	3,69E-03	1,23E-02	1,95E-03	7,06E-03	5,17E-03	2,89E-03	3,69E-03	3,98E-03

Yapılan aşınma deneyleri sonrasında TiN kaplanmış AISI 1010 çeliği karşısında safir bilyede ki aşınma hacimlerinin, uygulanan yükler arttığında arttığı, hız arttığında ise aşınma hacimlerinin düştüğü görülmektedir. Yapılan aşınma deneyleri sonrasında TiN kaplanmış AISI M2 çeliği karşısında safir bilyede ki aşınma hacimlerinin, uygulanan yükler arttığında arttığı, hız arttığında ise aşınma hacimlerinin azaldığı görülmektedir.

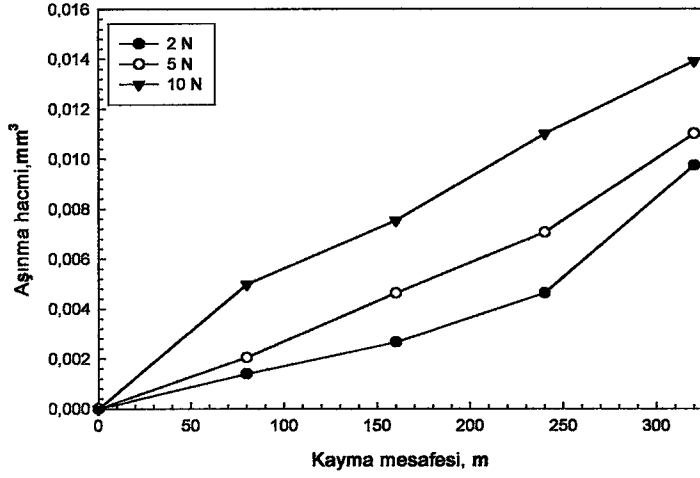
TiN kaplanmış her iki çelik türüne karşı yapılan aşınma deneyleri sonucunda safir bilyede ki aşınma hacimlerinin, uygulanan yükler arttığında arttığı, hızlar arttığında ise aşınma hacimlerinin azaldığı görülmektedir.



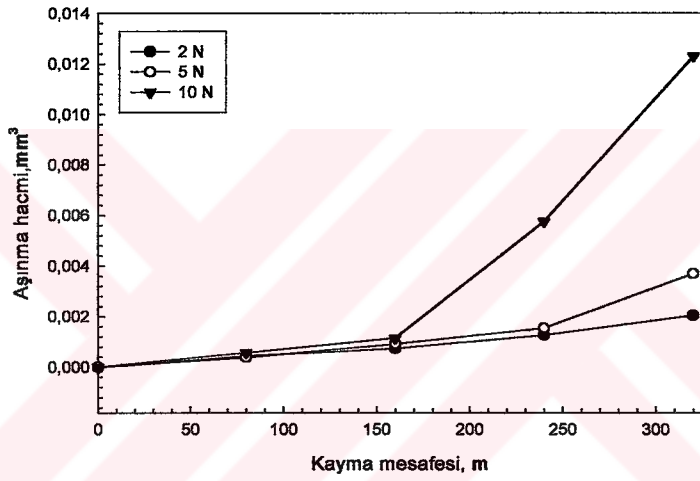
Şekil 7.71 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan safir bilyede oluşan 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,1 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi



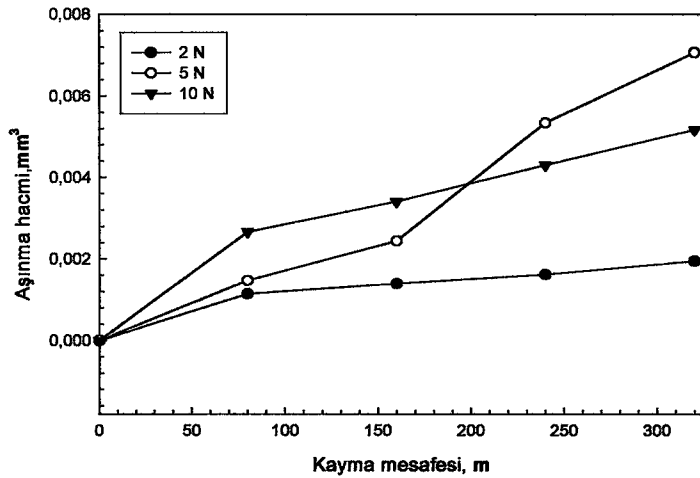
Şekil 7.72 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan safir bilyede oluşan 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,3 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi



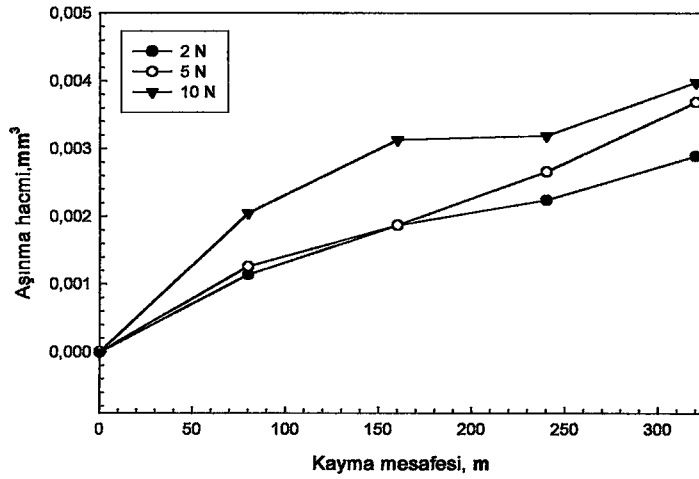
Şekil 7.73 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan safir bilyede oluşan 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,5 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi



Şekil 7.74 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan safir bilyede oluşan 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,1 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi



Şekil 7.75 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan safir bilyede oluşan 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,3 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi



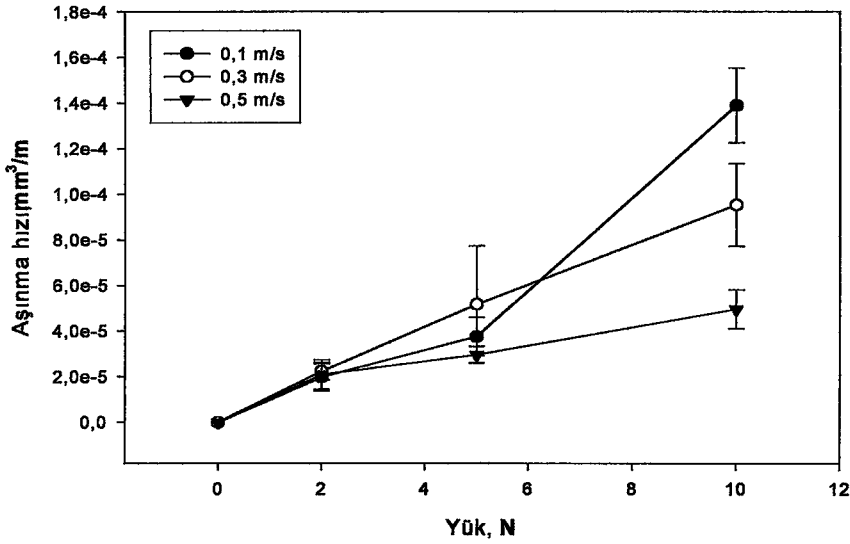
Şekil 7.76 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan safir bilyede oluşan 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,5 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi

Tablo 7.14 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan safir bilyede ki aşınma hızı değerlerinin değişimi

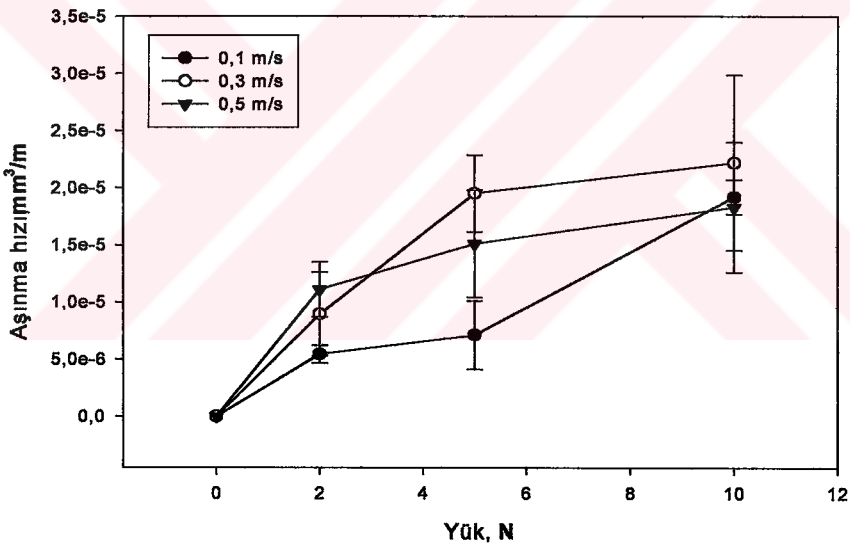
Safir bilyedeki aşınma hızları (mm ³ /m)									
Hız	0,1 m/s			0,3 m/s			0,5 m/s		
Yük	2N	5N	10N	2N	5N	10N	2N	5N	10N
80	2,79E-05	3,32E-05	1,11E-04	2,79E-05	8,82E-05	1,22E-04	1,74E-05	2,56E-05	6,22E-05
160	2,04E-05	3,11E-05	1,08E-04	2,13E-05	5,02E-05	8,18E-05	1,66E-05	2,89E-05	4,71E-05
240	1,54E-05	3,58E-05	1,30E-04	2,07E-05	3,81E-05	8,84E-05	1,93E-05	2,94E-05	4,57E-05
320	1,50E-05	4,97E-05	2,07E-04	1,93E-05	3,04E-05	8,89E-05	3,04E-05	3,43E-05	4,33E-05

Tablo 7.15 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan safir bilyede ki aşınma hızı değerlerinin değişimi

