

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**DEBRİYAJ AKSAMI (GUIDING TUBE) ÜRETİMİNDE KULLANILAN
DİKİŞSİZ BORU KALİTELERİNİN TOKLUK DAVRANIŞININ
UYGULANAN NİTROKARBÜRLEME ISIL İŞLEMİ İLE İLİŞKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gürkan ŞEN

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Üretim Metalurjisi ve Teknolojileri Mühendisliği Programı

ARALIK 2021

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**DEBRİYAJ AKSAMI (GUIDING TUBE) ÜRETİMİNDE KULLANILAN
DİKİŞSİZ BORU KALİTELERİNİN TOKLUK DAVRANIŞININ
UYGULANAN NİTROKARBÜRLEME ISIL İŞLEMİ İLE İLİŞKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Gürkan ŞEN
(506161227)**

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Üretim Metalurjisi ve Teknolojileri Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mustafa Kelami ŞEŞEN

ARALIK 2021

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 506161227 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Gürkan ŞEN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “DEBRİYAJ AKSAMI (GUIDING TUBE) ÜRETİMİNDE KULLANILAN DİKİŞSİZ BORU KALİTELERİNİN TOKLUK DAVRANIŞININ UYGULANAN NİTROKARBÜRLEME ISIL İŞLEMİ İLE İLİŞKİSİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Mustafa Kelami ŞEŞEN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Dr. Öğr. Üyesi Nuri SOLAK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Burak BİROL
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 30 Kasım 2021
Savunma Tarihi : 15 Aralık 2021





Aileme,



ÖNSÖZ

Yüksek Lisans tez çalışmam boyunca tez danışmanlığımı üstlenen; beni araştırmaya teşvik eden tutumuyla araştırmacı bir mühendis olmamda büyük katkıları olan, yeri geldiğinde manevi yardımlarını esirgemeyen ve sabırlı tutumuyla bana yardımcı olan, tez danışmanım ve değerli hocam Prof. Dr. Mustafa Kelami ŞEŞEN'e,

Tezin oluşumunda, deney planlamalarındaki katkılarıyla ve özellikle nitrasyon ve nitrokarbürleme ısıt işlemleri ve alaşım elementleri konularında kattığı büyük değerler için Önerler Isıl İşlem firması Üretim Müdürü Dr. Müh. Ersel AYDIN'a,

Tez çalışması boyunca sabırlı tutumuyla, enerjisiyle, verdiği tavsiyeler ve katkılarıyla bana yol gösteren Metform Çelik firması Genel Müdürü Özgür GÜNGÖR'e,

Deneysel çalışmalar esnasındaki yardımlarından dolayı Önerler Isıl İşlem firması Laboratuvar Sorumlusu Mustafa TURAN'a ve İmkosan Mühendislik firmasında Laboratuvar Sorumlusu Ali GİTMEZ'e,

Sağladığı tüm olanaklar için Önerler Isıl İşlem, İmkosan Mühendislik ve Metform Çelik Ailesine,

Hayatım boyunca her zaman arkamda olan, maddi ve manevi hiçbir desteğini esirgemeyen babam Mümin ŞEN, annem Sülbiye ŞEN, abim Gökhan ŞEN ve nişanlım Yeşim KILIÇ'a teşekkürlerin en büyüğünü sunarım.

Kasım 2021

Gürkan ŞEN
(Metalurji ve Malzeme Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
ÖZET	xix
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
2. GUIDING TUBE ÜRETİMİ	5
3. NİTRASYON ISIL İŞLEMİ	7
3.1 Nitrasyon Yöntemleri	7
3.1.1 Gaz nitrasyon	11
3.1.2 Tuz banyosunda nitrasyon	13
3.1.3 Akışkan yataklı fırında nitrasyon	13
3.1.4 Plazma nitrasyon	16
3.1.5 Nitrasyon yöntemlerinin avantajları ve dezavantajları	16
4. NİTROKARBÜRLEME ISIL İŞLEMİ	19
4.1 Nitrokarbürleme Yöntemleri	20
4.1.1 Gaz nitrokarbürleme	20
4.1.2 Sıvı nitrokarbürleme	22
4.1.3 Plazma nitrokarbürleme	23
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	25
5.1 Kullanılan Malzemeler ve Cihazlar	25
5.2 Deneylerin Yapılması	26
5.2.1 Nitrokarbürleme işlemi	26
5.2.2 Numune hazırlama – kesme işlemi	29
5.2.3 Numune hazırlama – bakalite alma işlemi	30
5.2.4 Numune hazırlama – zımpara işlemi	32
5.2.5 Numune hazırlama – parlatma işlemi	32
5.2.6 Sertlik ölçümleri	33
5.2.7 Numune hazırlama – dağlama işlemi	33
5.2.8 Mikroyapı analizi	34
5.2.9 Yassılma testi	34
6. DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELERİ	37
6.1 Sertlik Ölçümü Sonuçları	37
6.2 Mikroyapı Analizi ve Sonuçları	39
6.3 Yassılma Testi Sonuçları	45
7. GENEL SONUÇLAR	51
KAYNAKLAR	55
ÖZGEÇMİŞ	57



