



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

FARKLI YÜZEY İŞLEMLERİ UYGULANMIŞ
1.2344 İŞ TAKIM ÇELİKLERİNİN
KOROZYON VE AŞINMA
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Fatma NURBAŞ

YÜKSEK LİSANS

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim
Dalı

Şubat-2022
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Fatma NURBAŞ tarafından hazırlanan “Farklı yüzey işlemleri uygulanmış 1.2344 iş takım çeliklerinin korozyon ve aşınma davranışlarının incelenmesi” adlı tez çalışması 03/02/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa KOCABAŞ

.....

Danışman

Doç. Dr. Mehmet YILDIRIM

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Gökhan ARICI

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Fatma NURBAŞ

Tarih: 30/05/2022

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

FARKLI YÜZEY İŞLEMLERİ UYGULANMIŞ 1.2344 İŞ TAKIM ÇELİKLERİNİN KOROZYON ve AŞINMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Fatma NURBAŞ

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç.Dr. Mehmet YILDIRIM

2022, 56 Sayfa

Jüri

Doç.Dr. Mehmet YILDIRIM
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa KOCABAŞ
Dr. Öğr. Üyesi Gökhan ARICI

Mekanik aşınma ve korozyon, kullanılan kalıp parçalarında genelde ölçü değişmesi istenmeyen parçalarda ölçü farkı meydana getirir. Aşınma malzemenin kırılmasına, şekil değiştirmesine sebep olur. Aşınma ve korozyon sebebiyle makine parçalarında meydana gelen hasar, ekonomik olarak zarar göstermektedir. Aşınma ve korozyonu engellemek için sadece malzeme seçimi yapmak asla yeterli bir çözüm değildir. Çözümü ise günümüzde kullanılan modern yüzey işlem metotlarını kullanarak iyileştirmektedir.

Bu çalışmada sıcak dövme kalıplarından genellikle kullanılan DIN 1.2344 sıcak iş takım çeliğinin ömürlerinin incelenip karşılaştırılması için iki ana konuya odaklanılmıştır: (i) DIN 1.2344 çeliğine gaz ve iyon nitrasyon işlemi yaparak mikroyapı, sertlik ve aşınmasının incelenmesi ve (ii) akımsız nikel-bor kaplama yaparak sıcak iş takım çeliğinin mikroyapısı, sertliği ve aşınma direncine etkisinin incelenmesi, bu iki prosesin dövme kalıplarındaki ömürlerin arttırılmasına yönelik çalışma yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Akımsız Ni-B kaplama, Aşınma davranışı, DIN 1.2344 takım çeliği, Gaz nitrasyon, Korozyon, Sertlik

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION of CORROSION and WEAR BEHAVIOR of 1.2344 HOT WORK TOOL STEELS with VARIOUS SURFACE TREATMENTS

Fatma NURBAŞ

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Metallurgy and Materials Engineering**

Advisor: Assoc Prof.Dr. Mehmet YILDIRIM

2022, 56 Pages

Jury

**Assoc. Prof. Dr. Mehmet YILDIRIM
Asst. Prof. Dr. Mustafa KOCABAŞ
Asst. Prof. Dr. Gökhan ARICI**

Mechanical wear and corrosion cause a size difference in the mold parts used, which are generally not required to change in size. Abrasion causes the material to break and deform. Damage to machine parts due to wear and corrosion causes economic damage. Material selection alone is never an adequate solution to prevent wear and corrosion. The solution is improved by using modern surface treatment methods used today.

In this study, two main topics are focused on in order to examine and compare the life of DIN 1.2344 hot work tool steel, which is generally used from hot forging dies: (i) examination of microstructure, hardness and wear of DIN 1.2344 steel by gas and ion nitration treatment and (ii) hot work by electroless nickel-boron plating. Investigation of the effect of tool steel on the microstructure, hardness and wear resistance of the tool steel, and the study was carried out to increase the life of these two processes in forging dies.

Keywords: Corrosion, DIN 1.2344 tool steel, Electroless Ni-B plating, Gas nitriding, Hardness, Wear behavior,

ÖNSÖZ

Çalışmalarım sürecinde yardımlarını ve deneyimlerini esirgemeyen danışmanım Doç.Dr. Mehmet YILDIRIM'a karşılaştığım sorunları hiçbir zaman çözümsüz bırakmayan bölümümüz Arş.Gör. Mehmet Şahin ATAŞ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca tüm eğitim-öğretim hayatım boyunca olduğu gibi eğitimimin bu aşamasında da bana destek olan aileme minnettarım.

Tez kapsamında kullanmış olduğum takım çeliğın tedarik edilmesi ve işlenmesinde yardımlarını esirgemeyen Büyük Eker Bijon San. Tic. A.Ş, ısıl işlem tedarikliğini ettiğım Döksan Isıl İşlem ve Arge Merkezi A.Ş ve kaplama tedarikliğini için de Bematek Malzeme Teknolojileri Proje Danışmanlık Araştırma Geliştirme San. ve Tic. Ltd. Şti. sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Fatma NURBAŞ
KONYA-2022



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ŞEKİL LİSTESİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Takım Çelikleri	3
2.2. Takım Çeliklerin Sınıflandırılması	3
2.2.1. Suda sertleşen takım çelikleri	3
2.2.2. Darbe dayanımlı takım çelikleri	4
2.2.3. Yağda sertleşen soğuk iş takım çelikleri.....	5
2.2.4. Havada sertleşen soğuk iş takım çelikleri.....	5
2.2.5. Yüksek karbon ve krom içeren soğuk iş takım çelikleri.....	6
2.2.6. Kalıp çelikleri	7
2.2.7. Yüksek hız takım çelikleri	7
2.3. Sıcak İş Takım Çelikleri	8
2.3.1. Sıcak iş takım çeliklerin sınıflandırılması	9
2.3.2 Sıcak iş takım çeliklerinden beklenen özellikler	9
2.3.3. Alaşım elementlerinin sıcak iş takım çeliklerine etkisi	10
2.4. Sıcak İş Takım Çeliklerine Uygulanan Yüzeysel İşlemleri	11
2.4.1. Nitrasyon.....	11
2.4.2. Nitrasyon işleminin mekanik özelliklere etkisi	17
2.4.3. Akımsız nikel kaplama	17
2.4.4. Akımsız nikel kaplama özellikleri	19
3. MATERYAL VE YÖNTEM	21
3.1. Materyal	21
3.2. Kaplama	21
3.2.1. Akımsız Ni-B Kaplama	21
3.2.2. Nitrasyon.....	21
3.3. Karakterizasyon	21
3.3.1. Kimyasal analiz.....	21
3.3.2. Mikroyapı analizi	22
3.2.3. Enine kesit incelemeleri	23
3.2.4. Faz analizleri ve elementel analizler	23

3.2.5. Sertlik testi	24
3.2.6. Aşınma testi	25
3.2.8. Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri	26
3.2.7. Korozyon testi	26
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	28
4.1. Kimyasal Analiz Sonuçları	28
4.2. Faz Analizleri ve Elementel Analizler	28
4.3. Mikroyapı Sonuçları	30
4.4. Enine Kesit İnceleme Sonuçları.....	31
4.5. Sertlik Sonuçları	32
4.6. Aşınma Deneyi Sonuçları	33
4.6. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümleri	36
4.7. Korozyon Deneyi Sonuçları.....	37
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	38
5.1. Sonuçlar	38
5.2. Öneriler	38
KAYNAKLAR	39
ÖZGEÇMİŞ	42

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

%	: Yüzde
Al	: Alüminyum
B	: Bor
C	: Karbon
°C	: Derece Celcius
cm ³	: Santimetreküp
CN	: Siyanür
Co	: Kobalt
CO ₂	: Karbondioksit
Cr	: Krom
Fe	: Demir
Mn	: Mangan
Mo	: Molibden
N	: Azot
NH ₃	: Amonyak
Ni	: Nikel
P	: Fosfor
Si	: Silisyum
SiC	: Silisyum karbür
Ti	: Titanyum
V	: Vanadyum
Zn	: Çinko
Å	: Angstrom
μ	: Mikron

Kısaltmalar

AISI	: Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü
cm	: Santimetre
DIN	: Alman Standartları Enstitüsü
g	: Gram
HRC	: Rockwell Sertlik
HV	: Vickers Sertlik
Kv	: Kilovolt
MPa	: Mega Pascal
XRD	: X-Işınları Kırınımı
μm	: Mikrometre
mbar	: Milibar
V	: Volt
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
PDP	: Potansiyodinamik polarizasyon
OCP	: Açık devre potansiyeli

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2. 1. AISI standartlarına göre takım çeliklerinin sınıflandırılması (Kısasöz, 2010).....	3
Çizelge 2. 2. AISI standartlarına göre W grubu çeliklerin kimyasal kompozisyonu (Kısasöz, 2010).....	4
Çizelge 2. 3. AISI standartlarına göre S grubu çeliklerin kimyasal kompozisyonu (Albaraz, 2010).....	4
Çizelge 2. 4. AISI standartlarına göre O grubu çeliklerin kimyasal kompozisyonu (Kısasöz, 2010).....	5
Çizelge 2. 5. AISI standartlarına göre A grubu çeliklerin kimyasal kompozisyonu (Toptop, 2011).....	5
Çizelge 2. 6. AISI standartlarına göre D grubu çeliklerin kimyasal kompozisyonu (Kısasöz, 2010).....	6
Çizelge 2. 7. AISI standartlarına göre P grubu çeliklerin kimyasal kompozisyonu (Kısasöz, 2010).....	7
Çizelge 2. 8. AISI standartlarına göre çeliklerin kimyasal kompozisyonu (Kısasöz, 2010).....	7
Çizelge 2. 9. AISI standartlarına göre H grubu çeliklerin kimyasal kompozisyonu (Özer, 2016)	8
Çizelge 3. 1. Aşınma Testi deney parametreleri	25
Çizelge 4. 1. Deneysel çalışmada kullanılan sıcak iş takım çeliğinin kimyasal kompozisyonu	28
Çizelge 4. 2. Numunelerin sertlik testi sonuçları.....	33
Çizelge 4. 3. Aşınma testi sonucunda belirlenen sürtünme katsayısı değerleri.....	35
Çizelge 4. 4. Kaplamasız ve kaplamalı numunelere ait yüzey pürüzlülüğü verileri	36
Çizelge 4.5. Kaplamaların 0.1 M NaCl içindeki elektrokimyasal verileri.....	51

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2. 1. İyon nitrasyon sisteminin şematik gösterimi (Kahraman ve ark., 2013).....	13
Şekil 2. 2. İyon nitrasyon saçılma mekanizması (Baycık, 1999)	13
Şekil 2. 3. İyon nitrasyon akım boşalım sistemi (Baycık, 1999).....	14
Şekil 2. 4. Nitrasyon işleminde oluşan tabakalar (Bakdemir ve ark., 2020).	14
Şekil 2. 5. Beyaz tabaka ve difüzyon tabakasında oluşan fazların gösterimi (Bostan, 2015).....	15
Şekil 2. 6. NH ₃ çelik yüzeyinde ayrışma ve gaz nitrürlemenin gösterimi (Korkmaz, 2020)	16
Şekil 2. 7. Gaz nitrasyon uygulanmış malzemede beyaz tabaka ve dizüyon tabaka görünümü (Korkmaz, 2020).	16
Şekil 2. 8. ϵ (Fe ₂ -3N) ve γ' - (Fe ₄ N) kristal kafes yapılarının gösterimi (Korkmaz, 2020)	17
Şekil 2. 9. Akımlı (electrolytic) ve akımsız (electroless) kaplamalarda kalınlık dağılımı (Parkinson).....	18
Şekil 2. 10. Ni-B faz diyagramı (Vitry ve ark., 2012).....	20
Şekil 3. 1. Spektrolab cihazı	22
Şekil 3. 2. Metkon Forcİpol 2v zımpara cihazı.....	22
Şekil 3. 3. Nikon Eclipse MA100 model optik mikroskop	23
Şekil 3. 4. BRUKER D8 ADVANCE X-Işını Difraktometre test cihazı	24
Şekil 3. 5. Microbul 1000-DN Micro Vickers sertlik ölçüm cihazı	24
Şekil 3. 6. Aşınma testlerinde kullanılan UTS Tribolog aşınma test sistemi	26
Şekil 3. 7. Korozyon deney düzeneği	27
Şekil 4. 1. XRD sonuçları.....	29
Şekil 4. 2. (a) Ni-B (b) Kaplamasız (c) gaz nitrasyon (d) plazma nitrasyon kaplamalara ait EDS line scan analizleri	30
Şekil 4. 3. Kaplamasız 1.2344 sıcak iş takım çeliğine ait mikroyapı fotoğrafları, (a) 50X, (b) 100X , (c) 200X , (d) 500X ve (e) 1000X	31
Şekil 4. 4. Akımsız Ni-B kaplamanın yapısı	31
Şekil 4. 5. (a) Gaz nitrasyon (b) Akımsız Ni-B (c) Plazma nitrasyon kaplamaların enine kesit görüntüsü.....	32
Şekil 4. 6. (a) Gaz nitrasyon, (b) Plazma nitrasyon kaplamaların beyaz tabaka ve difüzyon tabakası	32
Şekil 4. 7. Aşınma testi sonucunda elde edilen sürtünme kuvveti-sürtünme katsayısı eğrileri: (a) Akımsız Ni-B kaplama, (b) Kaplamasız, (c) Gaz nitrasyon, (d) Plazma nitrasyon.....	34
Şekil 4. 8. Aşınma testi sonucunda (a) Akımsız Ni-B kaplama, (b) Gaz nitrasyon, (c) Kaplamasız numunelerin aşınma miktarları	35
Şekil 4. 9. Aşınma deneyi sonucunda göre hesaplanan aşınma faktörü değerleri.....	36
Şekil 4. 10. Kaplamalara ait (a) OCP ve (b) PDP eğrileri	37

1. GİRİŞ

Çelikler mekanik özelliklerinden dolayı otomotiv, inşaat, tıp ve havacılık gibi birçok sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kimyasal bileşimlerinin değiştirilmesi ya da ısıl işlem proseslerinden dolayı yapısal olarak davranışlarının geliştirilmesi birçok uygulamalarda kullanılmasının ana sebebidir. Bu uygulamalarda yaygın olarak kullanılan çeliklerden biri de sıcak iş takım çelikleridir. Sıcak iş takım çelikleri üretim aşamalarındaki malzemeler olup en yaygın kullanım alanları dövme, ekstrüzyonu ve yüksek basınçlı döküm uygulamalarıdır (Karaca, 2019). Takım ve kalıpların performansı, sıcak iş takım çeliğinin kalitesine, uygulanan ısıl işlem proseslerine, ısıl işlem sonrası uygulanan yüzey işlemlerine, tasarım geometrisine ve kullanım şartlarına bağlı olarak değişim göstermektedir. Sıcak iş takım çeliklerinin, göstermiş olduğu performanslar üretim maliyetlerini etkilemektedir. Örneğin, 1 ton sıcak iş takım çeliği üretimi için 1200 kg CO₂, 25 kg CO salınımı gerçekleştirilmekte ve takriben 5 ton su harcanmaktadır. Çevresel ve ekolojik faktörlerin insanlık geleceğinin tehdit eder hale gelmiştir ve bu dönemde sıcak iş takım çeliklerinin kullanım yerine göre performansının artırılması hem iktisadi hem de ahlaki bir boyut kazanmıştır (Asan, 2008).

Genellikle dövme uygulamalarında kullanılan takımlar sıcak işleme çeliklerinden yapılmaktadır. Dövme esnasında kalıp parçalarında yüksek termal ve mekanik strese maruz kalır. Bu gerilimler, kalıpların arızalanmasına neden olur; sıcak dövme kalıplarının ömrü, genellikle, aşındırıcı, termal ve mekanik yorulma ve plastik deformasyon gibi yük altındaki karmaşık etkileşimli mekanizmalarla sınırlıdır. Aşınma, kalıp ve iş parçası arasındaki sürtünmeden kaynaklanan olumsuz bir durumdur. İş parçasının sıcak dövme sırasında, sıcaklığının 1000 °C' nin oldukça üzerinde olması nedeniyle kalıbın sıcaklığı geçici olarak 500 °C' yi aşacaktır. Bu nedenle, sıcak işlenen çelikler, yüksek termal ve mekanik yük altında daha fazla temperleme yaşayacaktır. Bu da kullanım ömrünü azaltmaktadır (Adiloğlu, 2008).

Bundan dolayı, kullanılan çeliğin seçimi, üretim yöntemi, uygulanan ısıl işlem ve kullanılma yeri gibi faktörler aşınma açısından önemlidir. Ayrıca, kullanılan malzemelerde mekanik özelliklerinden başka yüzeyde koruyucu bir tabaka ve yüksek sertlik istenir. Aşınma da yüzeyde olduğundan dolayı, bilinen en iyi önlem sertlik artırılmasıdır.