Safir bilyedeki aşınma hızları (mm ³ /m)									
Hız	0,1 m/s			0,3 m/s			0,5 m/s		
Yük	2N	5N	10N	2N	5N	10N	2N	5N	10N
80	5,54E-06	4,80E-06	7,15E-06	1,42E-05	1,84E-05	3,32E-05	1,42E-05	1,58E-05	2,56E-05
160	4,54E-06	5,70E-06	7,11E-06	8,71E-06	1,52E-05	2,13E-05	1,17E-05	1,17E-05	1,96E-05
240	5,25E-06	6,40E-06	2,40E-05	6,74E-06	2,23E-05	1,79E-05	9,32E-06	1,15E-05	1,54E-05
320	6,39E-06	1,15E-05	3,85E-05	6,09E-06	2,20E-05	1,62E-05	9,02E-06	2,15E-05	1,25E-05



Şekil 7.77 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan safir bilyede oluşan 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,1-0,3 ve 0,5 m/s hızlardaki aşınma hızı değişimi



Şekil 7.78 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan safir bilyede oluşan 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,1-0,3 ve 0,5 m/s hızlardaki aşınma hızı değişimi

Yapılan aşınma deneyleri sonrasında TiN kaplanmış AISI 1010 çeliği karşısında safir bilye de ki aşınma hızının, uygulanan yükler arttığında arttığı, hız arttıkça aşınma hızının düştüğü görülmektedir. Yapılan aşınma deneyleri neticesinde TiN kaplanmış AISI M2 çeliği karşısında safir bilye de ki aşınma hızının, uygulanan yükler arttığında arttığı, hıza bağlı olarak aşınma hızı bir miktar artmakta fakat belirli bir hızdan (0,3 m/s) sonra aşınma hızının düştüğü görülmektedir (Şekil 7.78).

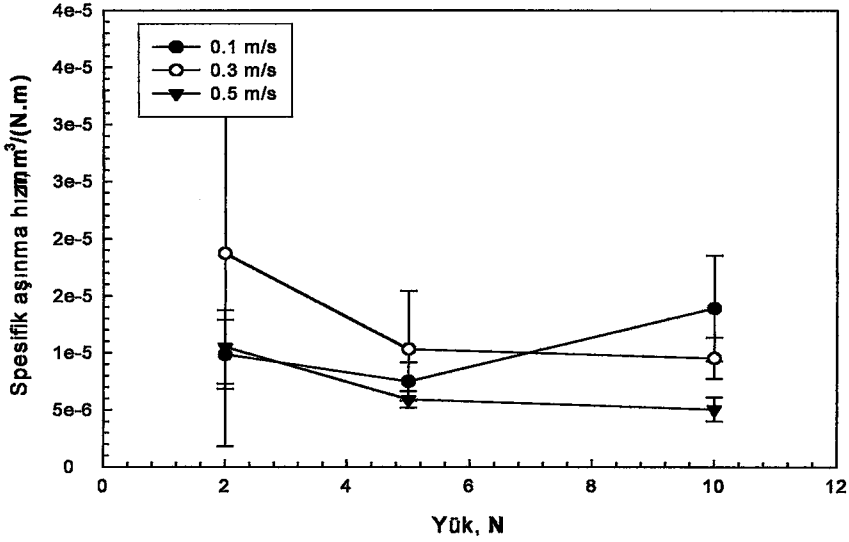
TiN kaplanmış her iki çelik türüne karşı yapılan aşınma deneyleri sonucunda safir bilye de ki aşınma hızlarının, uygulanan yükler arttığında arttığı, hızlar arttığında ise TiN kaplanmış AISI 1010 çeliğine karşı oluşan aşınma hızının düştüğü görülmektedir. Fakat TiN kaplanmış AISI M2 çeliğinde ise 0,3 m/s hıza kadar yapılan deneylerde aşınma hızı artarken bu hızın üstünde aşınma hızının düştüğü görülmektedir.

Tablo 7.16 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan safir bilyede ki spesifik aşınma hızı değerlerinin değişimi

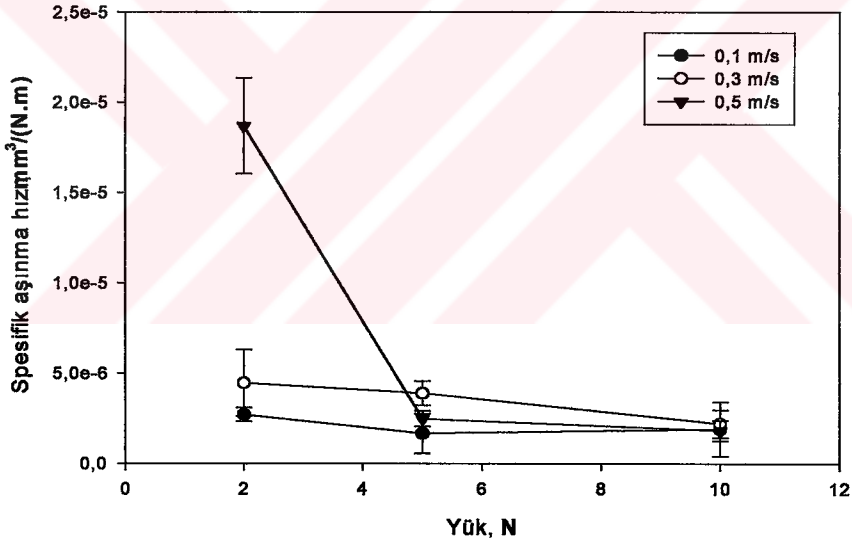
Safir bilyedeki spesifik aşınma hızları (mm ³ /Nm)									
Hız	0,1 m/s			0,3 m/s			0,5 m/s		
Yük	2N	5N	10N	2N	5N	10N	2N	5N	10N
80	1,40E-05	6,64E-06	1,11E-05	4,40E-05	1,76E-05	1,22E-05	8,71E-06	5,11E-06	6,62E-06
160	1,02E-05	6,22E-06	1,08E-05	1,07E-05	1,00E-05	8,18E-06	8,30E-06	5,78E-06	4,71E-06
240	7,69E-06	7,16E-06	1,30E-05	1,04E-05	7,62E-06	8,84E-06	9,64E-06	5,88E-06	4,57E-06
320	7,52E-06	9,95E-06	2,07E-05	9,64E-06	6,08E-06	8,89E-06	1,52E-05	6,86E-06	4,33E-06

Tablo 7.17 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan safir bilyede ki spesifik aşınma hızı değerlerinin değişimi

Safir bilyedeki spesifik aşınma hızları (mm ³ /Nm)									
Hız	0,1 m/s			0,3 m/s			0,5 m/s		
Yük	2N	5N	10N	2N	5N	10N	2N	5N	10N
80	2,77E-06	9,60E-07	7,15E-07	7,11E-06	3,67E-06	3,32E-06	7,11E-06	3,15E-06	2,56E-06
160	2,27E-06	1,14E-06	7,11E-07	4,36E-06	3,05E-06	2,13E-06	5,84E-05	2,33E-06	1,96E-06
240	2,63E-06	1,28E-06	2,40E-06	3,37E-06	4,45E-06	1,79E-06	4,66E-06	2,21E-06	1,54E-06
320	3,20E-06	3,31E-06	3,85E-06	3,05E-06	4,41E-06	1,62E-06	4,51E-06	2,31E-06	1,25E-06



Şekil 7.79 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan safir bilyede oluşan 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,1 - 0,3 ve 0,5 m/s hızlardaki spesifik aşınma hızı değişimi



Şekil 7.80 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan safir bilyede oluşan 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,1 - 0,3 ve 0,5 m/s hızlardaki spesifik aşınma hızı değişimi

Yapılan aşınma deneyleri sonrasında TiN kaplanmış AISI 1010 çeliği karşısında safir bilyede uygulanan yükler ve hızlar arttıkça spesifik aşınma hızının düştüğü görülmektedir. Sadece 0,1 m/s hızda yük arttıkça spesifik aşınma hızı bir miktar düşmekte bu noktadan sonra ise artmaktadır (Şekil 7.79).

Yapılan aşınma deneyleri sonrasında TiN kaplanmış AISI M2 çeliği karşısında safir bilyede uygulanan yükler ve hızlar arttıkça spesifik aşınma hızının düştüğü görülmektedir.

TiN kaplanmış her iki çelik türüne karşı yapılan aşınma deneyleri sonucunda safir bilyede, uygulanan yükler ve hızlar arttıkça spesifik aşınma hızlarının düştüğü görülmektedir. Sadece TiN kaplanmış AISI 1010 çeliğine karşı 0,1 m/s hızda yük arttıkça spesifik aşınma hızı bir miktar düşmekte bu noktadan sonra ise artmaktadır.

TiN kaplanmış AISI 1010 ve AISI M2 çelik numuneler ile AISI M50 bilye arasında yapılan aşınma deneyleri sonrasında, AISI M50 bilye üzerindeki aşınma hacimlerindeki değişim uygulanan yüklere bağlı olarak Tablo 7.18-7.19' da ve Şekil 7.81-7.86' da gösterilmiştir. Aynı şekilde AISI M50 bilyenin aşınma hızlarındaki değişim uygulanan yüklere bağlı olarak Tablo 7.20-7.21' de ve Şekil 7.87-7.88' de, spesifik aşınma hızlarındaki değişimler ise Tablo 7.22-7.23' de ve Şekil 7.89-7.90' da gösterilmiştir.