KISALTMALAR

AlN	: Alüminyum Nitrür
BK	: Soğuk Çekmeden Sonra Isıl İşlem Görmemiş Borular
C₂H₆	: Etan
C₃H₈	: Propan
CH₄	: Metan
CNC	: Computer Numerical Control (Bilgisayar Sayılımlı Kontrol)
CO	: Karbonmonoksit
CO₂	: Karbondioksit
Cr₂N	: Krom Nitrür
D	: Diameter (Çap)
DIN	: Deutsch Industrie Norms (Alman Endüstri Normu)
EN	: European Norm (Avrupa Normu)
H₂	: Hidrojen Gazı
HSP	: Hegzagonal Sıkı Paket
HV	: Vickers Sertliği
K₂CO₃	: Potasyum Karbonat
KCl	: Potasyum Klorür
MoN	: Molibden Nitrür
N₂	: Azot
Na₂CO₃	: Sodyum Karbonat
NaCN	: Sodyum Siyanür
NH₃	: Amonyak
TiN	: Titanyum Nitrür
VN	: Vanadyum Nitrür
YMK	: Yüzey Merkezli Kübik



SEMBOLLER

$^{\circ}\text{C}$	: Santigrat
$^{\circ}\text{F}$	: Fahrenheit
μm	: Mikrometre
m^3	: Metreküp
mm	: Milimetre
mm/s	: Milimetre/saniye
s	: Saniye
α'	: Alfa
γ'	: Gama
ε	: Epsilon



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Nitrasyon yöntemlerinin avantajları ve dezavantajları.....	17
Çizelge 4.1 : Nitrokarbürleme yöntemlerinin avantajları ve dezavantajları.....	24
Çizelge 5.1 : Kullanılan numunelerin kimyasal bileşimleri.	25
Çizelge 5.2 : Deneysel çalışmalar için kullanılan cihazlar.	26
Çizelge 6.1 : HV _{0.05} ölçüm yöntemine göre ölçülen yüzey sertlik değerlerinin farklı proses koşullarına göre değişimi.	37
Çizelge 6.2 : 5 saat süre ve 5 m ³ /saat NH ₃ debisine sahip prosesin HV _{0.05} ölçüm yöntemine göre sertlik taraması ve HV ₁ ölçüm yöntemine göre çekirdek sertliği sonuçları.	38
Çizelge 6.3 : 5 saat süre ve 3 m ³ /saat NH ₃ debisine sahip prosesin HV _{0.05} ölçüm yöntemine göre sertlik taraması ve HV ₁ ölçüm yöntemine göre çekirdek sertliği sonuçları.	38
Çizelge 6.4 : 3 saat süre ve 3 m ³ /saat NH ₃ debisine sahip prosesin HV _{0.05} ölçüm yöntemine göre sertlik taraması ve HV ₁ ölçüm yöntemine göre çekirdek sertliği sonuçları.	38
Çizelge 6.5 : Sertlik derinliği değerlerinin farklı proses koşullarına göre değişimi. .	38
Çizelge 6.6 : Farklı kalitedeki boru numunelerinin ham halinin yüzey mikroyapı görüntüleri.	40
Çizelge 6.7 : Farklı kalitedeki boru numunelerinin ham halinin çekirdek mikroyapı görüntüleri.	41
Çizelge 6.8 : 5 saat nitrokarbürleme ve 5 m ³ /saat NH ₃ debisine sahip prosesin yüzey/beyaz tabaka ve çekirdek mikroyapılarının 500X objektif mikroyapı görüntüleri.....	42
Çizelge 6.9 : 5 saat nitrokarbürleme ve 3 m ³ /saat NH ₃ debisine sahip prosesin yüzey/beyaz tabaka ve çekirdek mikroyapılarının 500X objektif mikroyapı görüntüleri.....	43
Çizelge 6.10 : 3 saat nitrokarbürleme ve 3 m ³ /saat NH ₃ debisine sahip prosesin yüzey/beyaz tabaka ve çekirdek mikroyapılarının 500X objektif mikroyapı görüntüleri.....	44
Çizelge 6.11 : Beyaz tabaka kalınlığı değerlerinin farklı proses koşullarına göre değişimi.	45
Çizelge 6.12 : Farklı kalitedeki dikişsiz çelik boru numunelerinin ham hallerinin yassılma testi sonucu.	46
Çizelge 6.13 : Farklı kalitedeki dikişsiz çelik boru numunelerinin 5 saat süre ve 5 m ³ /saat NH ₃ debili nitrokarbürleme prosesi sonrasındaki yassılma testi sonucu.....	46
Çizelge 6.14 : Farklı kalitedeki dikişsiz çelik boru numunelerinin 5 saat süre ve 3 m ³ /saat NH ₃ debili nitrokarbürleme prosesi sonrasındaki yassılma testi sonucu.....	46