Bu amaçla yüzey sertleştirme yöntemleri uygulanır. Bu uygulama yapılarak aşınma dayanımının yüksek olması ve malzemenin iç kısmının tok kalması sağlanır.

Bu tez çalışmasında, genellikle sıcak dövme kalıbı olarak kullanılan 1.2344 (H13) sıcak iş takım çeliğine nitrasyon ve akımsız nikel-bor (Ni-B) kaplama yüzey işlemleri uygulanarak aşınma, korozyon, sertlik gibi parametrelerinin karşılaştırılması incelenmiştir.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Takım Çelikleri

Endüstride yaygın olarak kullanılan takım çelikleri talaşlı veya talaşsız imalatta kullanılan, sıcak veya soğuk haldeki iş parçalarını kesme, dövme ve sıkıştırma yöntemlerinden biri veya birkaçı ile şekillendirme işi yapabilen yüksek nitelikli çeliklerdir. 1868 yılında havada sertleşen tungsten alaşımlı takım çeliklerinin üretimi ile başlayan süreç 1898 yılında yüksek hız çelikleri, 1904 yılında vanadyum ile alaşımlama, 1906'da elektrik ark fırını uygulamaları, 1970'te takım çeliklerinde toz metalurjisi uygulamaları ve 1980'lerle birlikte ince film kaplama uygulamaları ile devam etmiştir (Yeşilçubuk, 2010).

2.2. Takım Çeliklerin Sınıflandırılması

Takım çeliklerini gruplandırmak için farklı yöntemler kullanılmaktadır. AISI standardına göre kabul edilmiş bu çeliklerin sınıflandırılması karakteristik özellikleri, uygulama alanları veya ısıl işlemlerine göre yapılmaktadır (Toptop, 2011). Çizelge 2.1'de AISI standardına göre 9 farklı takım çelikleri ve sembolleri yer almaktadır.

Çizelge 2. 1. AISI standartlarına göre takım çeliklerinin sınıflandırılması (Kıyasöz, 2010)

Takım Çeliklerin Sınıflandırılması	
Grup	Gösterim
Suda Sertleşen Takım Çelikleri	W
Darbe Dayanımlı Takım Çelikleri	S
Yağda Sertleşen Soğuk İş Takım Çelikleri	O
Havada Sertleşen Soğuk İş Takım Çelikleri	A
Yüksek C ve Cr İçeren Soğuk İş Takım Çelikleri	D
Kalıp Çelikleri	P
Sıcak İş Takım Çelikleri	H
W İçeren Hız Çelikleri	T
Mo İçeren Hız Çelikleri	M

2.2.1. Suda sertleşen takım çelikleri

AISI standardında W ile gösterilen takım çelikleri alaşım elementi düşük karbon çelikleridir. Bu sebeple sertleşebilirlik kabiliyeti de düşüktür. Martenzit yapısının oluşması için yüksek soğuma hızları gerekmektedir bunun içinde suda soğutma

yapılmalıdır (Baş, 2019). Çizelge 2.2’de W grubu takım çeliğinin kimyasal kompozisyonu göstermektedir.

Çizelge 2. 2. AISI standartlarına göre W grubu çeliklerin kimyasal kompozisyonu (Kıyasöz, 2010)

AISI	C (%)	Mn (%)	Si (%)	Cr (%)	Ni (%)	Mo (%)	W (%)	V (%)
W1	0,70	0,10	0,10	0,15	0,20	0,10	0,15	0,10
	-	-	-					
	1,50	0,40	0,40					
W2	0,85	0,10	0,10	0,15	0,20	0,10	0,15	0,15
	-	-	-					-
	1,50	0,40	0,40					0,35
W5	1,05	0,10	0,10	0,40	0,20	0,10	0,15	0,10
	-	-	-	-				
	1,15	0,40	0,40	0,60				

2.2.2. Darbe dayanımlı takım çelikleri

AISI standardında S ile gösterilen takım çelikleri tekrarlı ve darbeli yüklemeye direnç isteyen uygulamalarda yüksek tokluk sağlar. Bileşiminde alaşım elementi olarak Si, Cr, W ve Mo bulunabilir (Kekik, 2015). Çizelge 2.3’de S grubu takım çeliğinin kimyasal kompozisyonu göstermektedir.

Çizelge 2. 3. AISI standartlarına göre S grubu çeliklerin kimyasal kompozisyonu (Albaraz, 2010)

AISI	C (%)	Mn (%)	Si (%)	Cr (%)	Ni (%)	Mo (%)	W (%)	V (%)
S1	0,70	0,10	0,10	0,15	0,20	0,10	0,15	0,10
	-	-	-					
	1,50	0,40	0,40					
S2	0,85	0,10	0,10	0,15	0,20	0,10	0,15	0,15
	-	-	-					-
	1,50	0,40	0,40					0,35
S5	0,50	0,60	1,75	0,50	-	0,20	-	0,35
	-	-	-			-		
	0,65	1,00	2,25			1,35		
S6	1,05	0,10	0,10	0,40	0,20	0,10	0,15	0,10
	-	-	-	-				
	1,15	0,40	0,40	0,60				
S7	0,40	0,20	0,20	3,00	-	1,30	-	0,20
	-	-	-	-		-		
	0,55	0,90	1,00	3,50		1,80		0,30

2.2.3. Yağda sertleşen soğuk iş takım çelikleri

AISI standardında O ile gösterilen takım çeliklerin yüksek karbon değerinden dolayı sertleşebilirlikleri yüksektir. Bu sınıftaki soğuk iş takım çelikleri artan sıcaklık değerlerine karşı direnci düşüktür. Çatlama riski bakımından ise suda sertleşen takım çeliğine göre daha az risk taşımaktadır (Toptop, 2011). Çizelge 2.4’ de O grubu takım çeliğinin kimyasal kompozisyonu göstermektedir.

Çizelge 2. 4. AISI standartlarına göre O grubu çeliklerin kimyasal kompozisyonu (Kıyasöz, 2010)

AISI	C (%)	Mn (%)	Si (%)	Cr (%)	Ni (%)	Mo (%)	W (%)	V (%)
O1	0,85	1,00	0,50	0,40	0,30	-	0,40	0,30
	-	-		-			-	
	1,00	1,40		0,60			0,60	
	0,85	1,40	0,50	0,50	0,30	0,30	-	0,30
O2	-	-						
	0,95	1,80						
O6	1,25	0,30	0,55	0,30	0,30	0,20	-	-
	-	-	-					
	1,55	1,10	1,50			0,30		
O7	1,10	1,00	0,60	0,35	0,30	0,30	1,00	0,40
	-			-			-	
	1,30			0,85			2,00	

2.2.4. Havada sertleşen soğuk iş takım çelikleri

AISI standardında A ile gösterilen havada sertleşen soğuk iş takım çeliklerinin bileşiminde mangan ve molibden gibi alaşım elementlerinin bulunması sertleşebilirliği artırır ve aşınma dirençleri yüksektir. Kompozisyonunda bulunan karbon ve alaşım elementi miktarına göre farklı sertlik ve tokluk değerleri elde edilebilir (Baş, 2019). Gerdirme, biçimlendirme ve çekme kalıplarının kullanımı için uygundur (Aydoğan, 2011). Çizelge 2.5’te A grubu havada sertleşen soğuk iş takım çeliğinin kimyasal kompozisyonu göstermektedir.

Çizelge 2. 5. AISI standartlarına göre A grubu çeliklerin kimyasal kompozisyonu (Toptop, 2011)

AISI	C (%)	Mn (%)	Si (%)	Cr (%)	Ni (%)	Mo (%)	W (%)	V (%)	Co (%)
A2	0,95 - 1,05	1,00	0,50	4,75 - 5,50	0,30	0,90 - 1,40	-	0,15 - 0,50	-
A3	1,20 - 1,30	0,40 - 0,60	0,50	4,75 - 5,50	0,30	0,90 - 1,40	-	0,80 - 1,40	-
A4	0,95 - 1,05	1,80 - 2,20	0,50	0,90 - 2,20	0,30	0,90 - 1,40	-	-	-
A6	0,65 - 0,75	1,80 - 2,50	0,50	0,90 - 1,20	0,30	0,90 - 1,40	-	-	-
A7	2,00 - 2,85	0,80	0,50	5,00 - 5,75	0,30	0,90 - 1,40	0,50 - 1,50	3,90 - 5,15	-
A8	0,50 - 0,60	0,50	0,75 - 1,10	4,75 - 5,50	0,30	1,15 - 1,65	1,00 - 1,50	-	-
A9	0,45 - 0,55	0,50	0,95 - 1,15	4,75 - 5,50	1,25 - 1,75	1,30 - 1,80	-	0,80 - 1,40	-
A10	1,25 - 1,50	1,60 - 2,20	1,00 - 1,50	-	1,55 - 2,05	1,25 - 1,75	-	-	-

2.2.5. Yüksek karbon ve krom içeren soğuk iş takım çelikleri

AISI standardında D ile gösterilen takım çeliklerinin bileşiminde %1,50 ile %2,30 arasında C içeren ve %12'ye kadar Cr içeren çeliklerdir. En yüksek sertlik değeri havada soğutulmayla kazanılabilir. D3, D4 ve D7 serilerine ait çeliklerin yapılarında oldukça fazla karbür bulunduğundan tane sınırlarında bu karbürler gevrekliğin oluşma riski doğmaktadır (Toptop, 2011). Çizelge 2.6'da D grubu takım çeliğinin kimyasal kompozisyonu göstermektedir.

Çizelge 2. 6. AISI standartlarına göre D grubu çeliklerin kimyasal kompozisyonu (Kıyasöz, 2010)

AISI	C (%)	Mn (%)	Si (%)	Cr (%)	Ni (%)	Mo (%)	W (%)	V (%)	Co (%)
D2	1,40 - 1,60	0,60	0,60	11,00 - 13,00	0,30	0,70 - 1,20	-	1,10	-
D3	2,00 - 2,35	0,60	0,60	11,00 - 13,50	0,30	-	1,00	1,00	-
D4	2,05 - 2,40	0,60	0,60	11,00 - 13,00	0,30	0,70 - 1,20	-	1,00	-
D5	1,40 - 1,60	0,60	0,60	11,00 - 13,00	0,30	0,70 - 1,20	-	1,00	2,50 - 3,50
D7	2,15 - 2,50	0,60	0,60	11,50 - 13,50	0,30	0,70 - 1,20	-	3,80 - 4,40	-

2.2.6. Kalıp çelikleri

AISI standardında P ile gösterilen takım çelikleri düşük karbon içeren çeliklerdir. Sertleştirme işleminden sonra karbon değerinin düşük olması sebebiyle sertlik değeri istenilen değere ulaşılması zordur. Karbürizasyon işlemi yapılarak yüzeyde istenilen sertlik değerine ulaşılabilir (Kıyasöz, 2010). Çizelge 2.7’de P grubu takım çeliğinin kompozisyonu göstermektedir.

Çizelge 2. 7. AISI standartlarına göre P grubu çeliklerin kimyasal kompozisyonu (Kıyasöz, 2010)

AISI	C (%)	Mn (%)	Si (%)	Cr (%)	Ni (%)	Mo (%)	W (%)	V (%)	Al (%)
P2	0,10	0,10 - 0,40	0,10 - 0,40	0,75 - 1,25	0,10 - 1,50	0,15 - 0,40	-	-	-
P4	0,12	0,20 - 0,60	0,10 - 0,40	4,00 - 5,25	-	0,40 - 1,00	-	-	-
P20	0,28 - 0,40	0,60 - 1,00	0,20 - 0,80	1,40 - 2,00	-	0,30 - 0,55	-	-	-
P21	0,18 - 0,22	0,20 - 0,40	0,20 - 0,40	0,50	3,90 - 4,25	-	-	0,15 - 0,25	1,05 - 1,25

2.2.7. Yüksek hız takım çelikleri

Bu çelikler işleme ve kesme takımlarında kullanılır. İşlem esnasında oluşan yüksek sıcaklık ve aşınma sebebiyle mekanik özellikleri oldukça iyidir. Bileşiminde olduğu yüksek alaşım elementi ile ergime sıcaklığına yakın değerlerde sertleştirme işlemi, çekirdeğe kadar sertleşme elde edilir (Kıyasöz, 2010). Çizelge 2.8’de M ve T grubu yüksek hız çeliklerin kompozisyonlarını göstermektedir.

Çizelge 2. 8. AISI standartlarına göre çeliklerin kimyasal kompozisyonu (Kıyasöz, 2010)

AISI	C (%)	Mn (%)	Si (%)	Cr (%)	Ni (%)	Mo (%)	W (%)	V (%)	Co (%)
M1	0,78	0,15	0,20	3,50	0,30	8,20	1,40	1,00	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M30	0,88	0,40	0,50	4,00	-	9,20	2,10	1,35	-
	0,75	0,15	0,20	3,50	0,30	7,75	1,30	1,00	4,50
M46	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,85	0,40	0,45	4,25	-	9,00	2,30	1,40	5,50
M62	1,22	0,20	0,40	3,70	0,30	8,00	1,90	3,00	7,80
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M62	1,30	0,40	0,65	4,20	-	8,50	2,20	3,30	8,80
	1,25	0,15	0,15	3,50	0,30	10,00	5,75	1,80	-
T1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1,35	0,40	0,40	4,00	-	11,00	6,50	2,10	-
T4	0,65	0,10	0,20	3,75	0,30	-	17,25	0,90	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T6	0,80	0,40	0,40	4,50	-	-	18,75	1,30	-
	0,70	0,10	0,20	3,75	0,30	0,40	17,50	0,80	4,25
T15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,80	0,40	0,40	4,50	-	1,00	19,00	1,20	5,75
T15	0,75	0,20	0,20	4,00	0,30	0,40	18,50	1,50	11,00
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T15	0,85	0,40	0,40	4,75	-	1,00	21,00	2,10	13,00
	1,50	0,15	0,15	3,75	0,30	1,00	11,75	4,50	4,75
T15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1,60	0,40	0,40	5,00	-	(max.)	13,00	3,25	5,25

2.3. Sıcak İş Takım Çelikleri

Sıcak iş takım çelikleri, enjeksiyon, ekstrüzyon ve dövme gibi yöntemlerde kalıp parçası olarak kullanılmaktadır (Aktaş, 2014). AISI standardında H ile gösterilen yüksek sıcaklık çalışmalarında uygulanan takım çelikleridir (Kıyasöz, 2010). İçeriğinde %0,30 – 0,60 oranında C ve %2,00 – 12,00 oranında Cr içerir. Cr, Mo ve W bulunduğu için sertliği yüksek sıcaklıklarda koruyabilir. Sertleşebilirlik kabiliyeti yüksektir ve havada soğutma işlemi ile sertleşebilirler. Sıcak iş takım çeliğinde alaşım elementine göre kromlu (H10-

H19), tungstenli (H20-H39) ve molibdenli (H40-H59) olmak üzere üç gruba ayrılmıştır (Kekik, 2015). Çizelge 2.9'da H grubu takım çeliğinin kompozisyonu göstermektedir.

Çizelge 2. 9. AISI standartlarına göre H grubu çeliklerin kimyasal kompozisyonu (Özer, 2016)

AISI	C (%)	Mn (%)	Si (%)	Cr (%)	Ni (%)	Mo (%)	W (%)	V (%)
H11	0,33	0,20	0,80	4,75	0,30	1,10	-	0,30
	-	-	-	-		-		
	0,43	0,50	1,20	5,50		1,60		0,60
H12	0,30	0,20	0,80	4,75	0,30	1,25	1,00	0,50
	-	-	-	-		-	-	
	0,40	0,50	1,20	5,50		1,75	1,70	
H13	0,32	0,20	0,80	4,75	0,30	1,10	-	0,80
	-	-	-	-		-		
	0,45	0,50	1,20	5,50		1,75		1,20
H21	0,26	0,15	0,15	3,00	0,30	-	8,50	0,30
	-	-	-	-			-	
	0,36	0,40	0,40	3,75			10,00	0,60
H22	0,30	0,15	0,15	1,75	0,30	-	10,00	0,25
	-	-	-	-			-	
	0,40	0,40	0,40	3,75			11,75	0,50
H42	0,55	0,15	-	3,75	0,30	4,50	5,50	1,75
	-	-	-	-		-	-	
	0,70	0,40	-	4,50		5,50	6,75	2,20

2.3.1. Sıcak iş takım çeliklerin sınıflandırılması

2.3.1.1 Kromlu sıcak iş takım çelikleri

H10 ve H19 olan kromlu sıcak iş takım çelikleri dövme ekstrüzyon ve döküm gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Bileşiminde bulunan Cr ve Mo, W, Zn gibi karbür yapıcı elementlerin ilavesi ile ısıya dayanıklı oluşan yumuşamaya karşı direnç gösterirler. Kromlu sıcak iş takım çeliklerinde alaşım elementlerinin sayesinde düşük östenitleştirme sıcaklıklarında hava soğutma yaparak sertleşebilirler. En önemli özellikleri; yüksek tokluk ve termal şok dirence sahip olarak kalıpların su ile soğutulması gereken durumlarda tercih edilmektedir (Aktaş, 2014).