Tablo 7.18 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI M50 bilyede ki aşınma hacmi değerlerinin değişimi

AISİ M50 bilyedeki aşınma hacimleri (mm ³)									
Hız	0,1 m/s			0,3 m/s			0,5 m/s		
Yük	2N	5N	10N	2N	5N	10N	2N	5N	10N
80	8,15E-04	4,63E-03	2,84E-02	1,31E-02	7,53E-03	2,02E-02	9,73E-03	1,10E-02	1,39E-02
160	4,63E-03	3,58E-02	9,52E-02	1,55E-02	1,46E-02	2,98E-02	1,31E-02	1,31E-02	1,82E-02
240	1,82E-02	6,62E-02	1,81E-01	2,02E-02	2,23E-02	5,23E-02	1,92E-02	2,98E-02	2,59E-02
320	8,57E-02	1,29E-01	2,47E-01	2,71E-02	2,98E-02	1,09E-01	2,84E-02	4,25E-02	3,58E-02

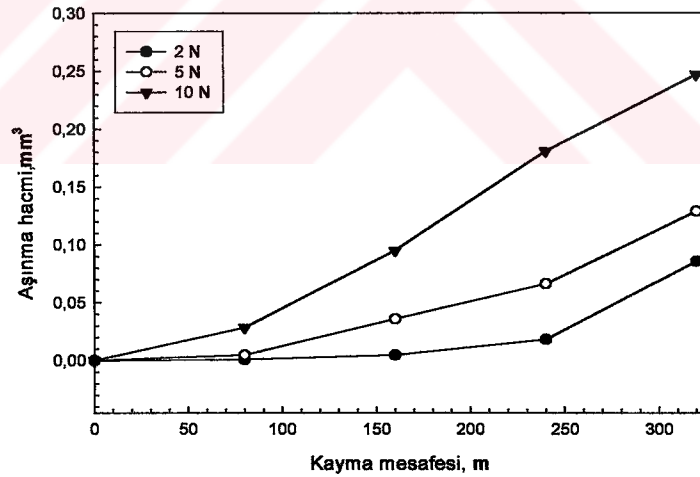
Tablo 7.19 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI M50 aşındırıcı bilyede ki aşınma hacmi değerlerinin mm³ cinsinden değişimi

AISİ M50 bilyedeki aşınma hacimleri (mm ³)									
Hız	0,1 m/s			0,3 m/s			0,5 m/s		
Yük	2N	5N	10N	2N	5N	10N	2N	5N	10N
80	3,69E-03	1,69E-03	8,60E-03	3,58E-02	9,52E-02	1,51E-01	3,26E-02	3,58E-02	9,15E-03
160	6,60E-03	7,06E-03	1,10E-02	4,43E-02	1,33E-01	2,03E-01	4,07E-02	4,63E-02	2,12E-02
240	9,73E-03	1,03E-02	2,12E-02	7,98E-02	1,86E-01	2,54E-01	5,03E-02	5,23E-02	3,74E-02
320	1,92E-02	1,82E-02	2,84E-02	1,25E-01	2,69E-01	3,39E-01	6,04E-02	6,14E-02	7,98E-02

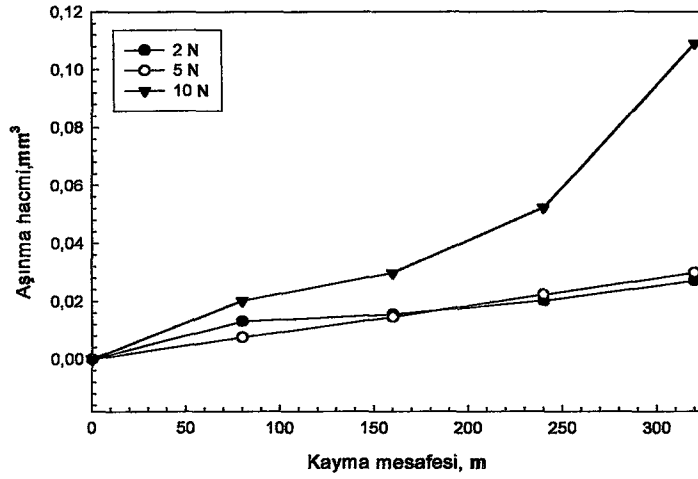
Yapılan aşınma deneyleri sonrasında TiN kaplanmış AISI 1010 çeliği karşısında AISI M50 bilyede uygulanan yükler arttıkça aşınma hacimlerinin arttığı, hız arttıkça aşınma hacimlerinin azaldığı görülmektedir.

Yapılan aşınma deneyleri sonrasında TiN kaplanmış AISI M2 çeliği karşısında AISI M50 bilyede uygulanan yükler arttığında aşınma hacimlerinin arttığı, hız arttığında ise aşınma hacimlerinin bir miktar arttığı ve belirli bir hızdan (0,3 m/s) sonra tekrar düştüğü görülmektedir.

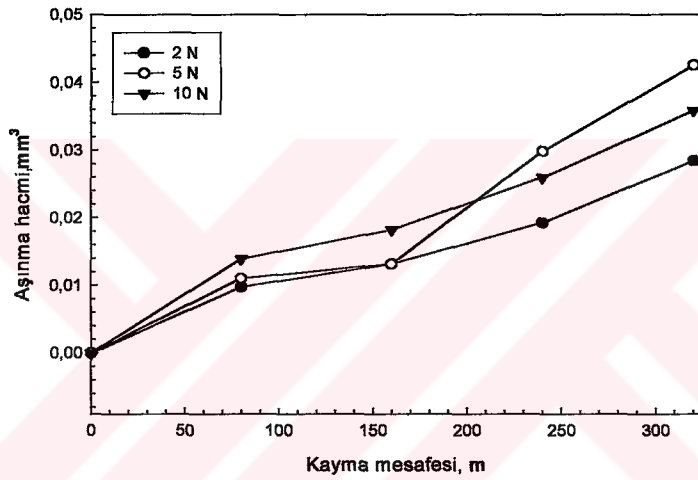
TiN kaplanmış her iki çelik türüne karşı yapılan aşınma deneyleri sonucunda AISI M50 bilyede uygulanan yükler arttıkça aşınma hacimlerinin arttığı görülmekte olup uygulanan hızlar arttığında ise aşınma hacimlerinin azaldığı görülmektedir. Yalnız TiN kaplanmış AISI M2 çeliği karşısında AISI M50 bilyede uygulanan hız arttığında aşınma hacimlerinin bir miktar arttığı ve belirli bir hızdan (0,3 m/s) sonra tekrar düşmekte olduğu görülmektedir.



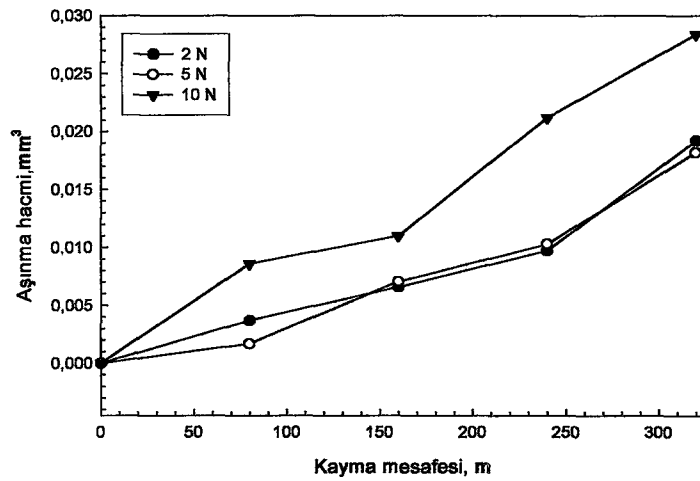
Şekil 7.81 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI M50 bilyede oluşan 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,1 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi



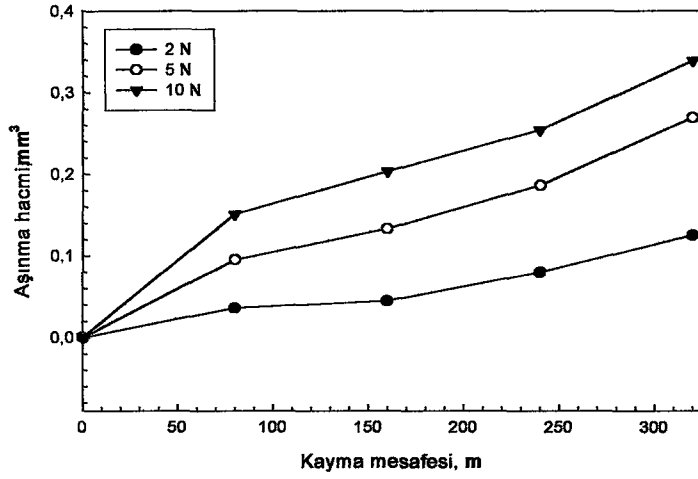
Şekil 7.82 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI M50 bilyede oluşan 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,3 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi



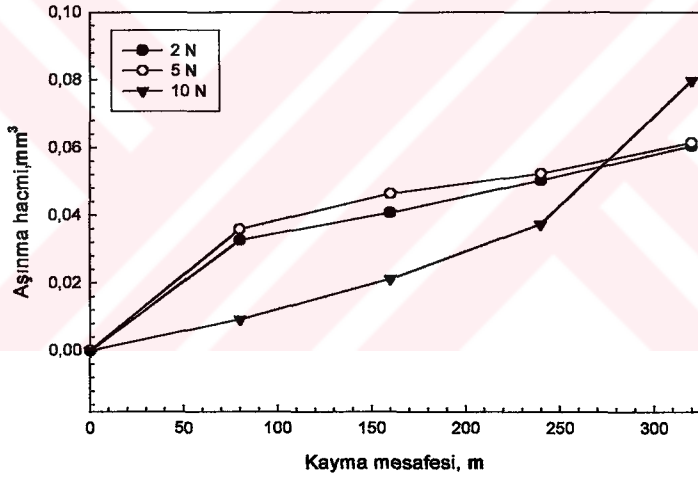
Şekil 7.83 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI M50 bilyede oluşan 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,5 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi



Şekil 7.84 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI M50 bilyede oluşan 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,1 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi



Şekil 7.85 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI M50 bilyede oluşan 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,3 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi



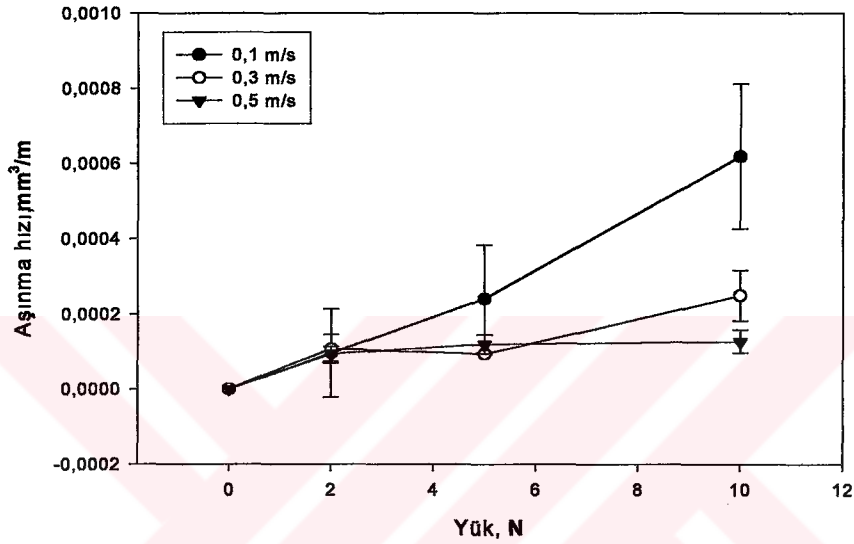
Şekil 7.86 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI M50 bilyede oluşan 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,5 m/s hızdaki aşınma hacmi değişimi