Çizelge 6.15 : Farklı kalitedeki dikişsiz çelik boru numunelerinin 3 saat süre ve 3 m ³ /saat NH ₃ debili nitrokarbürleme prosesi sonrasındaki yassıltma testi sonucu.....	46
Çizelge 6.16 : Farklı kalitedeki dikişsiz çelik boru numunelerinin ham hallerinin çatlak durumunu gösteren fotoğraflar.	47
Çizelge 6.17 : Farklı kalitedeki dikişsiz çelik boru numunelerinin 5 saat süre ve 5 m ³ /saat NH ₃ debili nitrokarbürleme prosesi sonrasındaki çatlak durumunu gösteren fotoğraflar.	48
Çizelge 6.18 : Farklı kalitedeki dikişsiz çelik boru numunelerinin 5 saat süre ve 3 m ³ /saat NH ₃ debili nitrokarbürleme prosesi sonrasındaki çatlak durumunu gösteren fotoğraflar.	49
Çizelge 6.19 : Farklı kalitedeki dikişsiz çelik boru numunelerinin 9 saat süre ve 3 m ³ /saat NH ₃ debili nitrokarbürleme prosesi sonrasındaki çatlak durumunu gösteren fotoğraflar.	50



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Guiding tube proses akış şeması.	5
Şekil 2.2 : Deneysel çalışmada kullanılan numunelerin fotoğrafı ve debriyaj aksamındaki bulunduğu yer.	6
Şekil 3.1 : Difüzyon ile yüzey sertleştirme proseslerinin karşılaştırılması.	8
Şekil 3.2 : Fe-N ikili faz diyagramı.	9
Şekil 3.3 : Nitrasyon prosesi işlem basamakları gösterimi.	9
Şekil 3.4 : (a) γ -Fe ₄ N ve (b) ϵ -Fe ₃ N fazlarının kristal yapısı.	10
Şekil 3.5 : Nitrasyon işlemi uygulanmış malzemeye ait yapı.	10
Şekil 3.6 : Lehrer diyagramı.	11
Şekil 3.7 : Nitrasyon prosesi şematik gösterimi.	11
Şekil 3.8 : Gaz nitrasyon düzeneği.	11
Şekil 3.9 : Gaz nitrasyon prosesinin şematik gösterimi.	12
Şekil 3.10 : Akışkan yataklı fırın sisteminde akışkanlanma aşamaları.	14
Şekil 3.11 : Harici direnç ile ısıtılan akışkan yatak fırını.	14
Şekil 3.12 : Dahili direnç ile ısıtılan akışkan yataklı fırın (1) kapak, (2) yalıtım malzemesi, (3) refrakter malzemesi, (4) akışkan yatak, (5) ısıtma elemanı, (6) gaz girişi, (7) işlem görececek numune.	15
Şekil 3.13 : Plazma nitrasyon mekanizması.	16
Şekil 5.1 : Deneysel çalışmalara ait akış diyagramı.	26
Şekil 5.2 : Çalışmada kullanılan nitrasyon fırının genel görüntüsü.	27
Şekil 5.3 : 5 saat süre ve 5 m ³ /saat NH ₃ debisine sahip nitrokarbürleme işlemine ait prosesin grafiği.	28
Şekil 5.4 : 5 saat süre ve 3 m ³ /saat NH ₃ debisine sahip nitrokarbürleme işlemine ait prosesin grafiği.	28
Şekil 5.5 : 3 saat süre ve 3 m ³ /saat NH ₃ debisine sahip nitrokarbürleme işlemine ait prosesin grafiği.	29