2.3.1.2. Tungstenli sıcak iş takım çelikleri

Bileşiminde %9-19 W, düşük miktarlarda C ve orta değerlerde Cr, V sahiptir. Diğer iş takım çeliklerine göre yüksek sertliğe sahiptir. Bu sayede yumuşamaya karşı direncide yüksektir. Dezavantaj olarak yüksek sertlik sağlayan ve mikroyapısında yüksek oranda karbür içerdiğinden tokluğu düşüktür ve gevrek kırılma eğilimine neden olmaktadır.

Bunu engellemek için bu takım çeliklerinde az miktarda karbon içermektedir. Kromlu sıcak iş takım çeliklerine göre düşük termal şok direncine sahiptir. Su ile soğutulması gereken durumlarda parçada hasara sebep olur (Aktaş, 2014).

2.3.1.3. Molibdenli sıcak iş takım çelikleri

En çok kullanım alanına sahip olan H42 çeliğidir. Bileşiminde Mo, Cr, V, C ve farklı oranlarda da W içermektedir. Sıcaklık değişiminden kaynaklı termal şoka karşı direnci yüksektir (Aktaş, 2014).

2.3.2 Sıcak iş takım çeliklerinden beklenen özellikler

Çalışma Sıcaklıklarında Deformasyona Dayanım: Takım çelikleri oda sıcaklığı uygulamalarında yüksek performansa sahip iken, yüksek sıcaklık uygulamalarında malzeme sertlikleri hızla düşmektedir. Bu özellik diğer takım çeliklerinden ayıran en önemli özelliktir.

Mekanik ve Termal Şok Dayanım: Telafisi mümkün olmayan hasarların önüne geçebilmek için yüksek mekanik ve termal şok dayanıma gereksinim duyulmaktadır. Bunu sağlayabilmek için karbon seviyesini düşük veya orta seviyede tutmak gerekir.

Yüksek Sıcaklıklarda Aşınma Dayanımı: Bu özellik uzun takım ve kalıp ömrü için önemli bir özelliktir. Uygun bir alaşım elementi ve mikroyapı tercihiyle yüksek sıcaklıkta sertlik özelliği geliştirilebilir.

Isıl İşlem Distorsiyonuna Karşı Dayanım: Havada sertleşebilirlik özelliğine sahip olan yüksek alaşımlı çeliklerde, en iyi ısıl işlem distorsiyon dayanımı elde edilmektedir.

İşlenebilirlik: Takım çelikleri, ferrit-perlit mikroyapısına sahip normalize edilerek işlenmelidir.

Gerilme Çatlaklarına Dayanım: Kalıpların tekrarlanan ısıtma ve gerilim sonucu sıcak iş takım çeliklerin yüzeyinde servis ömürlerini belirleyen ince çatlaklar oluşabilir. Uygun ısıl işlem ve alaşımlarla gerilme çatlaklarına dayanım artmaktadır (Yeşilçubuk, 2010).

2.3.3. Alaşım elementlerinin sıcak iş takım çeliklerine etkisi

Karbon: Oluşturduğu karbürler çeliğin sıcak dayanımını ve aşınma direncini kontrol etmektedir.

Silisyum: Si miktarı arttıkça akma dayanımı ve kırılma dayanımı artmakta tokluk değerini ise düşürmektedir.

Magnezyum: İlavesi soğuma hızını düşürmekte sertleşebilirliği arttırmaktadır.

Nikel: Kritik soğuma hızını düşürür ve tane inceltici olarak rol oynar.

Krom: Takım çeliğinde en önemli alaşım elementidir. Kritik soğuma hızını düşürür ve sertleşebilirliği sağlar.

Molibden: Sıcak dayanımı ve yorulma direncini artırır. Temper gevrekliğine karşı önemli bir etkiyi gösteren alaşım elementidir.

Vanadyum: Kararlı karbürler oluşturur. Bu karbürlerin 600 °C'nin üzerinde kabalaşması sertlikte ve mukavemette azalmaya neden olur.

Tungsten: Sıcak iş takım çeliklerinde ince tane oluşumunu sağlar ve aşınma direnci ile sıcak dayanımını artırır (Aktaş, 2014).

2.4. Sıcak İş Takım Çeliklerine Uygulanan Yüzey İşlemleri

Sıcak iş takım çelikleri yüksek sıcaklık ve yüksek yüklerin olduğu ağır çalışma koşullarında malzemede oluşabilecek yüksek tribolojik gerilmelere maruz kalır. Malzeme yüzeyi iç kısımlara göre fazla ısınmaya ve gerilmelere maruz kalır. Dolayısıyla malzeme kaybına ve kalıpta boyutsal değişikliklere sebep olur. Bu olumsuzlukları gidermek amacıyla yüzey özellikleri geliştirilmelidir (Aktaş, 2014).

Sıcak iş takım çeliklerinde en çok nitrasyon işlemi uygulanmaktadır. Bu yüzey işlemlerinde asıl amaç altlık malzeme tokluk ve sertliği sağlarken yüzeyde yapılan kaplama aşınma, korozyon ve gerilmelere karşı direnç gösterir (Aktaş, 2014). Deneysel çalışma kapsamında nitrasyon ve akımsız Ni-B kaplamalar incelenecek olması sebebiyle bu iki kaplama detaylı olarak anlatılacaktır.

2.4.1. Nitrasyon

Nitrasyon, 1900'lü yıllarda Machlet tarafından hidrojen içeren azot ortamında gerçekleştirerek bulunmuştur (Bostan, 2015). Nitrasyon çoğunlukla uçak, otomotiv, tekstil ve türbin parçalarının imalatlarında kullanılmaktadır (Korkmaz, 2020).

Nitrasyon ferritik durumdayken 500-500°C sıcaklıklarında çeliğin yüzeyine difüzyon ile nitrojen iyonları veren bir yüzey sertleştirme işlemidir (ASM HANDBOOK). Nitrasyonda malzeme yüzeyinden çekirdeğe doğru nitür ve difüzyon tabakası ile iki farkı

tabaka oluşur. İlk tabaka ϵ fazı (ϵ -Fe₂₋₃N), γ faz (γ -Fe₄N) ya da (ϵ + γ) faz demir nitür bileşenlerinden oluşmaktadır. Difüzyon tabakasında azot atomları ferritik yapı içerisinde yer alarak nitür oluşumu artar dolayısıyla yorulma dayanımını da arttırmaktadır (Yeşilçubuk, 2010).

Nitrasyon işleminin avantajları (Korkmaz, 2020);

- Parçada çarpılma olayı olmadan istenilen sertlik sağlanabilir.
- Malzeme çekirdeğinde herhangi bir değişim olmaz.
- Diğer ısıl işlem uygulamalarına göre yüzey sertliği ve aşınma dayanımları oldukça iyidir.
- Herhangi bir parçalarda iç gerilmeler gözlenmez.

Nitrasyon 3 gruba ayrılmaktadır;

- Sıvı (Tuz banyosu) nitrasyon
- Gaz nitrasyon
- Plazma (iyon) nitrasyon

2.4.1.1. Sıvı (tuz banyosu) nitrasyon

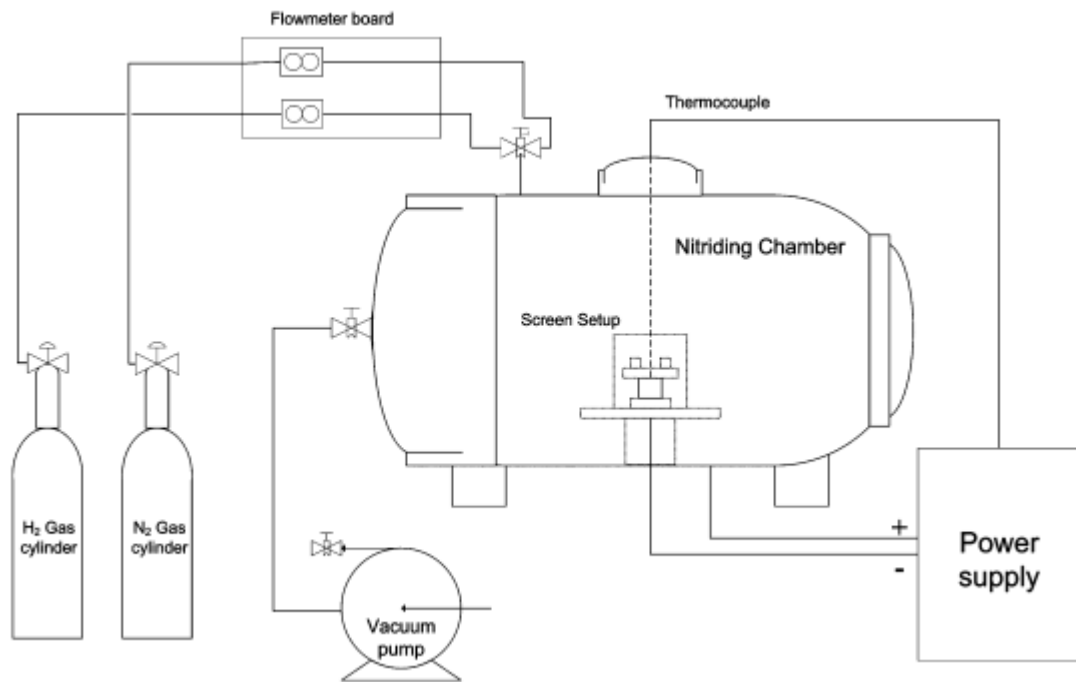
Erimiş bir tuz banyosunda 570-580 °C'de nitrasyon işlemi gerçekleşmektedir. Nitrasyon ortamında CN ve CNO bulunduğu azot içeren bir ortamdır. Sıvı tuz banyolarında oluşan reaksiyonlar şu şekildedir (Akbulut ve ark., 2004);



2.4.1.2. Plazma (iyon) nitrasyon

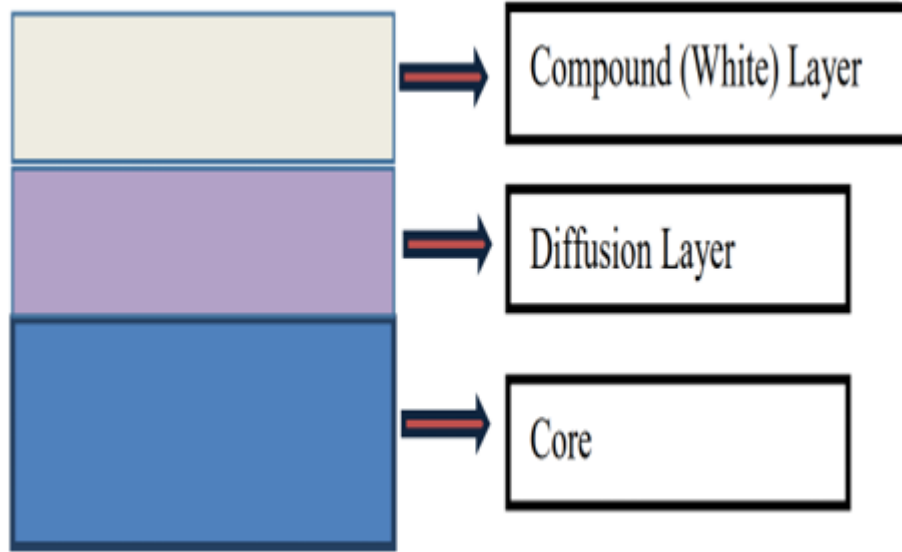
Plazma (iyon) nitrasyon, çelik, dökme demir ve titanyum gibi malzemelerin yüzey özelliklerinin geliştirilmesinde kullanılmaktadır. Proses vakum ortamında yapıldığı için diğer yöntemlere göre çevreci özelliğe sahiptir. Ayrıca yüzey kalitesi oldukça iyidir (Güven ve ark., 2014).

Plazma nitrüleme işlemi Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Buna göre sistem üç ana kısımdan meydana gelmektedir; vakum fırını, gaz dağıtım mekanizması ve güç ünitesinden oluşmaktadır.



Şekil 2. 1. İyon nitrasyon sisteminin şematik gösterimi (Ahangarani ve ark., 2006).

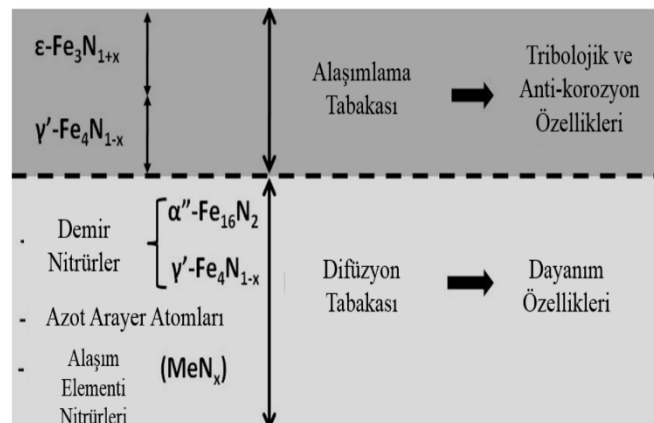
Plazma nitrasyon yapılacak parça yüzeyinin temizlenmesi gerekmektedir sonra fırına katot olacak şekilde parça yerleştirilir anot fırın duvarı işlevi görür. Katot ve anot arasında 100-1500 V doğru akım uygulanır sonra fırın basıncı 1-10 mbar seviyesine gelinceye kadar fırına azot ya da amonyak gazı verilir. Gaz verildikten sonra yükselen gerilim farkı azalarak 600-700 V civarında istenilen sıcaklık ve basınç sağlandığında sabitlenir. Bu esnada iyonlaşan gazın akkor ışını, katotik pozisyonda duran parçayı tamamen sarar ve parıltılı boşalım bombardımanı gerçekleşir. Şekil 2.2 ve Şekil 2.3'de iyonlaşan gazın saçılımı ve akım boşalım sistemini göstermektedir. Sonra nitrasyon için gerekli sıcaklığa ulaşıldığında azot difüzyonu başlar (Özdemir ve ark., 2003).



Şekil 2. 4. Nitrasyon işleminde oluşan tabakalar (Bakdemir ve ark., 2020).

Oluşan plazma nitrasyon tabakası Şekil 2.4'te gösterildiği gibi üç bölümden oluşuyor. En üst kısımda “beyaz tabaka”, ortada “difüzyon tabakası” ve en altta ise “çekirdek” bulunmaktadır.

Beyaz tabaka: Nitrasyon koşulları ayarlanarak 20 μm kalınlığa kadar oluşabilir. Azotun en yüksek oranda bulunduğu bölgedir. Son derece sert ve kırılğan yapıdadır. Aşınmaya karşı dayanıklıdır. Beyaz tabakada, Şekil 2.5'te gösterildiği gibi γ' (Fe_4N) ve ε (Fe_2N ve Fe_3N) fazları veya bunların karışımı olabilmektedir. γ' (Fe_4N) yüzey merkezli kübik (YMK) yapıya sahipken, ε ($\text{Fe}_2\text{-3N}$) hegzagonal yapıya sahiptir. γ' (Fe_4N) fazı yumuşak ve sünek yapıda olması sebebiyle aşınma dayanımının düşük darbeye dayanıklı çalışmalarda tercih edilir. ε ($\text{Fe}_2\text{-3N}$) fazı ise aşınma dayanımının yüksek olması istenen uygulamalarda tercih edilir (Güven ve ark., 2014).

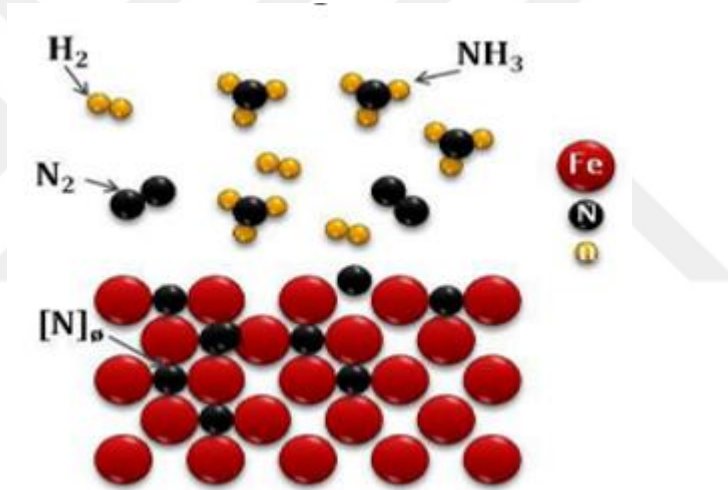


Şekil 2. 5. Beyaz tabaka ve difüzyon tabakasındaki oluşan fazların gösterimi (Bostan, 2015)

Difüzyon tabaka: Bu bölge çok ufak sert nitrür fazları bulundurur. Bu tabakanın oluşumu zaman ve sıcaklık fonksiyonu etkilidir. Bu iki fonksiyon arttığı zaman tabaka kalınlığı artar (Topçu, 2010).