Tablo 7.20 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI M50 bilyede ki aşınma hızı değerlerinin değişimi

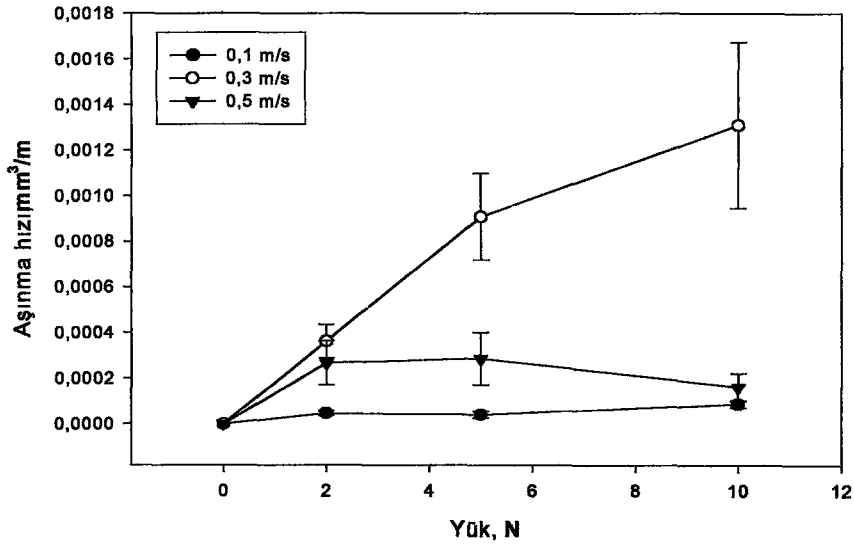
AISI M50 bilyedeki aşınma hızları (mm ³ /m)									
Hız	0,1 m/s			0,3 m/s			0,5 m/s		
Yük	2N	5N	10N	2N	5N	10N	2N	5N	10N
80	1,02E-05	5,78E-05	3,55E-04	1,64E-04	9,42E-05	2,52E-04	1,22E-04	1,37E-04	1,73E-04
160	2,89E-05	2,24E-04	5,95E-04	9,66E-05	9,15E-05	1,86E-04	8,18E-05	8,18E-05	1,14E-04
240	7,58E-05	2,76E-04	7,53E-04	8,40E-05	9,29E-05	2,18E-04	7,99E-05	1,24E-04	1,08E-04
320	2,68E-04	4,03E-04	7,73E-04	8,48E-05	9,31E-05	3,41E-04	8,89E-05	1,33E-04	1,12E-04

Tablo 7.21 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI M50 bilyede ki aşınma hızı değerlerinin değişimi

AISİ M50 bilyedeki aşınma hızları (mm^3/m)									
Hız	0,1 m/s			0,3 m/s			0,5 m/s		
Yük	2N	5N	10N	2N	5N	10N	2N	5N	10N
80	4,61E-05	2,11E-05	1,07E-04	4,47E-04	1,19E-03	1,83E-03	4,08E-04	4,47E-04	1,14E-04
160	4,13E-05	4,41E-05	6,86E-05	2,77E-04	8,31E-04	1,27E-03	2,55E-04	2,89E-04	1,33E-04
240	4,05E-05	4,31E-05	8,84E-05	3,33E-04	7,74E-04	1,06E-03	2,18E-04	2,18E-04	1,56E-04
320	5,99E-05	5,69E-05	8,89E-05	3,90E-04	8,39E-04	1,06E-03	1,92E-04	1,92E-04	2,49E-04



Şekil 7.87 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI M50 bilyede oluşan 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,1-0,3 ve 0,5 m/s hızlardaki aşınma hızı değişimi



Şekil 7.88 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI M50 bilyede oluşan 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,1-0,3 ve 0,5 m/s hızlardaki aşınma hızı değişimi

Yapılan aşınma deneyleri sonrasında TiN kaplanmış AISI 1010 çeliği karşısında AISI M50 bilyede uygulanan yükler arttıkça aşınma hızının arttığı, hız arttıkça aşınma hızının azaldığı görülmektedir.

Yapılan aşınma deneyleri sonrasında TiN kaplanmış AISI M2 çeliği karşısında AISI M50 bilyede uygulanan yükler arttıkça aşınma hızının arttığı, hıza bağlı olarak aşınma hızı bir miktar artmakta fakat belirli bir hızdan (0,3 m/s) sonra aşınma hızının azaldığı görülmektedir (Şekil 7.88).

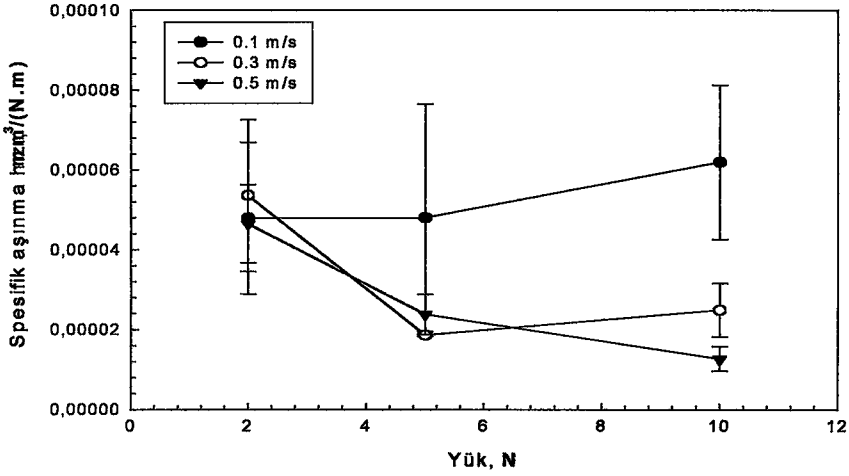
TiN kaplanmış her iki çelik türüne karşı yapılan aşınma deneyleri sonucunda AISI M50 bilyede uygulanan yükler arttıkça aşınma hızlarının arttığı, hızlar arttığında ise TiN kaplanmış AISI 1010 çeliğine karşı oluşan aşınma hızının düştüğü görülmektedir. Fakat TiN kaplanmış AISI M2 çeliğinde ise 0,3 m/s uygulanan hıza kadar aşınma hızı artarken bu hızın üstünde aşınma hızının düştüğü görülmektedir.

Tablo 7.22 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI M50 bilyede ki spesifik aşınma hızı değerlerinin değişimi

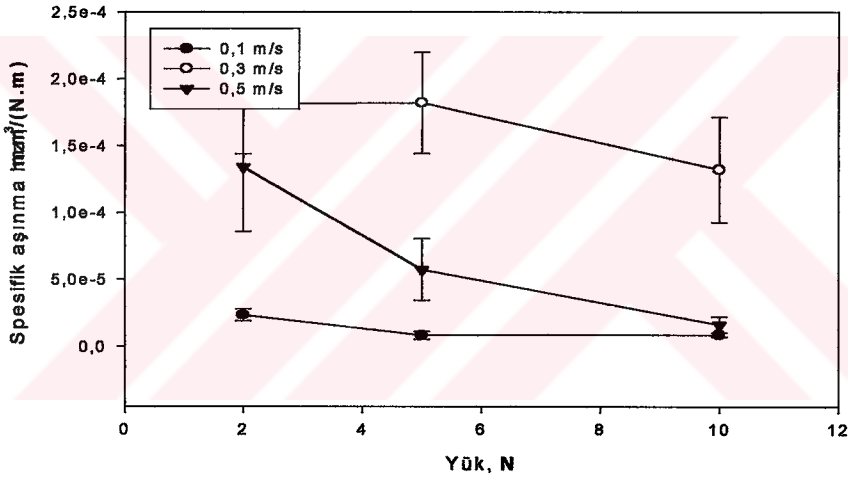
AISI M50 bilyedeki spesifik aşınma hızları (mm ³ /Nm)									
Hız	0,1 m/s			0,3 m/s			0,5 m/s		
Yük	2N	5N	10N	2N	5N	10N	2N	5N	10N
80	5,10E-06	1,16E-05	3,55E-05	8,18E-05	1,88E-05	2,52E-05	6,08E-05	2,74E-05	1,73E-05
160	1,45E-05	4,47E-05	5,95E-05	4,83E-05	1,83E-05	1,86E-05	4,09E-05	1,64E-05	1,14E-05
240	3,79E-05	5,52E-05	7,53E-05	4,20E-05	1,86E-05	2,18E-05	3,99E-05	2,48E-05	1,08E-05
320	1,34E-04	8,05E-05	7,73E-05	4,24E-05	1,86E-05	3,41E-05	4,44E-05	2,66E-05	1,12E-05

Tablo 7.23 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI M50 bilyede ki spesifik aşınma hızı değerlerinin değişimi

AISI M50 bilyedeki spesifik aşınma hızları (mm ³ /Nm)									
Hız	0,1 m/s			0,3 m/s			0,5 m/s		
Yük	2N	5N	10N	2N	5N	10N	2N	5N	10N
80	2,31E-05	4,23E-06	1,07E-05	2,24E-04	2,38E-04	1,89E-04	2,04E-04	8,94E-05	1,14E-05
160	2,06E-05	8,82E-06	6,86E-06	1,38E-04	1,66E-04	1,27E-04	1,27E-04	5,79E-05	1,33E-05
240	2,03E-05	8,61E-06	8,84E-06	1,66E-04	1,55E-04	1,06E-04	1,09E-04	4,36E-05	1,56E-05
320	2,99E-05	1,14E-05	8,89E-06	1,95E-04	1,68E-04	1,06E-04	9,59E-05	3,82E-05	2,49E-05