Şekil 5.6 : Nitrokarbürleme öncesi ve sonrası numune fotoğrafı.	29
Şekil 5.7 : Struers marka Discotom-6 modeli kesme makinası genel görünümü.	30
Şekil 5.8 : Struers marka Discotom-6 modeli kesme makinası detay bilgileri.	30
Şekil 5.9 : Struers marka CitoPress-1 modeli bakalit makinasının genel görünümü.	31
Şekil 5.10 : Struers marka CitoPress-1 modeli bakalit makinasının detay bilgileri.	31
Şekil 5.11 : Sıcak bakalit işlemi için kullanılan sıcak bakalit tozu.	31
Şekil 5.12 : Numunelerimizden örnek bir bakalit fotoğrafı.	31
Şekil 5.13 : Metkon marka GRIPO 2V modeli zımpara ve parlatma makinasının genel görünümü.	32
Şekil 5.14 : Struers marka Tegramin-25 modeli zımpara parlatma makinasının genel görünümü.	32
Şekil 5.15 : Struers marka Tegramin-25 modeli zımpara parlatma makinasının detay bilgileri.	33
Şekil 5.16 : Shimadzu marka HMV-2 modeli mikro sertlik ölçüm cihazı genel görünümü.	33

Şekil 5.17 : Nikon Eclipse LV150N marka optik mikroskop.....	34
Şekil 5.18 : Yassıltma testi için kullanılan pres.	35
Şekil 5.19 : Yassıltma test düzeneği.	35
Şekil 6.1 : HV _{0.05} ölçüm yöntemine göre ölçülen yüzey sertlik değerlerinin farklı proses koşullarına göre değişimi.	37
Şekil 6.2 : Sertlik derinliği değerlerinin farklı proses koşullarına göre değişimi.	39
Şekil 6.3 : Beyaz tabaka kalınlığı değerlerinin farklı proses koşullarına göre değişimi.	45



DEBRİYAJ AKSAMI (GUIDING TUBE) ÜRETİMİNDE KULLANILAN DİKİŞSİZ BORU KALİTELERİNİN TOKLUK DAVRANIŞININ UYGULANAN NİTROKARBÜRLEME ISIL İŞLEMİ İLE İLİŞKİSİ

ÖZET

Günümüz otomotiv sektöründe içten yanmalı motorlardan tahrik alan otomobiller sektörde önemli bir paya sahiptir. Bu motorlar belirli bir devirin altında çalışmadıklarından, hız ve moment dönüştüren mekanizmalara ihtiyaç duyulur. Talep edilen bu moment ve kuvvetin uygun motor devirlerinde karşılanabilmesi için de vites kutusuna ihtiyaç duyulmaktadır. Motordan gelen gücün ve momentin vites kutusuna aktarılması, vites değişimlerinde iletilen hareketin kesilmesi ve daha sonrasında yeniden bağlantının kurulmasını sağlayan sisteme ise debriyaj sistemi denmektedir.

Debriyaj sistemi, motordan gelen momenti ve hareketi düzgünleştirir. Diğer bir görev olarak da titreşimi sönümler ve bu doğrultuda da konforu artırır. Bahsedilen bu durumlardan dolayı debriyaj sistemi otomobil içerisine oldukça önemli bir sistemdir. Genel olarak debriyaj sisteminin aracın konforuna, performansına ve yakıt tüketimine doğrudan etkisi vardır.