2.4.1.3. Gaz nitrasyon

Gaz nitrasyon işlemi yapılacak olan metal parçasına difüze edilecek azotun uygun sıcaklıklarda kontrollü bir fırın ortamına verilmesi işlemidir. Azot içeren gaz genellikle amonyak kullanılmaktadır. Bu istenilen sıcaklıkta fırından geçtiğinde, gaz ve gaz içinde azot molekülleri ayrışır. Ayrışan moleküllerden serbest kalan azot atomları metal parçasına difüze olur. Karmaşık şekilli parçaların nitrasyonu homojen bir şekilde en iyi bu yöntemle yapılmaktadır (Bostan, 2015).

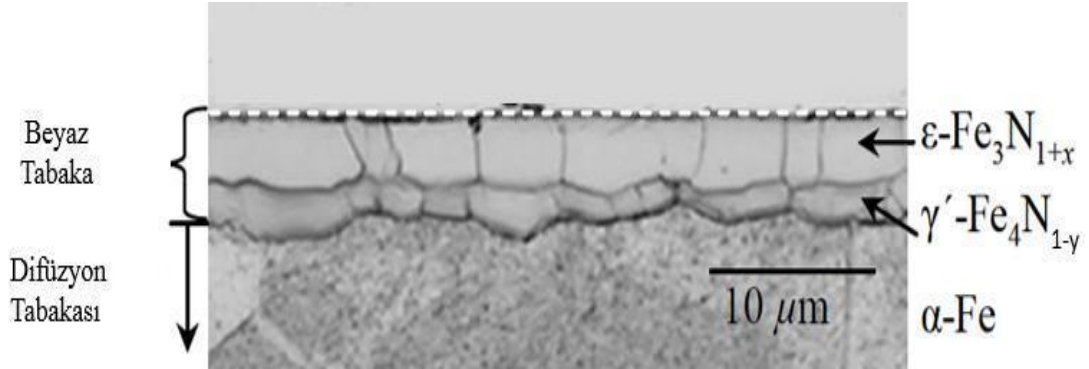


Şekil 2. 6. NH₃ çelik yüzeyinde ayrışma ve gaz nitürlemenin gösterimi (Korkmaz, 2020)

Şekil 2.6'da amonyak gazının ayrışması gösterilmektedir. Amonyak gazı, fırın içerisinde ısı uygulandığında ayrışır. 490°C – 580°C nitrasyon sıcaklıklarında NH₃ kararsız durumdadır. Bu durumda NH₃, hidrojen ve azota ayrışır (Korkmaz, 2020). Açığa çıkan hidrojen ve azot gazları metal parçasına çarpması ile gaz-metal reaksiyonu oluşmaktadır.

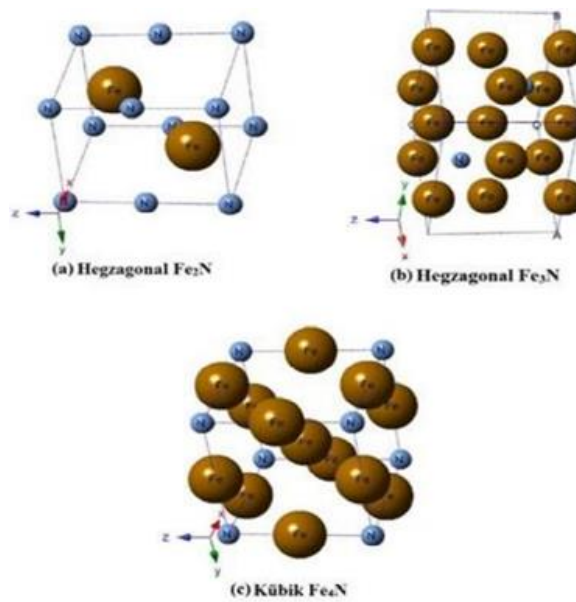


Ayrıışan amonyak çelik yüzeyinde üç reaksiyon gerçekleşir:



Şekil 2. 7. Gaz nitrasyon uygulanmış malzemede beyaz tabaka ve difüzyon tabaka görünümü (Korkmaz, 2020).

Beyaz tabaka ϵ ($\text{Fe}_2\text{-3N}$) ve γ' - (Fe_4N) iki fazdan oluşmaktadır. Şekil 2.8'de bu iki fazın kristal kafes yapıları gösterilmektedir. Çok sert ve kırılğan yapıdadırlar. Kalınlığı zaman, sıcaklık ve gaz bileşimine bağlıdır. Altında kalan bölge yani difüzyon bölgesi, azotun nitrür oluşan elementlerle oluşturmuş olduğu reaksiyonlar sonucu oluşan stabil nitrürlerden meydana gelir (Korkmaz, 2020). Şekil 2.7'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2. 8. ϵ ($\text{Fe}_2\text{-3N}$) ve γ' - (Fe_4N) kristal kafes yapılarının gösterimi (Korkmaz, 2020)

2.4.2. Nitrasyon işleminin mekanik özelliklere etkisi

2.4.2.1. Aşınma dayanımı

Aşınma dayanımı sertliğin artışı ile artmaktadır. Oymalı ve koparmalı işlemlerle aşınmalarda nitrasyon işlemi uygun değildir (Bostan, 2015).

2.4.2.2. Sertlik

Nitrasyon yapılan çelikler uygulandıkları sıcaklıklara ve yüksek sıcaklıklarda da sertliklerini kaybetmeden oluşmaktadır (Bostan, 2015).

2.4.3. Akımsız nikel kaplama

Akımsız nikel kaplamalar, Brenner ve Riddel tarafından 1946 yılında geliştirilmiştir (Şahin, 2021). Elektrolitik kaplama banyolarında elde edilen bu kaplama metal yüzeyini korozyondan koruma ve de yüzeylere dekoratif özellikler kazandırmaktadır (Serin, 2013). Akımsız nikel kaplama, sulu bir çözelti içerisindeki nikel iyonlarının katalitik bir yüzeyin üzerinde kimyasal olarak indirgeme işlemidir. Kaplama prosesinde metal birikimi için kimyasal enerji ve ısı kullanılmaktadır. İndirgeme yoluyla gerçekleştiği için elektroliz söz konusu değildir. Bu sebeple hidrojen gevrekleşmesi gerçekleşmez. Kaplama Şekil 2.9'da görüldüğü gibi metal yüzeyine uniform bir şekilde oluşmaktadır ve kaplama yapılan yüzeyler düşük bir sürtünme katsayısına sahiptir (ASM Handbook).



Şekil 2. 9. Akımlı (electrolytic) ve akımsız (electroless) kaplamalarda kalınlık dağılımı (Eraslan, 2010)

2.4.3.1. Kaplama banyosu bileşimleri

Akımsız Ni kaplamalar, nikel iyonlarının katalitik bir yüzeye kontrollü kimyasal indirgenmesi ile üretimi elde edilmektedir. Altlık yüzeyi nikel çözeltisi ile temas halinde kaldığı sürece reaksiyon tükenene kadar devam eder (Serin, 2013).

Akımsız nikel kaplamanın banyo bileşenleri şunlardan oluşmalıdır;

- Nikel iyonlarının (nikel tuzu) kaynağı
- İndirgeyici maddeler
- Enerji
- Hızlandırıcılar
- Stabilizörler
- Kompleks oluşturucu

2.4.3.2. Kaplama banyolarında oluşan reaksiyonlar

Akımsız Ni kaplama, katalitik metal yüzeyinde nikel iyonlarının indirgeyici bir ajan ile indirgenerek nikel metale dönüşmesidir. Dönüşümden sonra reaksiyon nikel yüzeyinde halen devam etmektedir. Metal iyonunun indirgenme reaksiyonu;



Banyolarda kullanılan indirgeyici cinsine göre Ni metali ile birlikte fosfor da açığa çıkmaktadır. Elde edilen Ni katmanı ise saf nikel değildir, nikel-fosfor ya da nikel-bor alaşımıdır. Eğer indirgeyici olarak hidrazin kullanımı dahilinde saf nikel kaplamaların elde edilmesi mümkündür.

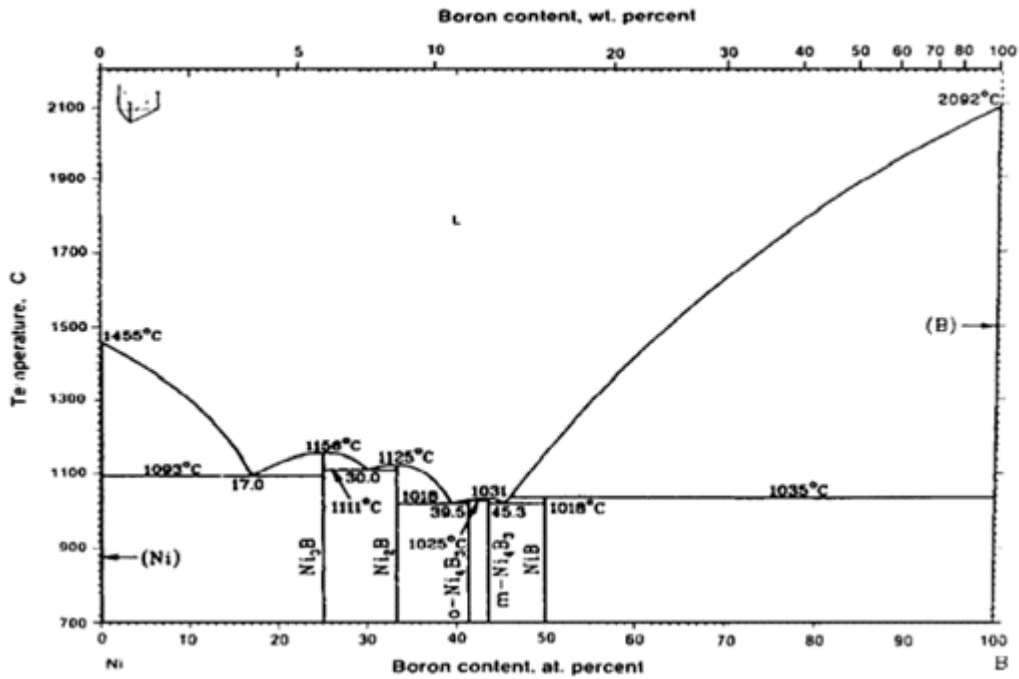
2.4.4. Akımsız nikel kaplama özellikleri

2.4.4.1. Ni-P kaplamaların özellikleri

İndirgeyici olarak hipofosfitle indirgenmiş Ni-P kaplamalardır. Homojen, sert ve yüksek korozyon direncine sahiptirler.

2.4.4.2. Ni-B kaplamaların özellikleri

Aminoborla veya borohidritle indirgenmiş Ni-B kaplamalar Ni-P kaplamalara göre daha yüksek sertlik ve aşınma direncine sahiptirler ve ısıtım işlem sonrasında daha iyi sertlik değerlerine çıkmaktadır. Ni-B yoğunluğu yaklaşık 8.25 g/cm³. Erime noktası ise 1075-1080 °C arasındadır. Havacılık, otomotiv, elektrik, kimya ve gıda gibi sektörlerde uygulama alanı bulunmaktadır (Serin,2013).



Şekil 2. 10. Ni-B faz diyagramı (Vitry ve ark., 2012)

Nikel, YMK yapısı sebebiyle bor ya da fosforun kafese girmesi geniş yüzeylere yayılmasını engellemektedir. Şekil 2.9'da Ni-B faz diyagramında Ni içerisinde B çözünürlüğü yoktur. Kaplama koşullarında elde edilen borca aşırı doymuş bir nikel katı çözelti olduğundan diğer fazlar oluşamaz (Şahin,2021).

Akımsız Ni-B kaplama yüksek kaplama sertliğine sahiptir. İçeriğindeki bor miktarı arttıkça sertlikte artış gözlenilmektedir ancak çok yüksek bor miktarındaki artışlarda sertlik değeri sabit bir hale gelmektedir.

Akımsız Ni-B kaplamalarda porozite oranı düşük olduğu için yüksek korozyon direncine sahiptir.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Tez çalışma kapsamında kullanılan sıcak iş takım çelikleri Birleşik Metal & Isıl İşlem firmasından temin edilmiştir. DIN 1.2344 Sıcak İş Takım çeliği kullanılmıştır.

3.2. Kaplama

3.2.1. Akımsız Ni-B Kaplama

DIN 1.2344 sıcak iş takım çeliği kaplama işleminden önce (25mmx3mm) kesilmiştir. Numunelerin kaplamaları Bematek Malzeme Teknolojileri firması tarafından firmanın ticari Bor-B isimli prosesi ile gerçekleştirilmiştir. Kaplamalar 90 °C’de, 1saat süre ile gerçekleştirilmiştir.

3.2.2. Nitrasyon

Tez çalışması kapsamında DIN 1.2344 sıcak iş takım çeliği (45mmx3mm) kesilmiştir. Daha sonra Döksan Isıl İşlem ve Ar-Ge Merkezi firması tarafından gaz ve plazma nitrasyon işlemleri yapılmıştır. Her iki işlemde sıcaklık ve süre 550 °C’de 12 saat süre uygulanarak yapılmıştır.

3.3. Karakterizasyon

3.3.1. Kimyasal analiz

Tez çalışmasında kullanılan sıcak iş takım çeliği numunesinin kimyasal analizi Büyük Eker Bijon firmasında bulunan Şekil 3.1’de gösterilen Spektrolab marka optik emisyon spektrometre cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Numunenin 2 farklı bölgesinden birbirinden bağımsız ölçümler alınmıştır.



Şekil 3. 1. Spektrolab cihazı

3.3.2. Mikroyapı analizi

Numuneler mikroyapı için standart metalografi teknikleri kullanılarak hazırlanmıştır. Numuneler önce SiC esaslı zımpara kâğıtları (80-1200) ile Şekil 3.2’de gösterilen Metkon marka Forcİpol 2V model zımpara cihazında zımparalanmış ve 1µm’lik alümina (Al_2O_3) süspansiyonu kullanılarak parlatılmıştır. Parlatılan numuneler %3 Nital dağlayıcıyla dağlanmış olup Şekil 3.3’te gösterilen Nikon Eclipse MA100 model optik mikroskop ile incelemiştir.



Şekil 3. 2. Metkon Forcİpol 2v zımpara cihazı



Şekil 3. 3. Nikon Eclipse MA100 model optik mikroskop

3.2.3. Enine kesit incelemeleri

Numunelerin kaplama işlemi sonrasında kaplama kalınlığının ölçümü ve sertlik derinliklerinin belirlenmesi enine kesit incelemesi ile yapılmıştır. İlk olarak numuneler enine kesilmiş ve bakalite alınmıştır. Sonrasında numune yüzeyleri SiC esaslı zımpara kâğıtları (80-1200) ile Şekil 3.2’de gösterilen Metkon marka Forcypol 2V model zımpara cihazında zımparalanmış daha sonra sırasıyla 6 μm ve 1 μm monokristalin elmas solüsyonu ile iki kademeli olarak parlatılmıştır. Hazırlanmış numunelerin enine kesit görüntüleri Şekil 3.3’te gösterilen Nikon Eclipse MA100 model optik mikroskop kullanılarak alınmıştır.

3.2.4. Faz analizleri ve elementel analizler

Kaplamasız ve kaplamalı tüm numunelerin faz analizleri X-ışınları kırınım (XRD) analizleri kullanılarak yapılmıştır. XRD analizleri Şekil 3.4.’de gösterilen BRUKER marka D8 ADVANCE model Difraktometre ile oda sıcaklığında yapılmıştır. Ölçümler 2°/dakika tarama hızı ile $2\theta=10-90^\circ$ aralığında ve 1.5406 Å dalga boyuna sahip olan Cu-K α ışınması kullanılarak gerçekleştirilmiştir. X-ışınlarını üretmek için tüpe 40 Kv-40 mA büyüklüğünde gerilim ve akım uygulanmıştır.



Şekil 3. 4. BRUKER D8 ADVANCE X-Işını Difraktometre test cihazı

Tüm kaplamaların nitel bir analizini yapmak amacıyla ZEISS EVO LS10 marka taramalı elektron mikroskobu (SEM) cihazı kullanılarak EDS çizgi analizinden (line scan) faydalanılmıştır.