Şekil 7.89 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI M50 bilyede oluşan 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,1-0,3 ve 0,5 m/s hızlardaki spesifik aşınma hızı değişimi

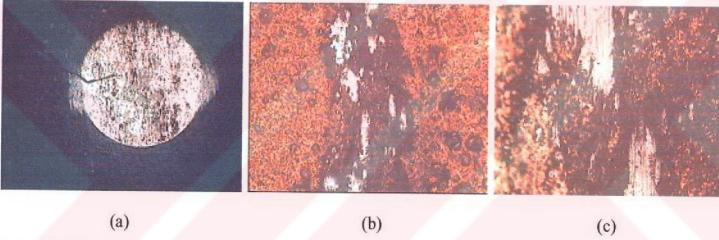


Şekil 7.90 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile aşınma deneyine tabi tutulan AISI M50 bilyede oluşan 2N, 5N ve 10N yük altında, 0,1-0,3 ve 0,5 m/s hızlardaki spesifik aşınma hızı değişimi

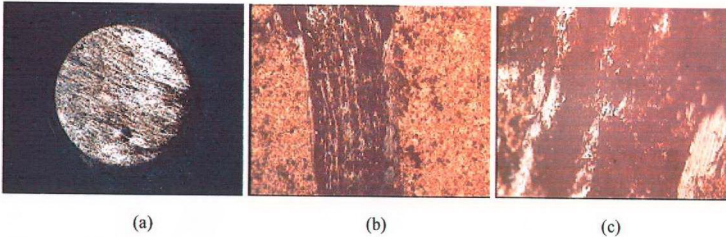
Yapılan aşınma deneyleri sonrasında TiN kaplanmış AISI 1010 çeliği karşısında AISI M50 bilyede uygulanan yükler karşısında hızlara bağlı olarak spesifik aşınma hızı bir miktar düşmekte fakat daha sonra artış göstermektedir. Aynı şekilde uygulanan hızlar arttıkça spesifik aşınma hızının düştüğü görülmektedir. Yapılan aşınma deneyleri sonrasında TiN kaplanmış AISI M2 çeliği karşısında AISI M50 bilyede uygulanan yükler karşısında spesifik aşınma hızının azaldığı, hızlar arttıkça spesifik aşınma hızının bir miktar arttığı fakat daha sonra azaldığı görülmektedir (Şekil 7.90).

TiN kaplanmış her iki çelik türüne karşı yapılan aşınma deneyleri sonucunda AISI M50 bilyede uygulanan yükler ve hızlar arttıkça spesifik aşınma hızlarının düştüğü görülmektedir. TiN kaplanmış AISI 1010 çeliğine karşı uygulanan yükler karşısında uygulanan hızlara bağlı olarak spesifik aşınma hızı bir miktar düşmekte fakat daha sonra artış göstermektedir. TiN kaplanmış AISI M2 çeliğine karşı 0,3 m/s hıza kadar spesifik aşınma hızı artmakta bu hızdan sonra spesifik aşınma hızı düşmektedir.

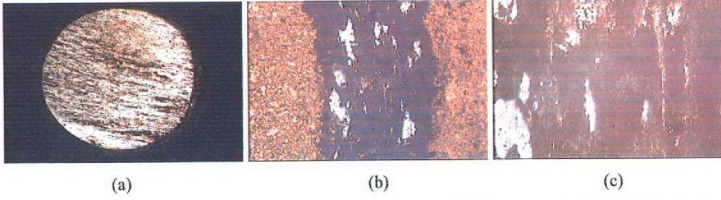
Aşınma deneyleri sonrasında TiN kaplanmış AISI 1010 ve AISI M2 çelik numuneler ile safir ve AISI M50 bilyelerin mikroyapı görüntüleri Şekil 7.91-7.126' da görülmektedir.



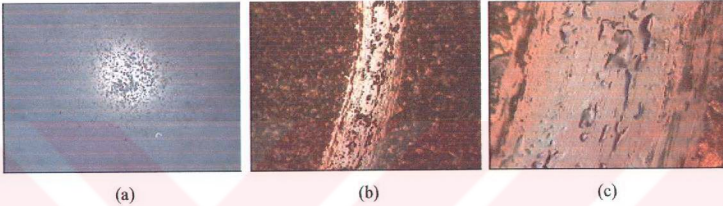
Şekil 7.91 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile AISI M50 bilye arasındaki 2N yük altında ve 0,1 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) AISI M50 bilye (50X) (b) AISI 1010 çelik numune (50X) (c) AISI 1010 çelik numune (200X)



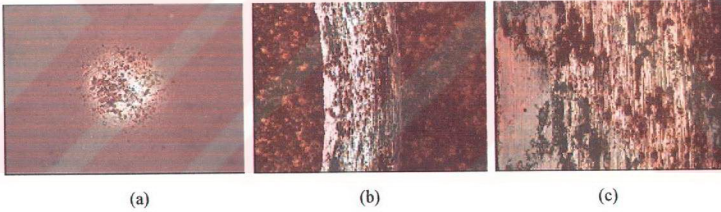
Şekil 7.92 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile AISI M50 bilye arasındaki 5N yük altında ve 0,1 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) AISI M50 bilye (50X) (b) AISI 1010 çelik numune (50X) (c) AISI 1010 çelik numune (200X)



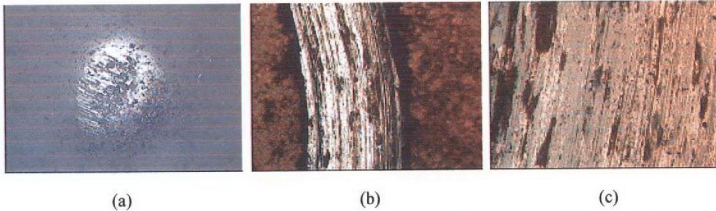
Şekil 7.93 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile AISI M50 bilye arasındaki 10N yük altında ve 0,1 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) AISI M50 bilye (50X) (b) AISI 1010 çelik numune (50X) (c) AISI 1010 çelik numune (200X)



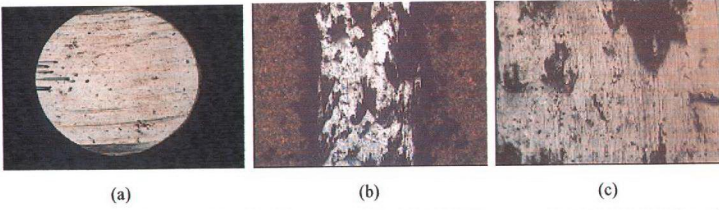
Şekil 7.94 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile safir bilye arasındaki 2N yük altında ve 0,1 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) Safir bilye (50X) (b) AISI 1010 çelik numune (50X) (c) AISI 1010 çelik numune (200X)



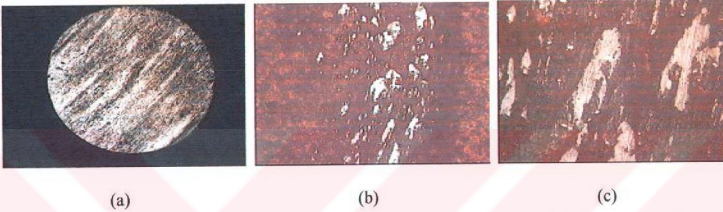
Şekil 7.95 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile safir bilye arasındaki 5N yük altında ve 0,1 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) Safir bilye (50X) (b) AISI 1010 çelik numune (50X) (c) AISI 1010 çelik numune (200X)



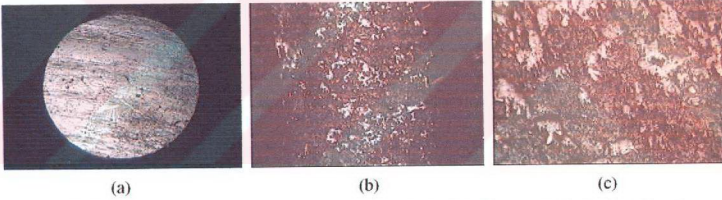
Şekil 7.96 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile safir bilye arasındaki 10N yük altında ve 0,1 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) Safir bilye (50X) (b) AISI 1010 çelik numune (50X) (c) AISI 1010 çelik numune (200X)



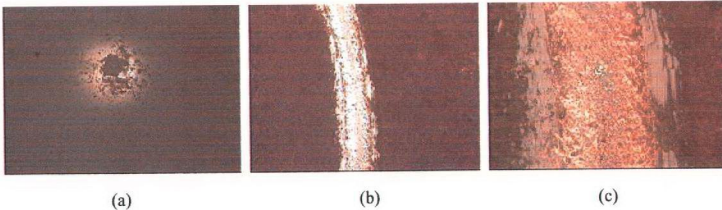
Şekil 7.97 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile AISI M50 bilye arasındaki 2N yük altında ve 0,1 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) AISI M50 bilye (50X) (b) AISI M2 çelik numune (50X) (c) AISI M2 çelik numune (200X)



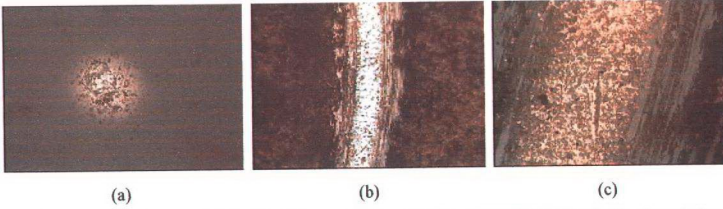
Şekil 7.98 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile AISI M50 bilye arasındaki 5N yük altında ve 0,1 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) AISI M50 bilye (50X) (b) AISI M2 çelik numune (50X) (c) AISI M2 çelik numune (200X)



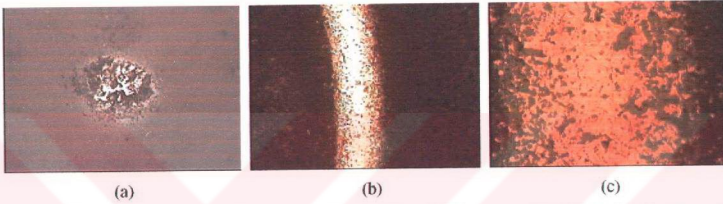
Şekil 7.99 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile AISI M50 bilye arasındaki 10N yük altında ve 0,1 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) AISI M50 bilye (50X) (b) AISI M2 çelik numune (50X) (c) AISI M2 çelik numune (200X)



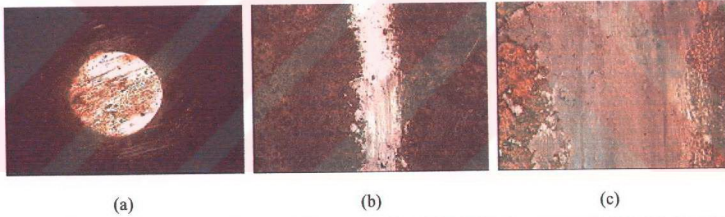
Şekil 7.100 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile safir bilye arasındaki 2N yük altında ve 0,1 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) Safir bilye (50X) (b) AISI M2 çelik numune (50X) (c) AISI M2 çelik numune (200X)



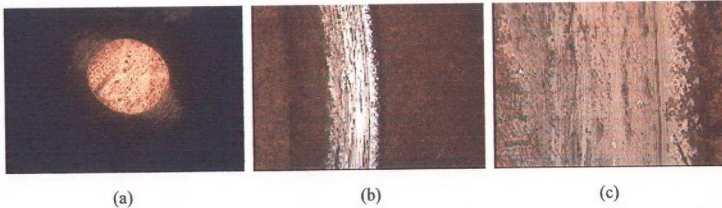
Şekil 7.101 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile safir bilye arasındaki 5N yük altında ve 0,1 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) Safir bilye (50X) (b) AISI M2 çelik numune (50X) (c) AISI M2 çelik numune (200X)



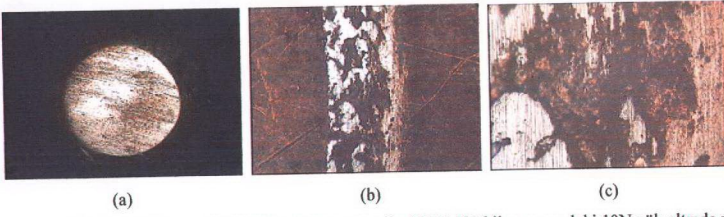
Şekil 7.102 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile safir bilye arasındaki 10N yük altında ve 0,1 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) Safir bilye (50X) (b) AISI M2 çelik numune (50X) (c) AISI M2 çelik numune (200X)



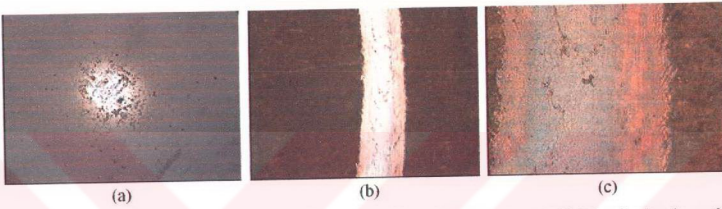
Şekil 7.103 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile AISI M50 bilye arasındaki 2N yük altında ve 0,3 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) AISI M50 bilye (50X) (b) AISI 1010 çelik numune (50X) (c) AISI 1010 çelik numune (200X)



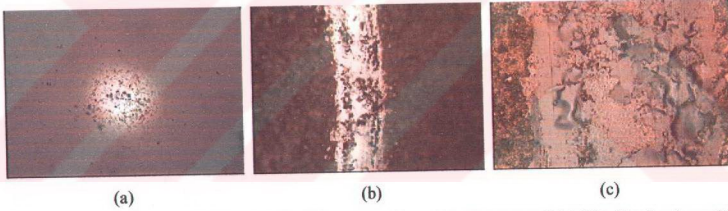
Şekil 7.104 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile AISI M50 bilye arasındaki 5N yük altında ve 0,3 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) AISI M50 bilye (50X) (b) AISI 1010 çelik numune (50X) (c) AISI 1010 çelik numune (200X)



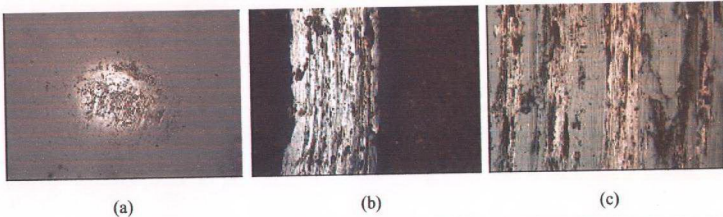
Şekil 7.105 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile AISI M50 bilye arasındaki 10N yük altında ve 0,3 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) AISI M50 bilye (50X) (b) AISI 1010 çelik numune (50X) (c) AISI 1010 çelik numune (200X)



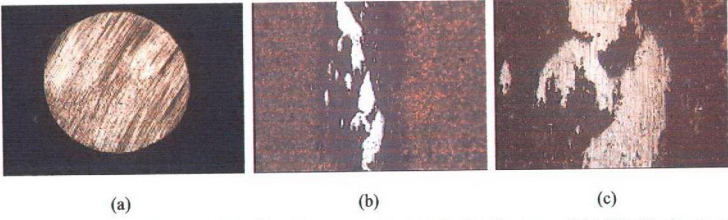
Şekil 7.106 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile safir bilye arasındaki 2N yük altında ve 0,3 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) Safir bilye (50X) (b) AISI 1010 çelik numune (50X) (c) AISI 1010 çelik numune (200X)



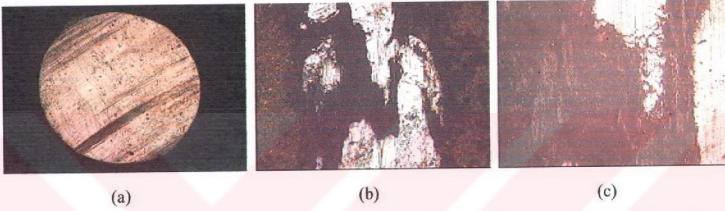
Şekil 7.107 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile safir bilye arasındaki 5N yük altında ve 0,3 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) Safir bilye (50X) (b) AISI 1010 çelik numune (50X) (c) AISI 1010 çelik numune (200X)



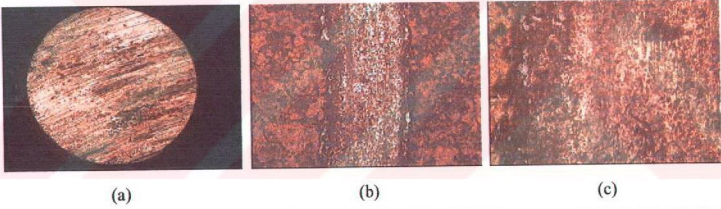
Şekil 7.108 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile safir bilye arasındaki 10N yük altında ve 0,3 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) Safir bilye (50X) (b) AISI 1010 çelik numune (50X) (c) AISI 1010 çelik numune (200X)



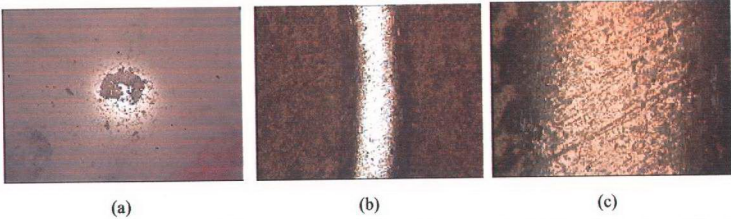
Şekil 7.109 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile AISI M50 bilye arasındaki 2N yük altında ve 0,3 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) AISI M50 bilye (50X) (b) AISI M2 çelik numune (50X) (c) AISI M2 çelik numune (200X)



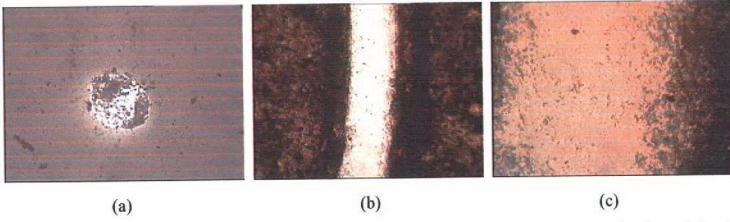
Şekil 7.110 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile AISI M50 bilye arasındaki 5N yük altında ve 0,3 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) AISI M50 bilye (50X) (b) AISI M2 çelik numune (50X) (c) AISI M2 çelik numune (200X)



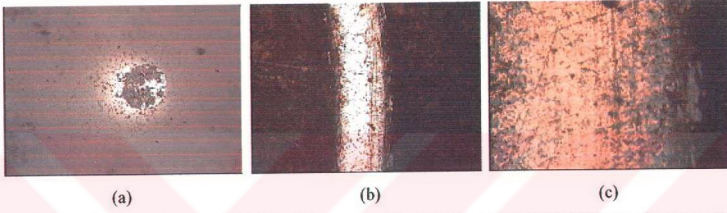
Şekil 7.111 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile AISI M50 bilye arasındaki 10N yük altında ve 0,3 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) AISI M50 bilye (50X) (b) AISI M2 çelik numune (50X) (c) AISI M2 çelik numune (200X)



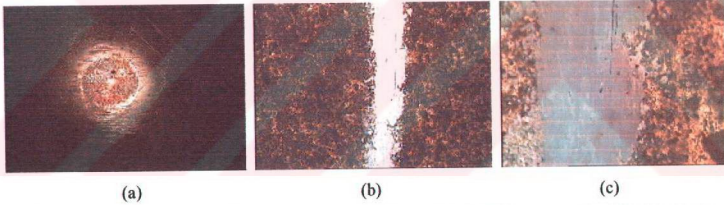
Şekil 7.112 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile safir bilye arasındaki 2N yük altında ve 0,3 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) Safir bilye (50X) (b) AISI M2 çelik numune (50X) (c) AISI M2 çelik numune (200X)