3.2.5. Sertlik testi

Kaplamalı ve kaplamasız tüm numunelerin sertlikleri Microbul 1000-DN Micro Vickers sertlik ölçüm cihazı (Şekil 3.5) kullanılarak yapılmıştır. Microvickers sertlik ölçümleri HV_1 , $HV_{0.3}$ ve $HV_{0.1}$ yük 10 saniye uygulanarak yapılmıştır. Numune üzerinde ölçümlerin sağlıklı olması açısından en az beş farklı ve birbirinden bağımsız noktalardan ölçümler alınarak ortalama sertlik sonucu hesap edilmiştir.



Şekil 3. 5. Microbul 1000-DN Micro Vickers sertlik ölçüm cihazı

3.2.6. Aşınma testi

Kaplamalı ve kaplamasız numunelerin aşınma testleri Trabzon Teknoloji Bölgesi'nde faaliyet gösteren UTS Mühendislik AR-GE firmasında bulunan UTS Tribolog model (Şekil 3.6) aşınma cihazında gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyleri ASTM G99 (Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus) standardına göre yapılmıştır. Batıcı uç olarak 6 mm çapında WC bilya kullanılmıştır. Aşınma testinde kullanılan parametreler Çizelge 3.1' de verilmiştir. Numuneler aşınma testi öncesinde ve sonrasında 0,0001 mg hassasiyetinde elektronik terazi ile tartılmıştır. Numunelerin aşınma hacmi ve aşınma faktörleri Denklemler 3.1 ve 3.2 kullanılarak hesap edilmiştir.

$$V = \frac{m_k}{d} \quad (3.1)$$

$$W_s \frac{mm^3}{(N.m)} = \frac{m_k}{d.F_n.S} \quad (3.2)$$

Verilen denklemlerde; V aşınma hacmi, m_k ağırlık kaybı, F_n uygulanan normal yük, S ise aşınma mesafesini ifade etmektedir.

Çizelge 3. 1. Aşınma Testi deney parametreleri

Test Parametresi	Değer
Kuvvet	2 N
Kayma Hızı	78,5 mm/s
Kayma Çapı	10 mm
Toplam Kayma Mesafesi	100 m
Ortam	Hava



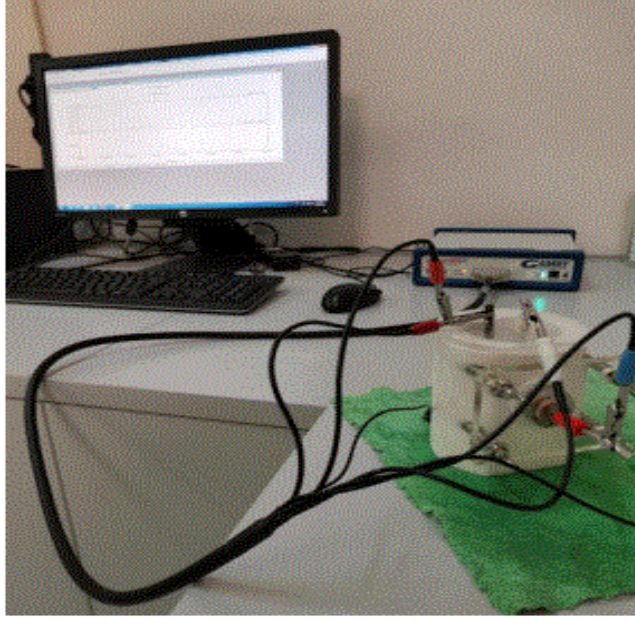
Şekil 3. 6. Aşınma testlerinde kullanılan UTS Tribolog aşınma test sistemi

3.2.8. Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri

Kaplamalı ve kaplamasız numunelerin aşınma izlerinin profili Mitutoyo Surtest SJ-400 profilometre cihazı ile ölçülmüştür. Pürüzlülük deneyi DIN EN ISO 4287:1998 standardına göre yapılmıştır. Profillerden elde edilen aritmetik ortalama pürüzlülük değeri (Ra), ortalama karekök pürüzlülüğü (Rq), değerlendirme uzunluğundaki en yüksek tepe-çukur parametresi (Rt) ve ortalama pürüzlülük derinliği (Rz) değerlerini temsil etmektedir.

3.2.7. Korozyon testi

Kaplamasız ve kaplamalı numunelerin korozyon özellikleri klasik elektrot sisteminde OCP, EIS ve PDP analiz yöntemlerinden faydalanarak belirlenmiştir. Deneyler Gamry Interface 1010B Potansiyostat-Galvanostat cihazı (Şekil 3.7) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tez sonrası veri analizleri cihazın kendi yazılımı olan Echem Analyst kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneyler oda sıcaklığında ve karıştırılmadan 0.1M (sodyum klorür) çözeltisinde gerçekleştirilmiştir. Açık devre potansiyeli (OCP) numuneye göre en az 300 s uygulanmıştır. Potansiyodinamik deneyler, numunenin OCP değerinden ± 250 mV aralığında ve 1 mV/s tarama hızında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. 7. Korozyon deney düzeneği

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Kimyasal Analiz Sonuçları

Deneysel çalışmada kullanılan 1.2344 sıcak iş takım çeliğinin kimyasal bileşimi Çizelge 4.1’de gösterilmiştir. Numune üzerinde yapılan 2 ölçüm birbirine yakın değerler verirken standarttaki 1.2344 çeliği ile de değerlerin istenilen aralıkta olduğu görülmüştür.

Çizelge 4. 1. Deneysel çalışmada kullanılan sıcak iş takım çeliğinin kimyasal kompozisyonu (%ağırlıkça)

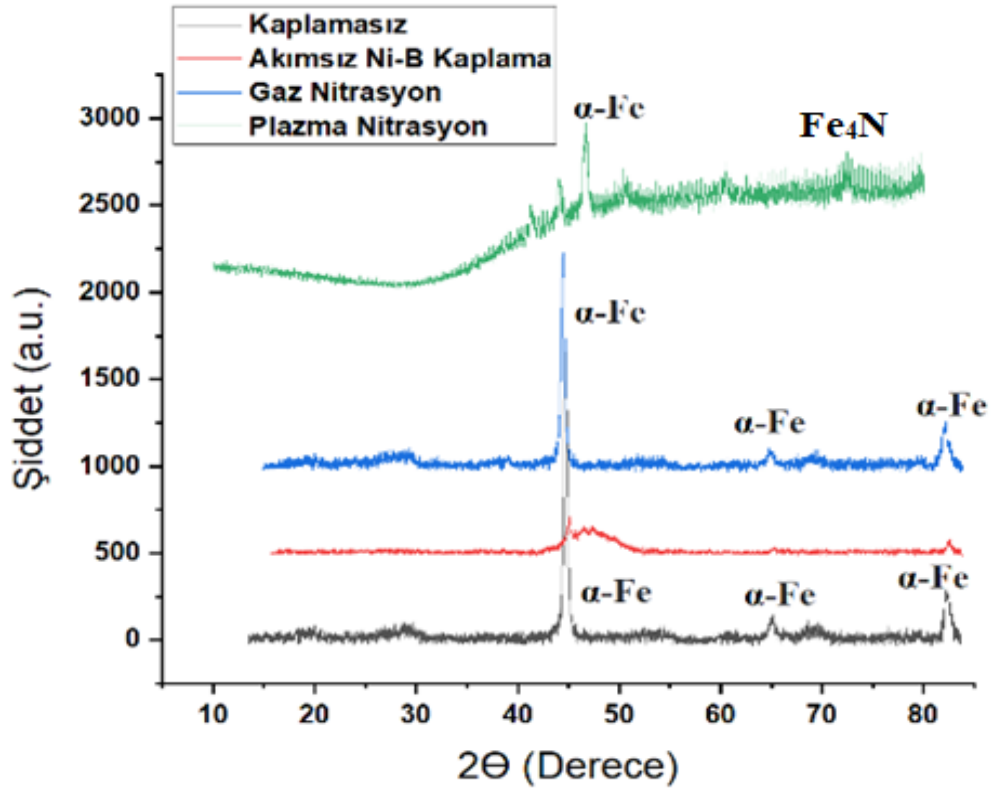
Malzeme	C	Si	Mn	Cr	Mo	V
	0,39	0,974		5,24		0,978
1.2344	-	-	0,381	-	1,30	-
	0,398	0,979		5,27		0,980

4.2. Faz Analizleri ve Elementel Analizler

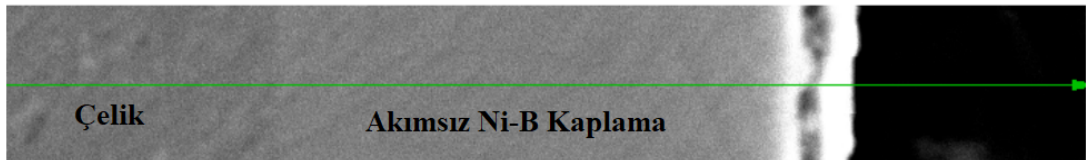
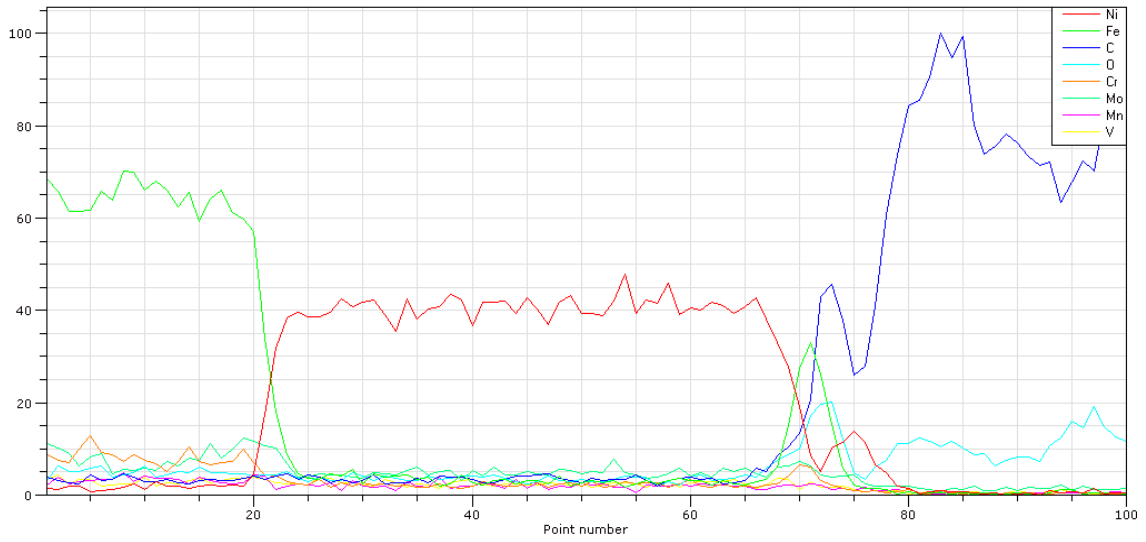
Çalışma kapsamında kullanılan kaplamasız, gaz nitrasyon, plazma nitrasyon ve akımsız Ni-B kaplamalı numunelerin XRD kırınım desenleri Şekil 4.1’de görülmektedir. Kaplamasız, gaz nitrasyon ve plazma nitrasyon kaplamalı numunelerin kırınım desenleri α -Fe (ferrit) fazına ait kırınım piklerinden (JCPDS Kart No: 89-4186) meydana gelmektedir. Plazma nitrasyonda α -Fe (ferrit) fazından başka yapıda Fe_3N ve Fe_4N fazıda bulunmaktadır.

Her üç numunenin kırınım desenlerinde mikroyapıda bulunabilecek karbür ve kaplama sonrası oluşacak nitrür bileşiğine ait herhangi bir pike rastlanılmamıştır.

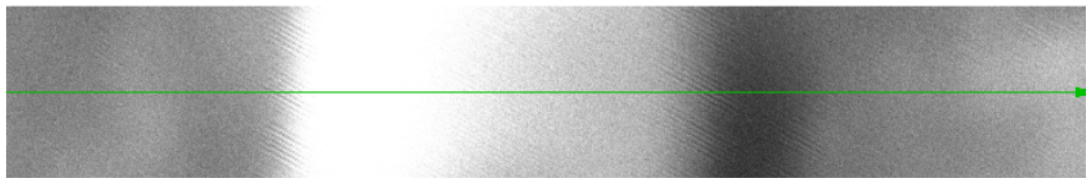
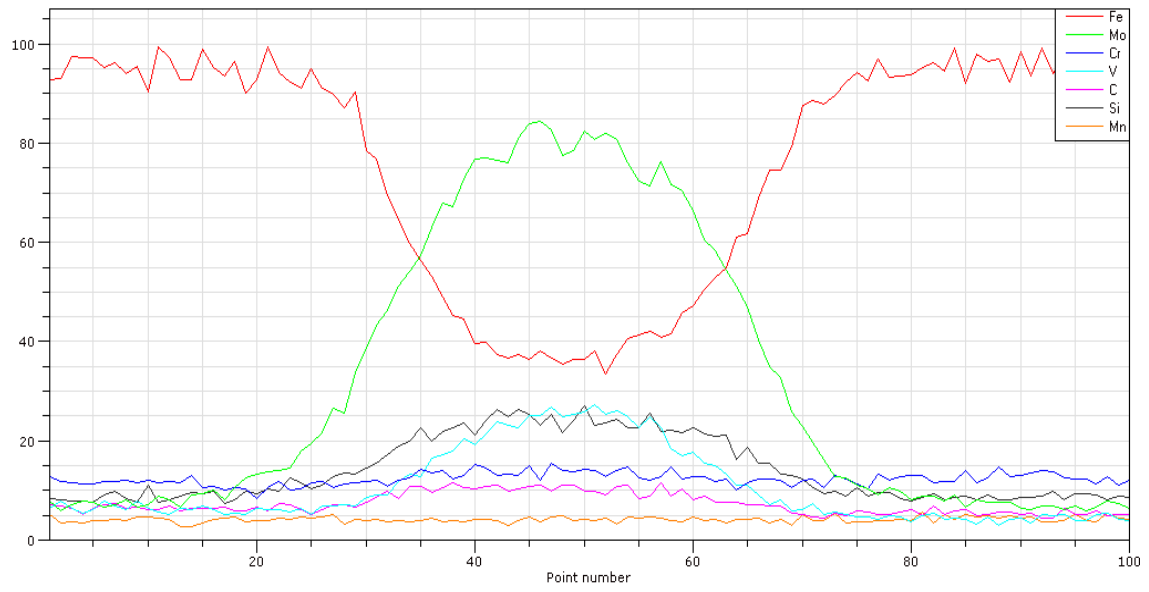
Akımsız Ni-B kaplamalı numunenin faz analizinde ise amorf yapısını doğrulamaktadır. Ancak akımsız Ni-B kaplama üzerinde ısıl işlem ile faz yapısı kristalleşebilir. Yapıda Ni, Ni_2B , Ni_3B ve Ni_4B fazları oluşabilir. Bu fazların varlığını XRD ile tespit edilememiştir. Kaplamanın olduğu yere EDS analizi yapılmıştır. Şekil 4.2’de gösterilen EDS sonucunda akımsız Ni-B kaplamada Ni yapısı görülmektedir. Kaplamanın olduğu yere EDS analizi yapılmıştır. Plazma ve gaz nitrasyonda ise beyaz tabaka ile çelik geçiş bölgesine doğru inildiğinde yüzeyden malzeme içerisine doğru gerçekleşen azot difüzyonu nedeniyle ağırlıkça azot yüzdesinin azaldığı gözlemlenmiştir. Kaplamasız parça üzerinde yapılan EDS analizinde ise parçacığın üzerinde ölçüm yapıldığında molibden esaslı parçacığın üzerinde karbür olduğu tespit edilmiştir.