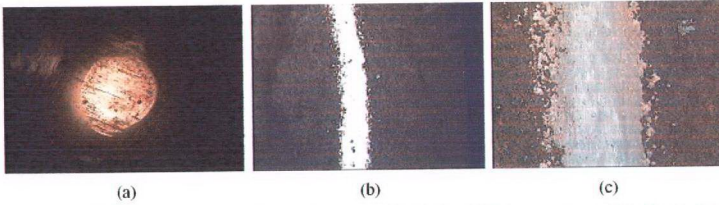
Şekil 7.113 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile safir bilye arasındaki 5N yük altında ve 0,3 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) Safir bilye (50X) (b) AISI M2 çelik numune (50X) (c) AISI M2 çelik numune (200X)



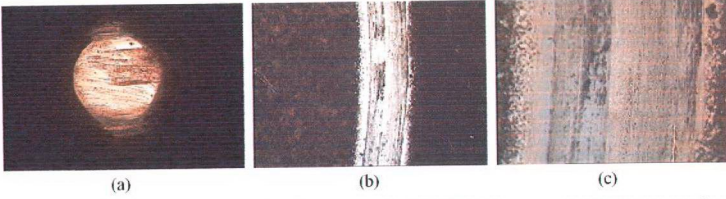
Şekil 7.114 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile safir bilye arasındaki 10N yük altında ve 0,3 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) Safir bilye (50X) (b) AISI M2 çelik numune (50X) (c) AISI M2 çelik numune (200X)



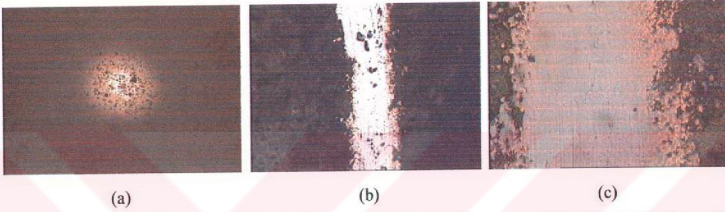
Şekil 7.115 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile AISI M50 bilye arasındaki 2N yük altında ve 0,5 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) AISI M50 bilye (50X) (b) AISI 1010 çelik numune (50X) (c) AISI 1010 çelik numune (200X)



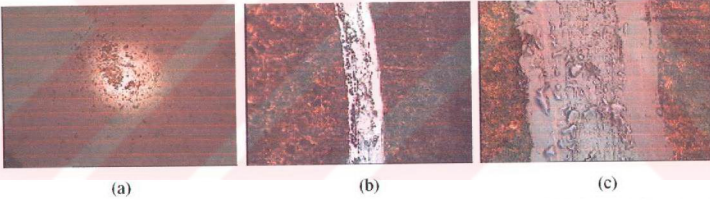
Şekil 7.116 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile AISI M50 bilye arasındaki 5N yük altında ve 0,5 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) AISI M50 bilye (50X) (b) AISI 1010 çelik numune (50X) (c) AISI 1010 çelik numune (200X)



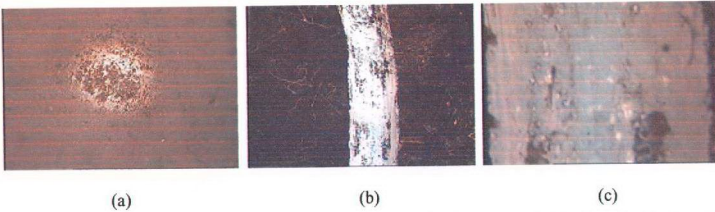
Şekil 7.117 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile AISI M50 bilye arasındaki 10N yük altında ve 0,5 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) AISI M50 bilye (50X) (b) AISI 1010 çelik numune (50X) (c) AISI 1010 çelik numune (200X)



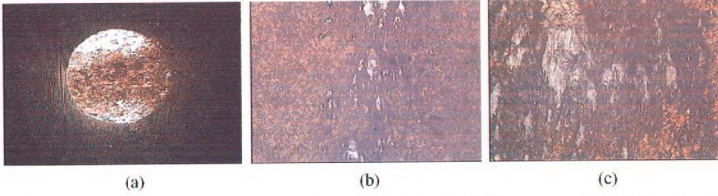
Şekil 7.118 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile safir bilye arasındaki 2N yük altında ve 0,5 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) Safir bilye (50X) (b) AISI 1010 çelik numune (50X) (c) AISI 1010 çelik numune (200X)



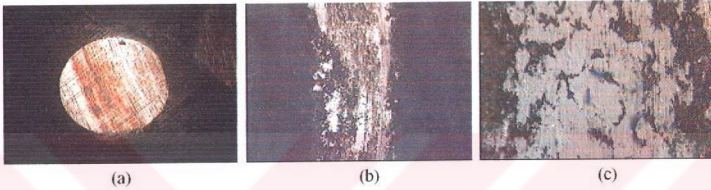
Şekil 7.119 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile safir bilye arasındaki 5N yük altında ve 0,5 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) Safir bilye (50X) (b) AISI 1010 çelik numune (50X) (c) AISI 1010 çelik numune (200X)



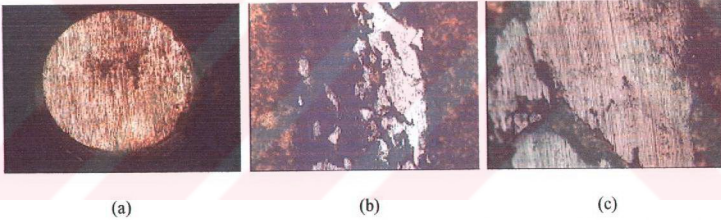
Şekil 7.120 TiN kaplanmış AISI 1010 çelik numune ile safir bilye arasındaki 10N yük altında ve 0,5 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) Safir bilye (50X) (b) AISI 1010 çelik numune (50X) (c) AISI 1010 çelik numune (200X)



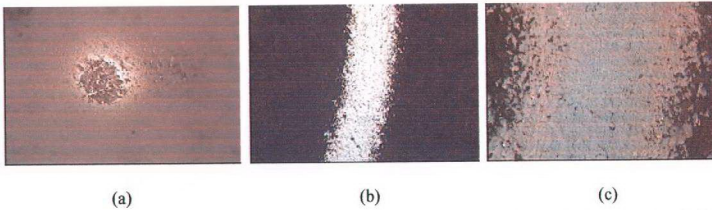
Şekil 7.121 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile AISI M50 bilye arasındaki 2N yük altında ve 0,5 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) AISI M50 bilye (50X) (b) AISI M2 çelik numune (50X) (c) AISI M2 çelik numune (200X)



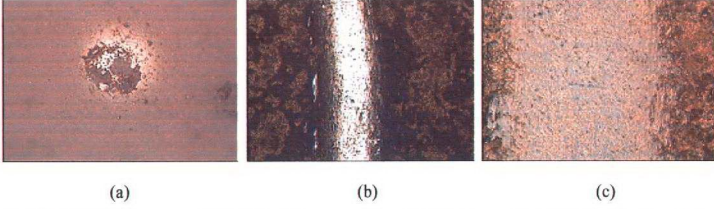
Şekil 7.122 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile AISI M50 bilye arasındaki 5N yük altında ve 0,5 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) AISI M50 bilye (50X) (b) AISI M2 çelik numune (50X) (c) AISI M2 çelik numune (200X)



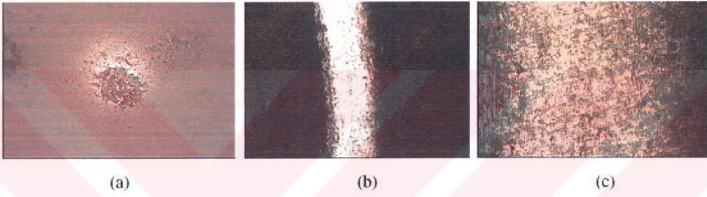
Şekil 7.123 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile AISI M50 bilye arasındaki 10N yük altında ve 0,5 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) AISI M50 bilye (50X) (b) AISI M2 çelik numune (50X) (c) AISI M2 çelik numune (200X)



Şekil 7.124 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile safir bilye arasındaki 2N yük altında ve 0,5 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) Safir bilye (50X) (b) AISI M2 çelik numune (50X) (c) AISI M2 çelik numune (200X)



Şekil 7.125 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile safir bilye arasındaki 5N yük altında ve 0,5 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) Safir bilye (50X) (b) AISI M2 çelik numune (50X) (c) AISI M2 çelik numune (200X)



Şekil 7.126 TiN kaplanmış AISI M2 çelik numune ile safir bilye arasındaki 10N yük altında ve 0,5 m/s hızdaki aşınma deneyi sonucu oluşan mikroyapı görüntüleri (a) Safir bilye (50X) (b) AISI M2 çelik numune (50X) (c) AISI M2 çelik numune (200X)

Aşınma izlerinden anlaşılacağı gibi safir bilye ile yapılan aşınma deneyleri abrasif karakterdedir. Oysa AISI M50 bilye TiN kaplama üzerine yapılarak adhezyon bir aşınma gerçekleşmesine neden olmaktadır.

BÖLÜM 8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

8.1.Sonuçlar

1) Klasik metalografi teknikleri ile hazırlanan numuneler üzerinde yapılan optik mikroskop incelemeleri neticesinde, TiN kaplam işlemine tabi tutulan bütün numunelerde TiN tabakası ve matris açık bir şekilde ortaya çıkmıştır. Gerçekleştirilen TiN kaplama işlemi sonrasında, TiN kaplama sıcaklığı ve süresine bağlı olarak seramik esaslı bir kaplama tabakası ve matris fazından oluşan iki farklı bölge ortaya çıkmıştır. Ayrıca TiN kaplama tabakası malzeme yüzeyinde homojen bir şekilde süreklilik arz etmektedir.

2) Gerçekleştirilen TiN kaplama işlemi sonrasında, TiN kaplama tabakasının sıcaklığa ve zamana bağlı olarak artış gösterdiği görülmüştür. Altlık olarak kullanılan malzemenin kimyasal bileşiminde bulunan alaşım elementlerine bağlı olarak ta tabaka kalınlığının arttığı tespit edilmiştir.

3) TiN kaplama işlemine tabi tutulan AISI 1010 ve AISI M2 çeliklerinin, kaplama işlemi sonrasında oluşan kaplama tabakasının TiN tabakası olduğu EDS ve x-ışınları çalışmaları ile kanıtlanmıştır.

4) Yüksek karbonlu ve yüksek alaşımli AISI M2 çeliklerinde ki sertlik değerleri, alaşım elementi içermeyen düşük karbonlu AISI 1010 çeliklerinde ki sertlik değerlerinden daha yüksek olduğu yapılan sertlik ölçümleri sonrasında tespit edilmiştir. Bu sebeple alaşım elementi içeren ve yüksek karbon içeren TiN kaplanabilen çeliklerde ki sertlik değerleri daha yüksek olmaktadır.

5) TiN kaplanmış AISI 1010 çelik malzemelerin safir bilye ile aşındırılması sırasında, sürtünme katsayısı değerleri 0,10 ile 0,36 arasında değişmektedir. Aynı şekilde AISI 1010 çelik malzemelerin AISI M50 bilye ile aşındırılması sırasında, sürtünme katsayısı değerleri 0,16 ile 0,51 arasında değişmektedir. TiN kaplanmış AISI M2 çelik malzemelerin safir bilye ile aşındırılması sırasında, sürtünme katsayısı değerleri 0,31 ile 0,53 arasında değişmektedir. AISI 1010 çelik malzemelerin AISI M50 bilye ile aşındırılması sırasında, sürtünme katsayısı değerleri 0,31 ile 0,82 arasında değişmektedir. AISI M50 bilye ile yapılan aşınma deneylerinde elde edilen sürtünme katsayılarının yüksek olmasının sebebi genellikle talaşlı imalatta kullanılan TiN kaplamaların AISI M50 bilyeyi aşındırmasından kaynaklanmıştır.

6) Yapılan aşınma deneyleri sonucunda elde edilen aşınma hacimleri incelendiği takdirde, hem altlık malzemelerde hem de bilyelerde aşınma hacimlerinde, uygulanan yük arttıkça artış gösterdiği görülmüştür. Aynı şekilde uygulanan kayma mesafesi arttıkça aşınma hacimlerinde artış görüldüğü tespit edilmiştir.

7) Yapılan aşınma deneyleri sonucunda elde edilen aşınma hızları incelendiği takdirde, hem altlık malzemelerde hem de bilyelerde, aşınma hızları genel olarak uygulanan yükler arttıkça artış gösterdiği görülmüştür. Aynı şekilde uygulanan hızlar arttıkça aşınma hızlarında artış olduğu görülmüştür.

8) Yapılan aşınma deneyleri sonucunda elde edilen spesifik aşınma hızları incelendiği takdirde, hem altlık malzemelerde hem de bilyelerde, spesifik aşınma hızları genel olarak uygulanan yükler arttıkça azalma gösterdiği görülmüştür. Aynı şekilde uygulanan hızlar arttıkça spesifik aşınma hızlarında azalma olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak, AISI 1010 ve AISI M2 çelikleri termo-reaktif difüzyon (TRD) tekniğiyle TiN kaplanabilmektedir. Elde edilen kaplama kalitesi fiziksel buhar biriktirme (PVD) ve kimyasal buhar biriktirme (CVD) teknikleri ile elde edilen TiN kaplamalar kadar kaliteli olmaktadır. Ayrıca PVD tekniğinde yaklaşık 7 ila 9 µm kaplama tabakası kalınlığı elde ederken, TRD tekniğiyle uygulama süresi uzatılarak ve altlık malzemesi değiştirilerek daha kalın kaplama tabakası elde edilebilir. Bu

teknikle elde edilen TiN kaplamaların maliyeti PVD ve CVD tekniklerine göre çok daha ekonomiktir. PVD ve CVD tekniklerinin uygulanabilirliği özel imkanlar gerektirdiğinden zor ve zahmetlidir, TRD tekniğinde ise hiçbir zorluk olmayıp sadece 1200 °C sıcaklıklarda çalışabilen bir fırın yeterli olmaktadır.

8.2. Öneriler

1) Bu çalışmada AISI 1010 ve AISI M2 çeliklerinin termo-reaktif difüzyon TRD tekniğiyle TiN kaplanabilirliği araştırılmıştır. Dünya literatüründe TRD tekniğiyle TiN kaplama işlemi hakkında detaylı bir bilgi olmadığından diğer çelik türlerinin TRD tekniğiyle TiN kaplanabilirliği araştırılabilir.

2) Yapılan çalışmada AISI 1010 ve AISI M2 çeliklerinin yüzeylerinde oluşan TiN kaplama tabakalarında en iyi sonuçların, yüksek sıcaklıklarda oluşan kaplamalarda elde edilmiştir. Diğer çelik türlerinde de sıcaklık ve sürenin etkisi araştırılabilir.

3) TiN kaplanmış AISI 1010 ve AISI M2 ve diğer çelik türleri üzerinde korozyon, oksidasyon, kırılma tokluğu ve yorulma direnci gibi özelliklerin belirlenmesi için gerekli çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] www.mmo.org.tr/muhendismakina/arsiv/2002/eylul/makale_plazma.htm
- [2] www.mmo.org.tr/muhendismakina/arsiv/2004/makale_plazma.htm
- [3] ŞEN, U., “Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Bor Kaplanması ve Kaplama Özellikleri”, Doktora Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Eylül 1997.
- [4] ÖĞEL, B., “Metal Yüzeyle Uygulanan İşlemler, Yöntem ve Malzeme Seçimi”, Metalurji Dergisi, pp. 5-10, 1988.
- [5] www.maden.org.tr/www/7.BYKP/ekutup96/o480/titanyum/titanyum.htm
- [6] <http://riooptik.sitemynet.com/riooptik/id15.htm>
- [7] Smith, W. F., “Malzeme Bilimi ve Mühendisliği”, Çeviren Nihat G. Kinikoğlu, Literatür Yayınevi, Ekim 2001.
- [8] POLMEAR, I. J., “Light Alloys, Metallurgy of the Light Metals”, Third Edition, 1995.
- [9] İPEK, M., “Kutu Sementasyon Yöntemiyle Çelik Yüzeylerin TiC Kaplanması”, Yüksek Lisans Tezi, SAÜ Metalurji Mühendisliği Bölümü, Sakarya, 1996.
- [10] TOPBAŞ, M. A., “Isıl İşlemler”, Yıldız Teknik Üniversitesi, Metalurji Mühendisliği, İstanbul, 1993
- [11] DOSSETT, J., ASM Handbook, V.4: Heat Treating, OH: ASM International; 1991. p. 376-436.
- [12] ASİL ÇELİK, “Takım Çelikleri”, Asil Çelik Teknik Yayınları 7, Syf. 36.

- [13] AKGÜL, A., “6. Metalurji Kongre ve Sergisi Bildirim Kitabı”, Cilt II, Syf. 416-417.
- [14] TEKİN, E., “Mühendisler için Çelik Seçimi”, TMMOB Yayınları, Yayın No: 119, Syf. 336-338, Ankara, 1986.
- [15] AKSACI, D., “Tuz Banyosunda Nitritleme İşlemi”, Metalurji Dergisi, Sayı 66, Syf. 47-53, Şubat, 1990
- [16] ÇEĞİL, Ö., “AISI 8620 Çeliğinin Bor-Vanadyumlanması ve Yüzey Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Haziran, 2002.
- [17] ARAI, T., “Thermoreactive deposition/diffusion process”, ASM Handbook, V.4: Heat Treating. Materials Park, OH: ASM International; 1991. p. 448–53.
- [18] ARAI, T., “Development of carbide, nitride coatings by thermo-reactive deposition and diffusion. Surface Modification Techniques III”, Proceedings of the Third International Conference, Neuchatel, Switzerland, 1989. p. 587–98.
- [19] ŞEN, U., “Thermo-reactive diffusion vanadium nitride coatings on AISI 1020 steel”, ECERS. Eighth Conference and Exhibition of the European Ceramic Society, Istanbul, Turkey, 29 June–3 July 2003. p. 777–81.
- [20] www.teknoplazma.com.tr/tr/frame-urunhizmet.htm, 2003
- [21] www.titanit.com.tr/tin.asp, 2003
- [22] WRIEDT, H. A., MURRAY, J. L., ASM Handbook, V.3: Alloy Phase Diagrams, OH: ASM International; 1987. p. 299.
- [23] TOKMANOĞLU, K., Ark Tekniği ile Seramik Kaplamalar, TİNKAP, Metal Yüzey İşlemler Kataloğu, 2003.
- [24] “İşlenebilirlik ve Co Uygulaması” Asil Çelik, Teknik Yay. Şubat 1994 S: 10–23
- [25] ÜSTEL, F., “Kutu Sementasyon Tekniği ile Yüksek Hız Çeliği Yüzeyinde Ti_xNL_{-x} Türü Yüksek Sert Tabakaların Üretilebilirliğinin Araştırılması”, Doktora Tezi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, SAÜ, 1998

- [26] Teknik Bülten Böhler Sert Metal No: 1,30,9
- [27] ŞEN, U., "Kinetics of Titanium Nitride Coatings Deposited by Thermo-Reactive Deposition Technique", Vacuum, Volume 75, Issue 4, August 2004, Pages 339-345
- [28] HOLMBERG, K., MATTHEWS, A., "Coating Tribology", Elsevier Tribology Series, 28, 1994, London
- [29] BOZKURT, N., "Bor Yayınımı ile Çeliklerde Yüzey Sertleştirme", Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İTÜ, 1984



ÖZGEÇMİŞ

Gürhan DENİZ, 1976 yılında Sakarya ilinin Geyve ilçesinde doğmuştur. 1995 yılında Sakarya Teknik Lisesi' ni iyi derece ile bitirmiştir. Aynı yıl İzmir Hava Teknik Astsubay Okulu' nu kazanmış şahsi sebeplerden dolayı bu okulu bırakmıştır. 1997 yılında girdiği Sakarya Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Öğretmenliği Bölümü' nden 2001 yılında iyi derece ile mezun olmuştur. Aynı yıl Sakarya Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalı' nda Yüksek Lisans eğitimine başlamıştır. Halen Yüksek Lisans eğitimine devam etmektedir.

2004 yılında Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü' ne Araştırma Görevlisi olarak atanan ve hala bu görevini devam ettiren Gürhan DENİZ, evli ve bir çocuk babasıdır.