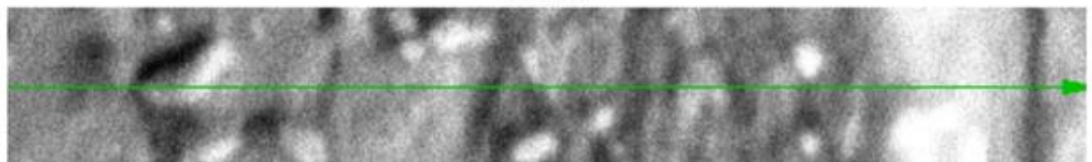
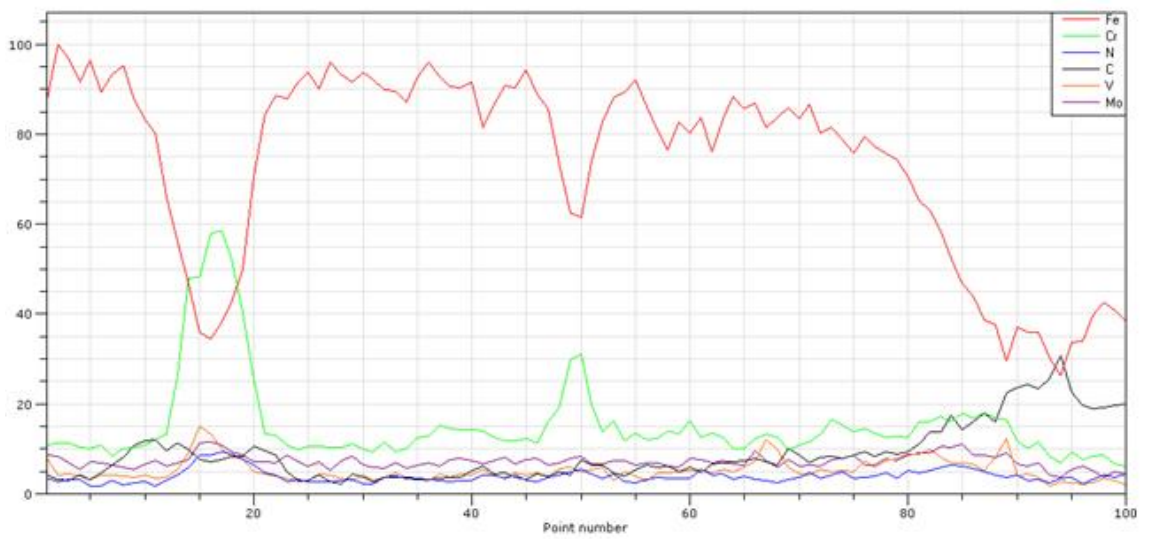
Şekil 4. 1. XRD sonuçları



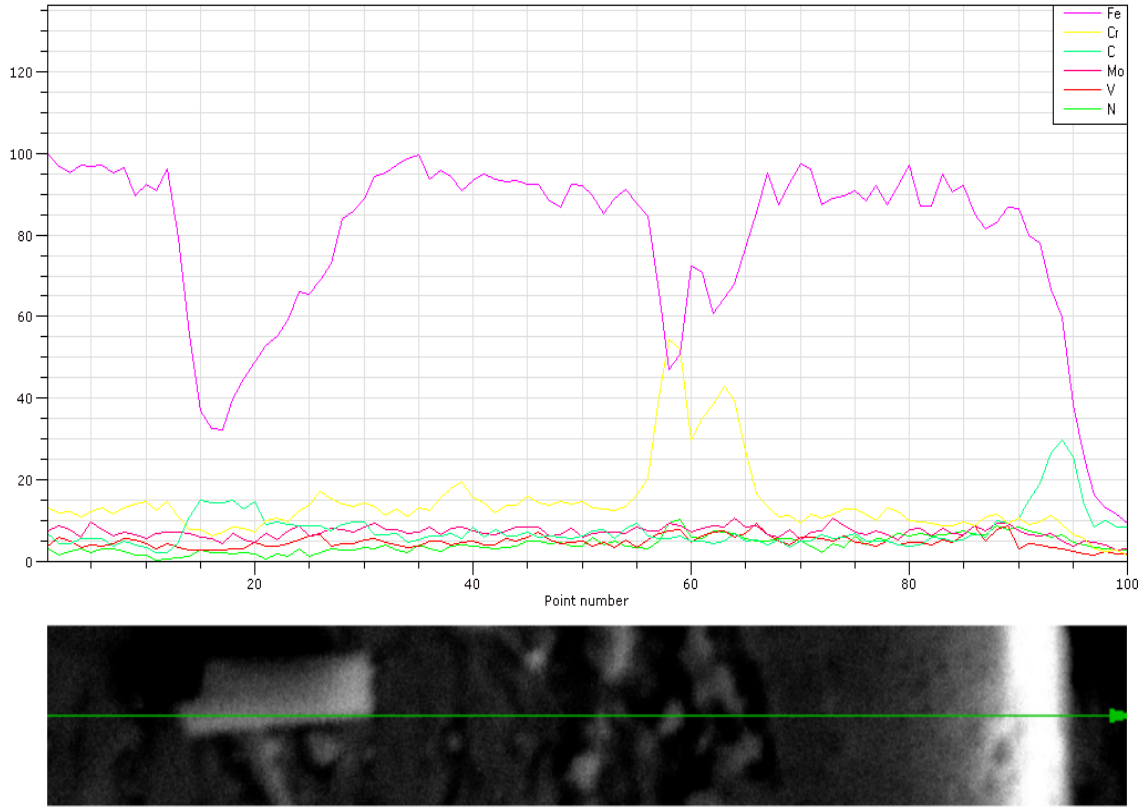
(a)



(b)



(c)

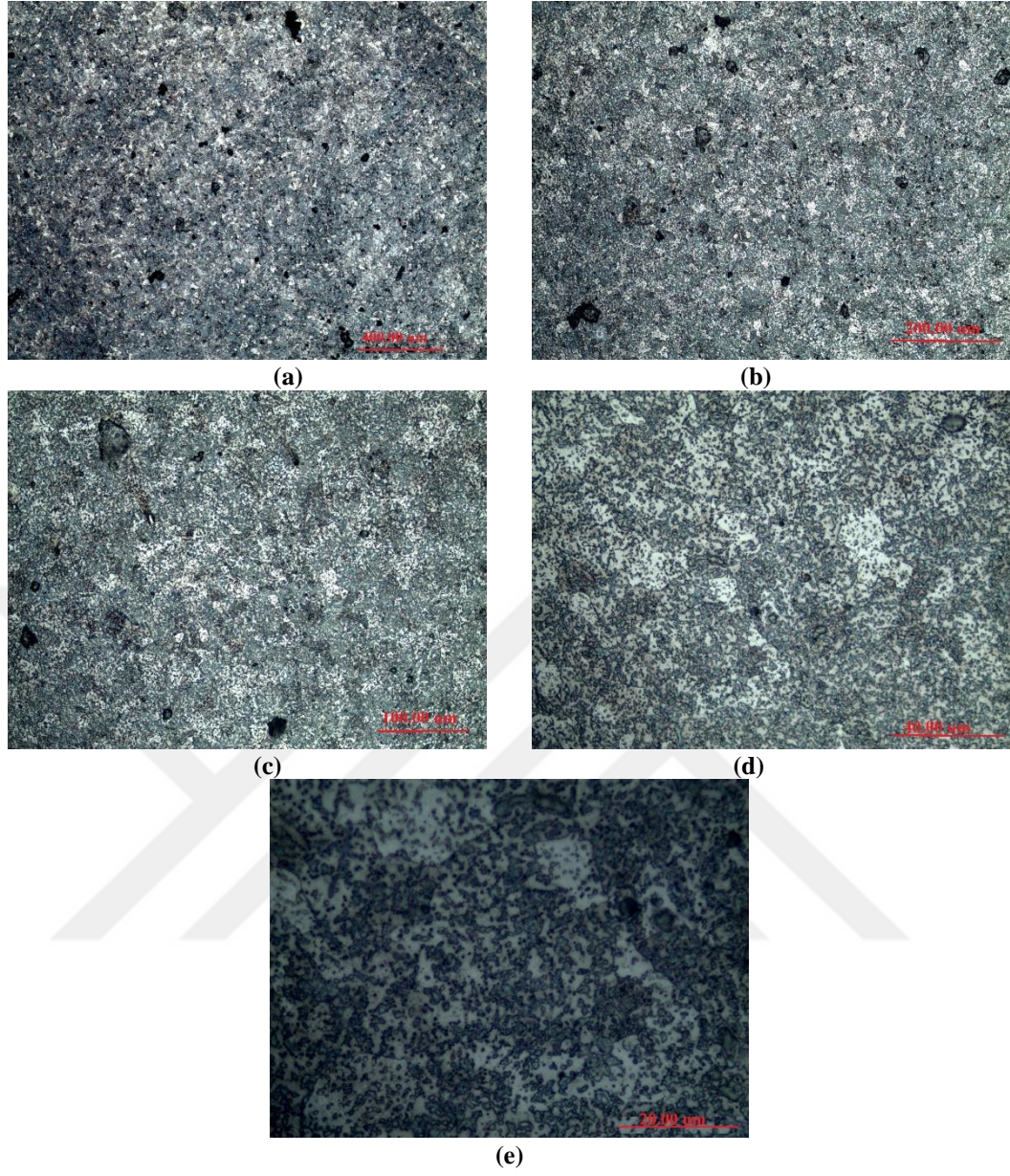


(d)

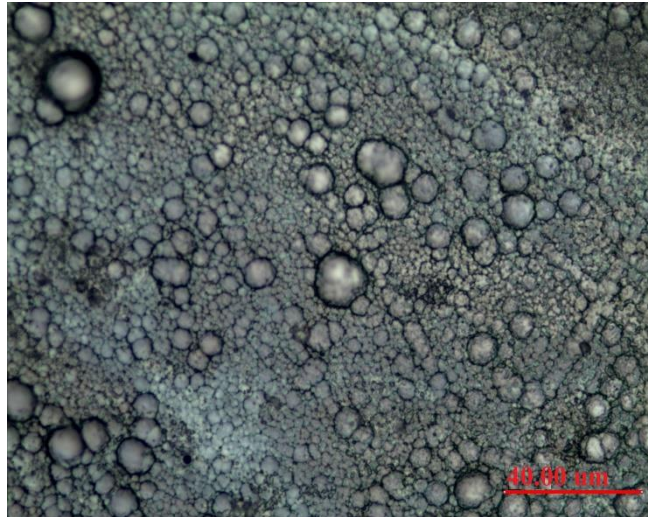
Şekil 4. 2. (a) Ni-B (b) Kaplamasız (c) Plazma nitrasyon (d) Gaz nitrasyon kaplamalara ait EDS line scan analizleri

4.3. Mikroyapı Sonuçları

Kaplama öncesi küreselleştirme tavlaması yapılmış 1.2344 sıcak iş takım çeliğine ait optik mikroskop görüntüleri Şekil 4.3'te verilmektedir. Numunelerin mikroyapıları α -Fe (ferrit) matris fazı (açık renkli bölgeler) ve küresel Cr esaslı karbürlerden oluşmaktadır. Şekil 4.4'te yüzey morfolojisinden görüldüğü gibi akımsız Ni-B kaplamanın “karnabaharimsi” yapıda olduğu görülmektedir.



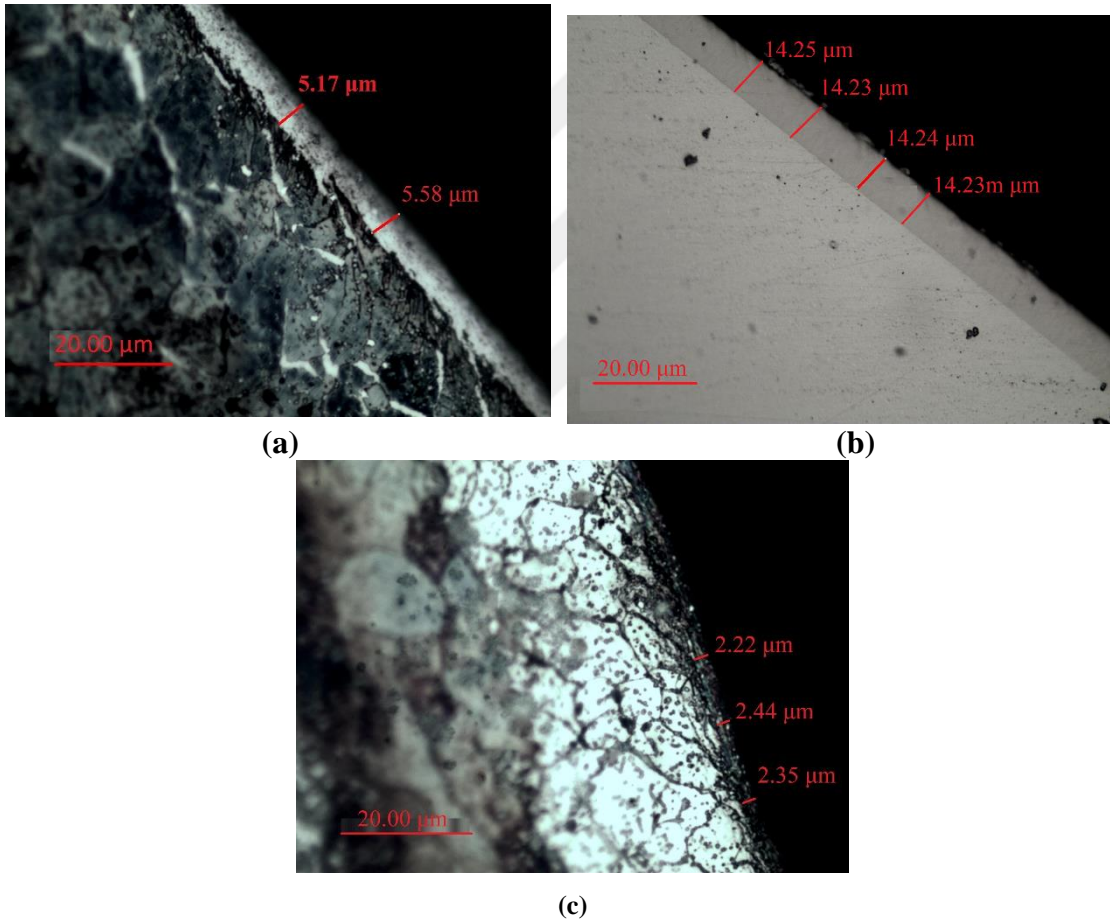
Şekil 4. 3. Kaplamasız 1.2344 sıcak iş takım çeliğine ait mikroyapı fotoğrafları, (a) 50X, (b) 100X , (c) 200X , (d) 500X ve (e) 1000X



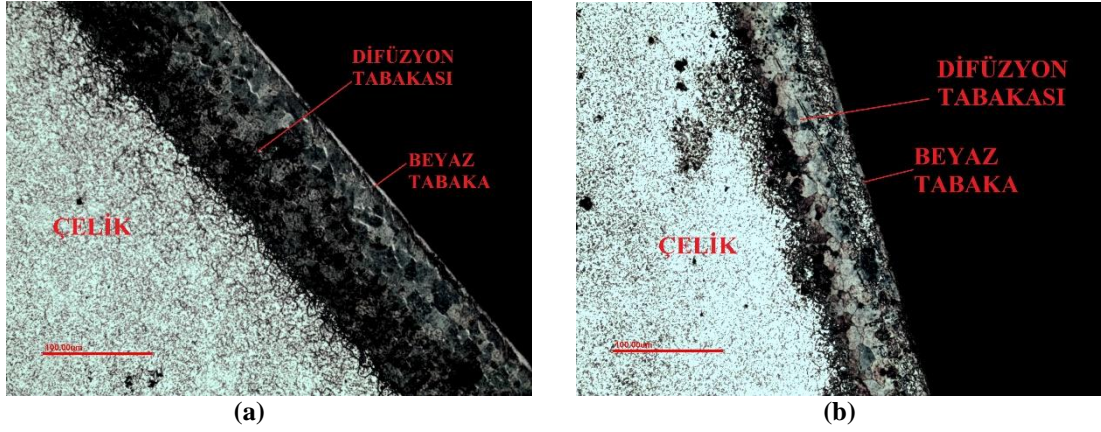
Şekil 4. 4. Akımsız Ni-B kaplamanın yapısı

4.4. Enine Kesit İnceleme Sonuçları

Şekil 4.5'te gaz nitrasyon, plazma nitrasyon ve akımsız Ni-B kaplamaların enine kesit görüntüsü verilmiştir. Kaplama kalınlıkları homojendir. Kaplama ve altlık arasında herhangi bir porozite vb. süreksizlik olmadığı kaplama ve altlık olarak kullanılan çeliğin uyum içerisinde olduğu görülmektedir. Gaz nitrasyon sonucunda 5-6 μm , plazma nitrasyon sonucunda ise 2-3 μm beyaz tabaka kalınlığı görülmektedir. Akımsız Ni-B ise 14-15 μm kaplama kalınlığı görülmüştür. Ayrıca Şekil 4.6'da gaz ve plazma nitrasyon yapılan parçaların enine kesit olarak difüzyon tabakası da verilmiştir.



Şekil 4. 5. (a) Gaz nitrasyon (b) Akımsız Ni-B (c) Plazma nitrasyon kaplamaların enine kesit görüntüsü



Şekil 4. 6. (a) Gaz nitrasyon, (b) Plazma nitrasyon kaplamaların beyaz tabaka ve difüzyon tabakası

4.5. Sertlik Sonuçları

Numunelerin sertlik sonuçları Çizelge 4.2’ de verilmiştir. Ölçümler Vickers (HV) sertlik yöntemine göre HV0,3 ile yapılmıştır. İşlem yapılmamış küreselleştirilme tavlaması yapılmış 1.2344 çeliği, gaz nitrasyon, plazma nitrasyon ve akımsız Ni-B kaplama yapılan numunelerin sertlikleri kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre sertlik değeri en yüksek plazma nitrasyon sonra sırasıyla gaz nitrasyon, akımsız Ni-B kaplama ve kaplamasız parça takip etmektedir. Çizelge 4.2’de kaplamasız olan numunenin değerinin küreselleştirme tavlaması yapılmasından dolayı sertlik değeri düşük gelmiştir.

Çizelge 4. 2. Numunelerin sertlik testi sonuçları

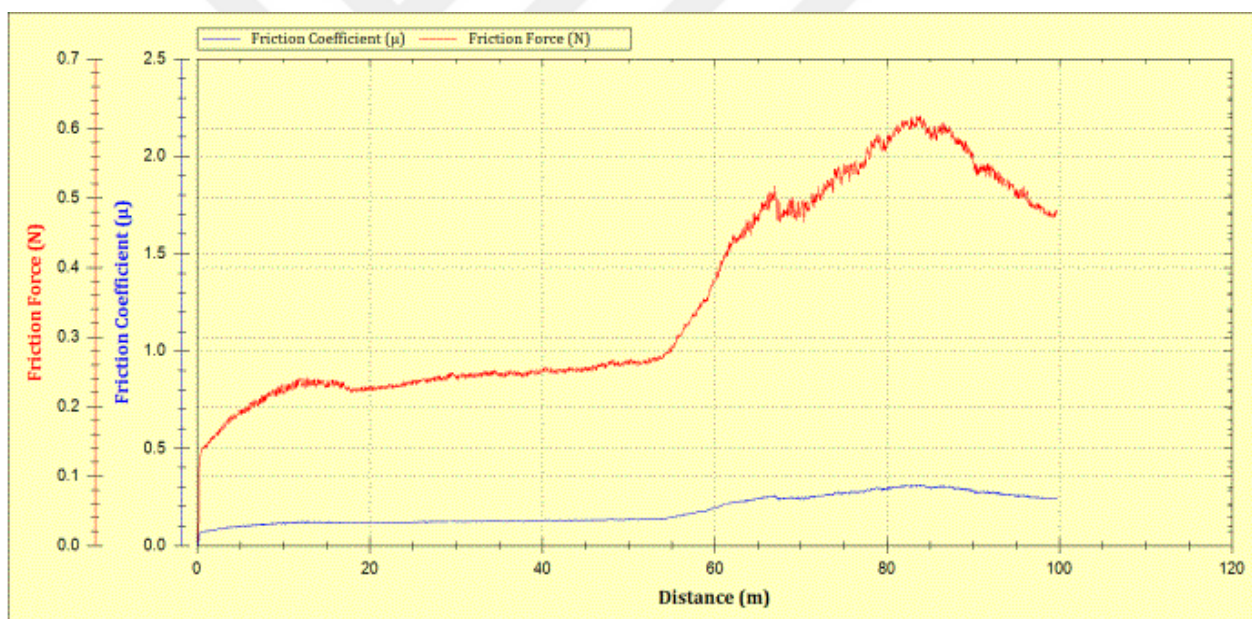
NUMUNE	ÖLÇÜM SONUCU (HV)
Kaplamasız 1.2344	176 HV ₁
Gaz Nitration	1082 HV _{0,3}
Plazma Nitration	1118 HV _{0,3}
Akımsız Ni-B Kaplama	560 HV _{0,01}

4.6. Aşınma Deneyi Sonuçları

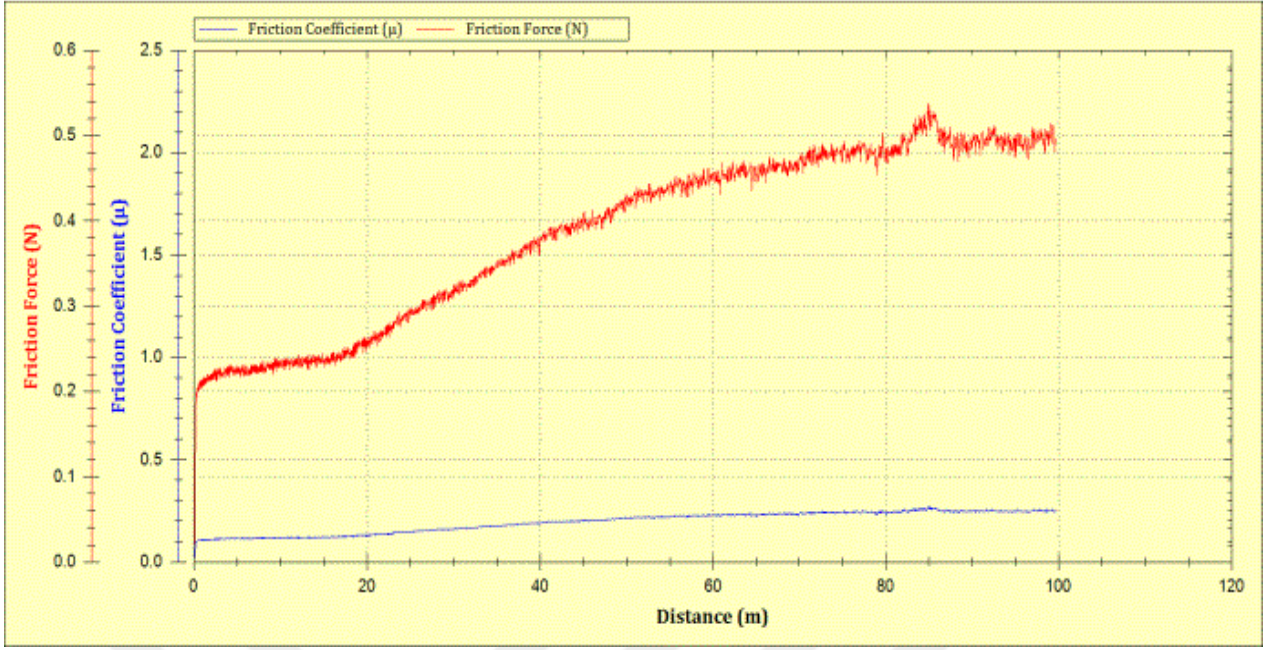
1.2344 sıcak iş takım çeliğinin yapılan kaplamasız, akımsız Ni-B kaplama ve gaz nitration işlemler sonucunda aşınma davranışına etkisini incelemek amacıyla aşınma testi uygulanmıştır. Aşınma testi sonucunda elde edilen sürtünme kuvveti ve sürtünme katsayısı eğrileri ve verileri sırasıyla Şekil 4.7’de verilmiştir.



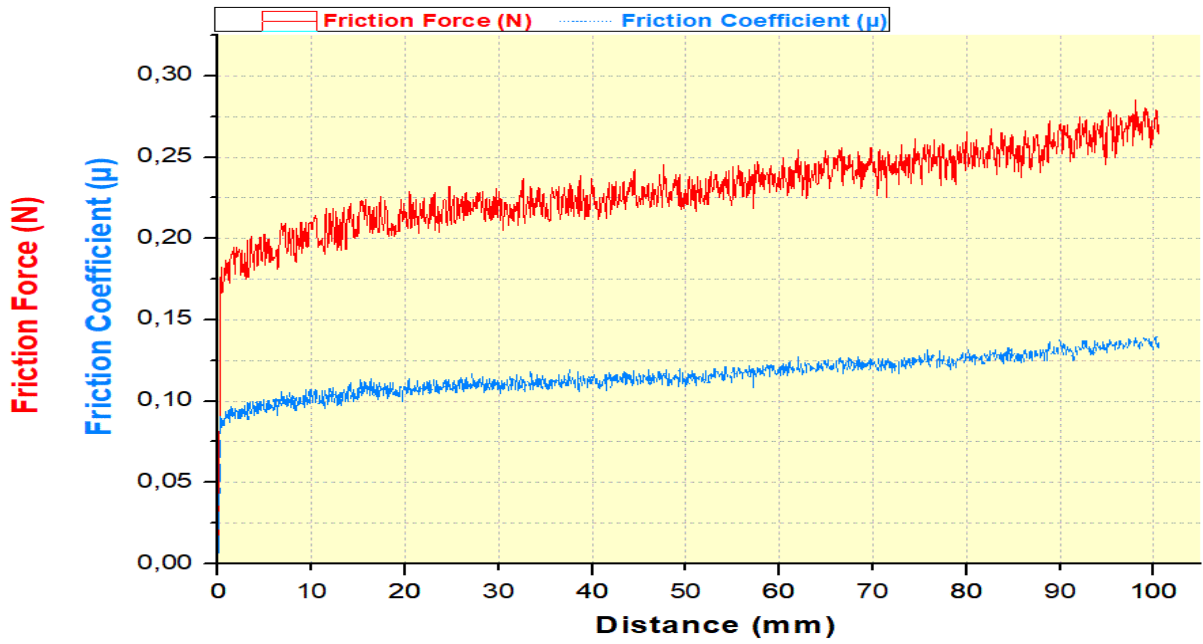
(a)



(b)

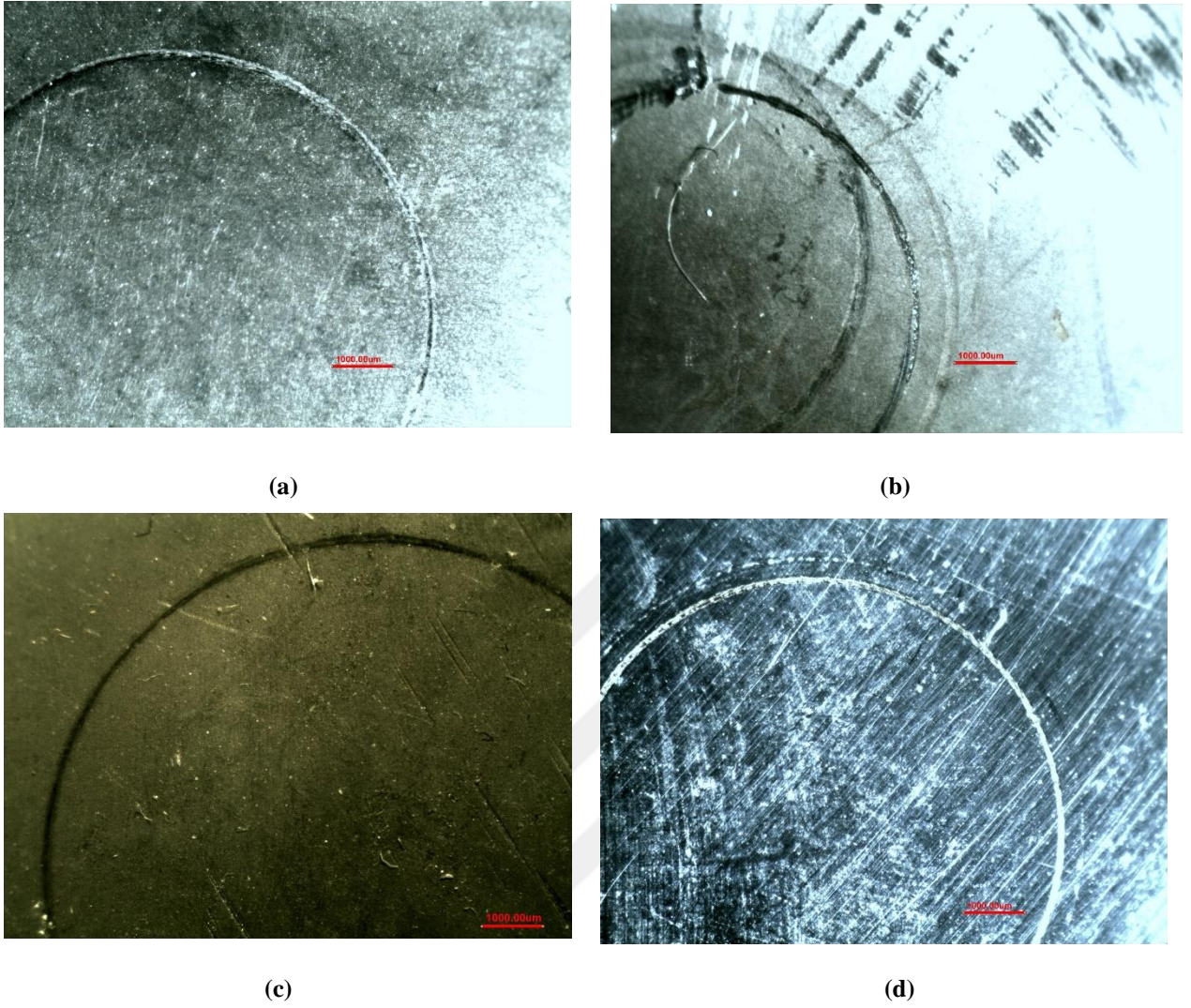


(c)



(d)

Şekil 4. 7. Aşınma testi sonucunda elde edilen sürtünme kuvveti-sürtünme katsayısı eğrileri: (a) Akımsız Ni-B kaplama, (b) Kaplamasız, (c) Gaz nitrasyon, (d) Plazma nitrasyon



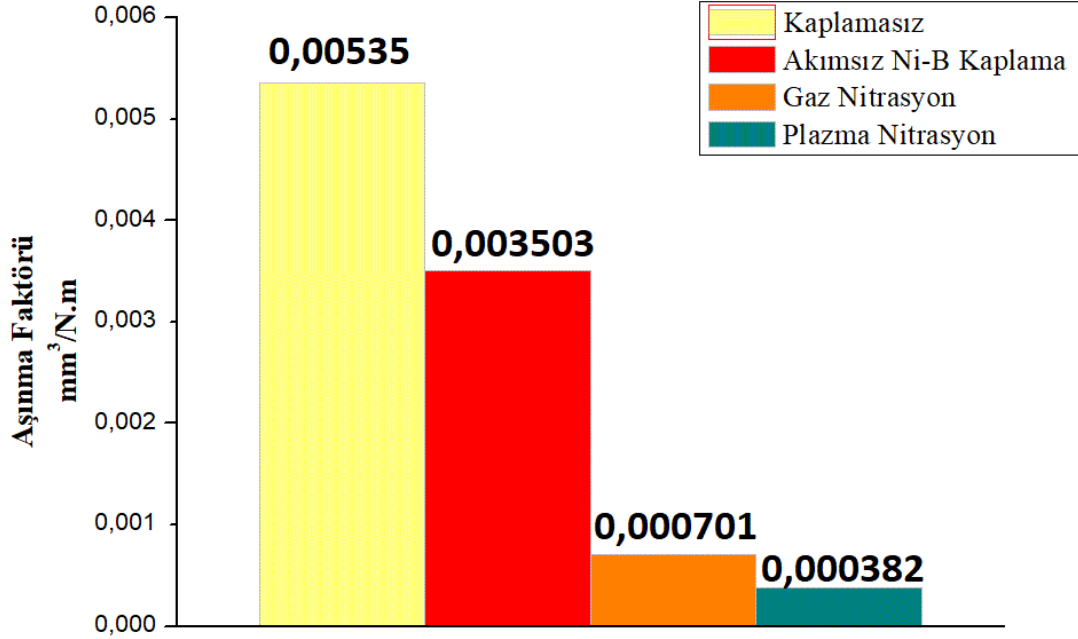
Şekil 4. 8. Aşınma testi sonucunda (a) Akımsız Ni-B kaplama, (b) Gaz nitrasyon, (c) Plazma nitrasyon , (d) Kaplamasız numunelerin aşınma miktarları

Çizelge 4. 3. Aşınma testi sonucunda belirlenen sürtünme katsayısı değerleri

Numune	Minimum sürtünme katsayısı	Maksimum sürtünme katsayısı	Ortalama sürtünme katsayısı
Kaplamasız	0.24	0.31	0.27
Gaz Nitration	0.24	0.27	0.25
Plazma Nitration	0.12	0.13	0.13
Akımsız Ni-B	0.33	0.34	0.33

Çizelge 4.3'te elde edilen verilere göre doğal yağlayıcılık özelliği sürtünme katsayısını azaltmaktadır. Buna göre en düşük sürtünme katsayısına sahip olan plazma

nitrasyon numunesinde en yüksek sürtünme katsayısı ise akımsız Ni-B kaplamada gözlenmiştir.



Şekil 4. 9. Aşınma deneyi sonucunda göre hesaplanan aşınma faktörü değerleri

4.6. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümleri

Elde edilen yüzey pürüzlülüğü ölçümleri Çizelge 4.9’da verilmektedir. En düşük yüzey pürüzlülüğü Ni-B kaplamada elde edilmiştir. Nitrasyonda oluşan beyaz tabaka fazları yüzey pürüzlülüğünü arttırmıştır. Plazma nitrasyonda oluşan Fe₃N ve Fe₄N fazlarının varlığından dolayı yüzey pürüzlülüğü yüksektir.

Çizelge 4. 4. Kaplamasız ve kaplamalı numunelere ait yüzey pürüzlülüğü verileri

Numune	Ortalama R _a (µm)	Ortalama R _q (µm)	R _t (µm)	R _z (µm)
Kaplamasız	0.02 µm	0.03 µm	0.59 µm	0.24 µm
Gaz Nitrasyon	0.30 µm	0.39 µm	3.59 µm	2.27 µm
Akımsız Ni-B	0.09 µm	0.13 µm	1.19 µm	0.88 µm
Plazma Nitrasyon	0.58 µm	0.78 µm	5.26 µm	6.92 µm

4.7. Korozyon Deneyi Sonuçları

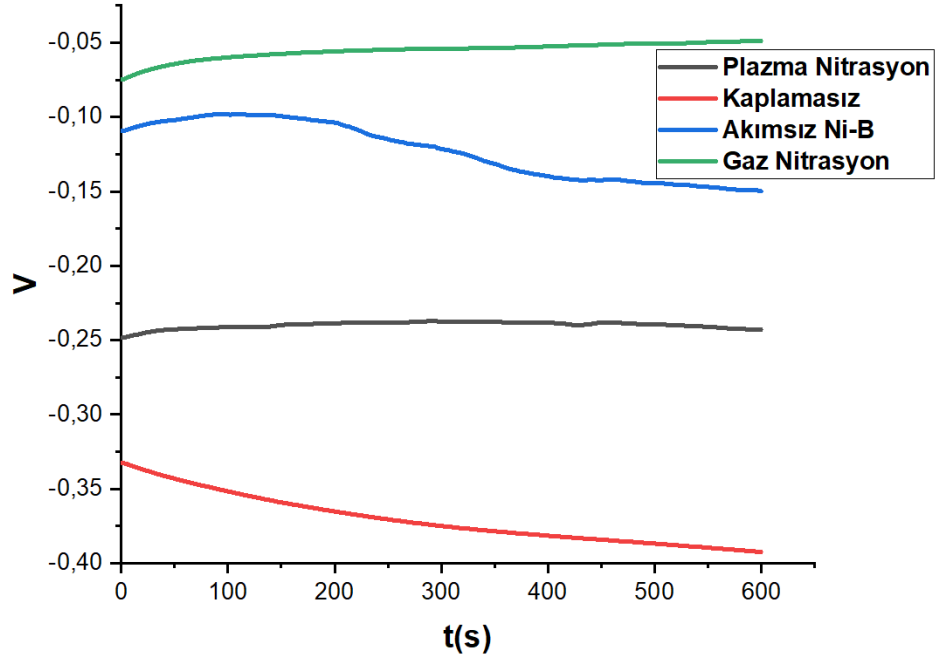
Deneyde kullanılan 1.2344 sıcak iş takım çeliğinin kaplamasız, nitrasyon ve akımsız Ni-B kaplamaların korozyon davranışlarını tespit etmek için Şekil 4.10'da verilen tafel polarizasyon eğrileri elde edilmiştir. Numunelerin polarizasyon eğrileri incelendiğinde, korozyon açısından en kötü performansın kaplamasız yüzeye ait olduğunu görebiliriz. Yüzeye uygulanan akımsız Ni-B kaplama ve nitrasyon işlemleri genel olarak taban malzemenin korozyon direncini arttırmıştır. Akımsız Ni-B kaplamaya uygulanan ısıtma işlemi ile kaplamanın iç yapısı amorf yapıdan kristal yapıya dönüşmektedir. Ayrıca ısıtma işlemi sonucu yapıda oluşan Ni_2B ve Ni_3B çökeltileri nikel faz ile mikro-galvanik hücrelerin oluşmasına neden olur ve korozyon direncini artırmaktadır. Numunelerin korozyon direnci, porozite, kaplama kalınlığı, yüzey morfolojisi, tane boyutu, iç gerilimler gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir.

Şekil 4.10'da verilen OCP grafiğinde kaplamasız 1.2344 sıcak iş takım çeliğinin korozyon potansiyeli $-0,39$ V civarlarında bir seyir izlediği görülmektedir. Ni-B alaşımının OCP eğrisinin ise daha pozitif bir potansiyelde ($-0,12$ V) başlamasına rağmen, zamanla negatif tarafa konumlanarak yaklaşık $-0,14$ V civarlarına kadar değişim göstermiştir.

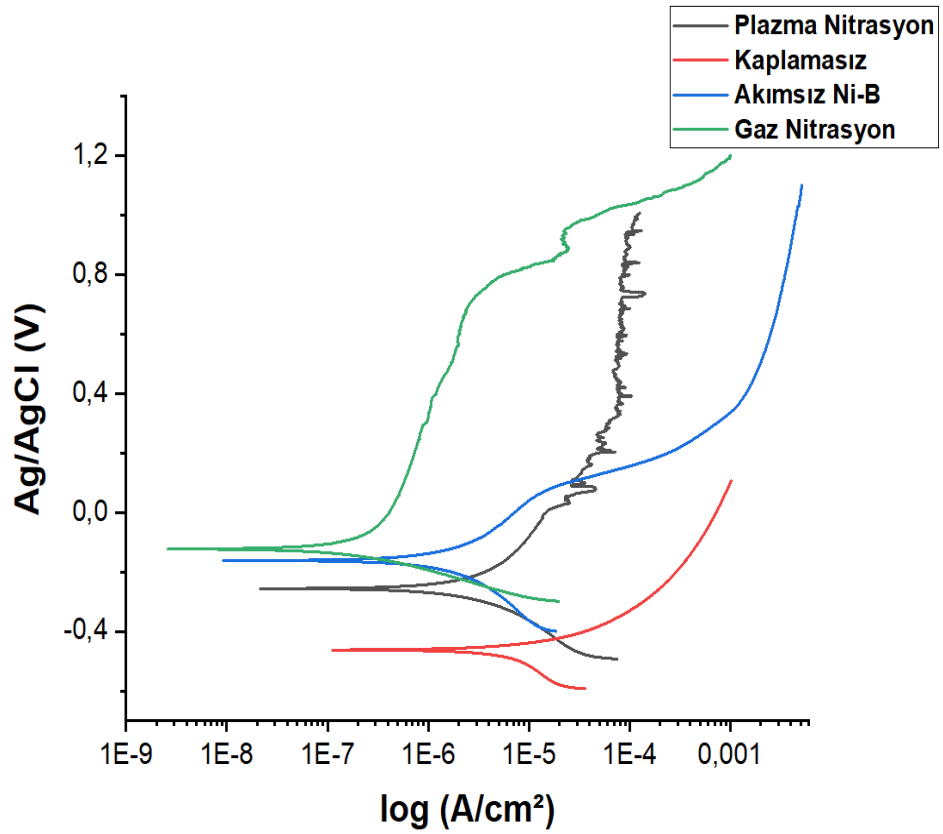
Çizelge 4.5. Kaplamaların 0.1 M NaCl içindeki elektrokimyasal verileri

Numune	OCP (V)	E_{kor} (V)	i_{kor} ($\mu A/cm^2$)
Kaplamasız	-0,39	-0,46	6,09300
Akımsız Ni-B kaplama	-0,14	-0,16	0,993
Gaz Nitrasyon	-0,05	-0,12	0,1612
Plazma Nitrasyon	-0,23	-0,25	1,91300

Şekil 4.10'da verilen PDP grafiğinde kaplamasız 1.2344 çeliğinin tafel eğrisi $-0,35$ V civarlarında konumlandığı görülmektedir. Akımsız Ni-B kaplamanın ise kaplamasızla göre biraz daha pozitif tarafta olduğu ve $-0,18$ V civarlarında konumlandığı görülmektedir. Gaz nitrasyonun ise plazma nitrasyona göre pozitif tarafa daha yakın olduğu ve elektrokimyasal özelliklerinin diğer kaplama türlerine göre daha iyi olduğu görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 4. 10. Kaplamalara ait (a) OCP ve (b) PDP eğrileri

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

- Kaplamalı ve kaplamasız olan parçaların XRD analizleri sonucunda Akımsız Ni-B kaplamanın amorf yapıda olduğu görülmüştür. Gaz nitrasyonda α -Fe (ferrit) fazı görünürken plazma nitrasyonda da ek olarak Fe_4N fazı bulunmuştur.
- Numunelerde sertlikleri en yüksek plazma nitrasyon sonucunda elde edilmiştir. Sonra sırasıyla gaz nitrasyon, akımsız Ni-B kaplama ve işlem yapılmamış 1.2344 çeliği gelmektedir.
- Plazma nitrasyon gaz nitrasyon ve akımsız Ni-B kaplamaları sonucunda altlık ile kaplama arasında uyum olduğu ve homojen bir kaplama kalınlığı ortaya çıkmıştır.
- Yapılan kaplamalar arasında gaz nitrasyonun korozyona dayanımı oldukça yüksektir. Bunun sonucunda kaplamasız 1.2344 sıcak iş takım çeliğine uygulanan kaplama yöntemleri çeliğin korozyon dayanımı arttırmaya yönelik olmuştur.
- Aşınma deneyinin sonucunda akımsız Ni-B kaplanmış parçanın sürtünme katsayısı en yüksek değere çıkmıştır. En düşük sürtünme katsayısına sahip olan gaz nitrasyon numunesidir.

KAYNAKLAR

- Ahangarani, Sh., Mahboubi, F., Sabour, A.R., 2006, Effects of various nitriding parameters on active screen plasma nitriding behavior of a low-alloy steel, *Vacuum Technology*, 1032-1037.
- Akbulut, H., Bengü, E., 2004, İki Farklı Sıvı Ortamda Nitrülenmiş H13 Çeliğinin Aşınma Davranışı, *SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(1).
- Akça, G., 2006, Takım çeliklerinin kaynağı, Yüksek lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Aktaş, G., 2014, Alüminyum Ekstrüzyonunda Kalıp Malzemesi Olarak Kullanılan Sıcak İş Takım Çeliklerinin Yüzey İşlemleri ve Tribolojik Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli.
- Albaraz, Z., 2010, Isıl İşlem Parametrelerinin ve Kimyasal Kompozisyonun Sıcak İş Takım Çeliklerinin Mekanik Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ashrafizadeh, F., 2003, Influence of plasma and gas nitriding on fatigue resistance of plain carbon (Ck45) steel, *Surface and Coatings Technology*, 173-174(2003), 1196-1200.
- Bakdemir, A.S., Özkan, D., Türküz, M.C., Uzun, E., Salman, S., 2020, Effect of the Nitriding Process in the Wear Behaviour of DIN 1.2344 Hot Work Steel, *Journal of Naval Sciences and Engineering*, 16(1), 45-70.
- Bakdemir, A.S., Özkan, D., Türküz, M.C., Uzun, E., Salman, S., 2020, Effect of the Nitriding Process in the Wear Behaviour of DIN 1.2344 Hot Work Steel, *Journal of Naval Sciences and Engineering*, 16(1), 45-70.
- Baş, B., 2019, Sıcak İş Takım Çeliklerinin Yüksek Sıcaklık Darbeli Kayma Aşınma Davranışının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Baycık, H., 1999, İyon Nitrülenmiş H13 Sıcak İş Çeliğinin Sıcaklık ve Zaman ile Sertlik Değerlerinin Değişimi, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Bostan, B., 2015, Yüksek Hız Takım Çeliklerinin Yüksek Sıcaklık Aşınma Dayanıma Nitrasyon İşleminin Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Çam, E., 2009, Akımsız Nikel Kaplama Banyolarının Karakteristiklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Çelik, A., Karakan, M., Alsaran, A., 2000, Gaz Karışımlarının İyon Nitrüleme Üzerine Etkisinin Araştırılması, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2(2), 87-94.

- Dervos, C.T., Novakovic, J., Vassiliou, P., 2003, Vacuum heat treatment of electroless Ni-B coatings, *Materials Letters*, 58(2004), 619-623.
- Dil, G., Gökşenli, A., Yüksel, B., Muhaffel, F., 2020, Isıl İşlemin Akımsız Ni-B/Ni-B-W Dupleks Kaplamanın Korozyon Direncine Etkisinin Analiz Edilmesi, *BŞEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 7(2), xx-xx.
- Di Giampaolo, A.R., Ordonez, J.G., Gugliemacci, J.M., Lira, J., 1996, Electroless nickel-boron coatings on metal carbides, *Surface and Coatings Technology*, 89(1997), 127-131.
- Eraslan, S., 2010, Akımsız Ni-B Kaplama Sistemlerine W İlavesinin Kaplama Özellikleri Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Güven, Ş.Y., Delikanlı, K., Öncel, E., 2014, AISI 4140 Çeliğine Uygulanan İyon Nitrasyon Yüzey Sertleştirme İşleminin Yorulma Dayanımına Etkisi, *SDU Teknik Bilimler Dergisi*, 4(2), 29-39.
- Hussain, K., Tauqir, A., Haq, A., Khan, A.Q., 1998, Influence of gas nitriding on fatigue resistance of maraging steel, *International Journal of Fatigue*, 21(1999), 163-168.
- Kahraman, F., Gençer, G., M., Karadeniz, S., 2013, Plazma Nitrülenmiş X40CRMOV5-1 Yüksek Alaşımli Çeliğin Aşınma Davranışının İncelenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(1), 7-14.
- Karaca, Y., 2019, 1.2344 Sıcak İş Takım Çeliğinin Kutu Sementasyon Yöntemi İle Vc Kaplanabilirliğinin İncelenmesi, *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 9, 106-110.
- Kekik, İ.F., 2015, Termo-Reaktif Difüzyon (TRD) Tekniği ile Cr-Ti-N Esaslı Kaplamaların Gerçekleştirilmesi ve Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya.
- Kenner, H., 1991, Chapter Gas Nitriding in ASM Metals Handbook Volume 4 Heat Treating, *ASM International*, USA, 880-910.
- Kıyasöz, A., 2010, Sıcak İş Takım Çeliklerinin Elastikliğine Isıl İşlemlerin Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Korkmaz, K., 2020, Gaz Nitrüleme Sonucu Oluşan Beyaz Tabakanın Nitrasyon Çeliğinin Aşınma Davranışına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gebze.
- Özdemir, U., Erten, M., 2003, Plazma (İyon) Nitrüleme Yöntemi ve Malzeme Özellikleri Üzerindeki Etkisi, *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 1(2), 41-48.
- Özer, O., 2016, 1.2344 Kalite Takım Çeliğine Alternatif Sıcak İş Takım Çeliğinin Isıl İşlem Parametrelerinin Belirlenmesi ve Hadde Bıçak Uygulamalarındaki Performansının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük.

- Serin, İ., 2013, Akımsız Ni-B-MO Kaplamaların Tribolojik ve Korozif Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Sung, J.H., Kong, J.H., Yoo, D.K., On, H.Y., Lee, D.J., Lee, H.W., 2007, Phase changes of the AISI 430 ferritic stainless steels after high-temperature gas nitriding and tempering heat treatment, *Materials Science and Engineering A*, 489(2008), 38-43.
- Şahin, E.F., 2021, Akımsız Ni-B Kaplamalara Tungsten ve Bor Karbür İlavelerinin Kaplamanın Özelliklerine Etkilerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Konya.
- Topçu, Ş., 2010, Farklı Şartlarda Plazma Nitrülenmiş Çeliklerin Aşınma Davranışının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa.
- Toptop, G.O., 2011, Yüksek Hız Takım Çeliklerinde Uygulanan Isıl İşlemler ve Elde Edilen Özellikler Arasındaki İlişkilerin Fiziksel Metalurjik Yönden İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Tutar, M., 2011, Plazma Nitrülenmiş, PVD Kaplanmış ve Çift Yüzey İşlemi Uygulanmış Sıcak İş Takım Çeliklerinin Aşınma Davranışlarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*
- Vitry, V., Bonin, L., 2017, Increase of boron content in electroless nickel-boron coating by modification of plating conditions, *Surface & Coatings Technology*, 311(2017), 164-171.
- Vitry, V., Kanta, A.F., Dille, J., Delaunois, F., 2012, Structural state of electroless nickel–boron deposits (5 wt. % B): Characterization by XRD and TEM, *Surface & Coatings Technology*, 206(2012), 3444-3449.
- Vitry, V., Sens, A., Kanta, A.F., Dille, J., Delaunois, F., 2012, Experimental study on the formation and growth of electroless nickel–boron coatings from borohydride-reduced bath on mild steel, *Applied Surface Science*, 263(2012), 640-647.
- Wan, Y., Yu, Y., Cao, L., Zhang, M., Gao, J., Qi, C., 2016, Corrosion and tribological performance of PTFE-coated electroless nickel boron coatings, *Surface & Coatings Technology*, 307(2016), 316-323.
- Yeşilçubuk, S.A., 2010, Enjeksiyon Kalıplarında Kullanılan Sıcak İş Takım Çeliklerinin Yüzey Özelliklerinin Geliştirilmesi, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.