Otomobillerin debriyaj aksamalarında alt komponent olarak kullanılan birçok parça mevcuttur. Bu parçalardan biri de Guiding Tube olarak tanımlanan parçadır. Guiding tube parçası, debriyaj aksamında vites değiştirme yani debriyaj pedalına basma ve çekme anında hareketin sorunsuzca, herhangi bir yere temas etmeden hidrolik yağ ile beraber kolayca gerçekleşmesine yardımcı olan bir parçadır. Debriyaj aksamında kullanıldıkları yer doğrultusunda geometrik yapılarından dolayı guiding tube parçası çelik borulardan üretilmektedir. Tube parçası CNC makinalarda talaşlı imalat yöntemi ile üretilmekte olup daha sonrasında talaşlı imalat operasyonuna devam eden ek operasyonlar ile birlikte bitmiş ürün halini almaktadır. Guiding tube parçası debriyaj aksamında kullanıldığı yer nedeniyle tok olmalıdır. Kullanıldığı yerdeki etkilerinden dolayı tokluk ve yorulma dayanımına sahip olmalıdır. Ayrıca korozyona, sertliğe ve aşınma dayanımına da sahip olmalıdır. Bu özellikler uygun yüzey sertleştirme işlemleri ile sağlanabilir. En yaygın kullanılan işlem nitrokarbürleme prosesisidir.

Nitrokarbürleme prosesi, mühendislik malzemelerinin aşınma dayanımını, korozyon ve yorulma dayanımını arttırmak için tercih edilen termokimyasal yöntemlerden biridir. Yüzeyde ϵ -Fe₂₋₃(N, C) ve γ '-Fe₄(N, C) demir nitrokarbürlerinden oluşan bir beyaz tabaka mevcuttur. Bu beyaz tabakanın altında ise alaşım nitrokarbürlerinin olduğu difüzyon tabakası mevcuttur. Nitrokarbürleme prosesinde yüzeye azot atomu ile beraber karbon atomu da difüze edilir ve diğer termokimyasal yöntemlerden temel farkı budur.

Bu çalışmada ticaretinde St37 ve St52 simgeleri kullanılan P235 ve P355 (TS EN 10216) ve EN 42CrMo4 ve 16MnCr5 kalitelerindeki dikişsiz borular kullanılmıştır. Dikişsiz boru numunelerine farklı proses ve farklı süre şartlarında gaz nitrokarbürleme prosesi uygulandıktan sonra farklı kalitede olan boruların tokluk yani kırılma davranışlarındaki durum incelenmiştir.

Kullanılan numunelerin dış çap ölçüleri $27 \pm 0.08\text{mm}$, iç çap ölçüleri ise $23.80 + 0.12\text{mm}$ 'dir ve numuneler aynı tolerans aralıklarına sahiptir. Buradaki aynılık, herhangi bir ölçüsel değişikliğin özellikle et kalınlığı ölçüsünün borularda farklı davranışlara sebebiyet vermesini engellemek içindir.

Malzemelere nitrasyon fırınında üç farklı gaz nitrokarbürleme prosesi uygulanmıştır. Bu üç proses için, fırın numuneler de içerisindeyken öncelikle $380\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklığa ısıtılmıştır. Bu sıcaklıkta $3\text{ m}^3/\text{saat}$ hava debisi ile 45 dakika tutularak ön oksidasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Ardından nitrokarbürleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Parçalar, nitrokarbürleme işleminden sonra aynı fırında $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklığa kadar $2\text{ m}^3/\text{saat}$ debi ile azot yardımıyla soğutulmuştur. Uygulanmış olan prosesler ile alakalı detaylı bilgiler aşağıdaki tabloda verilmiştir.

GAZ NİTROKARBÜRLEME ISIL İŞLEMİ
1. Proses 5 Saat Süre - $5\text{ m}^3\text{ NH}_3$ $570\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklığa ısıtılarak 5 saat nitrokarbürleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Nitrokarbürleme prosesi için seçilen gaz karışımı; $5\text{ m}^3\text{ NH}_3$ (% 70.4), $1,8\text{ m}^3\text{ N}_2$ (%25.3) ve $0,3\text{ m}^3\text{ CO}_2$ (%4.2) şeklindedir.
2. Proses 5 Saat Süre - $3\text{ m}^3\text{ NH}_3$ $570\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklığa ısıtılarak 5 saat nitrokarbürleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Nitrokarbürleme prosesi için seçilen gaz karışımı; $3\text{ m}^3\text{ NH}_3$ (% 70.4), $1,08\text{ m}^3\text{ N}_2$ (%25.3) ve $0,18\text{ m}^3\text{ CO}_2$ (%4.2) şeklindedir.
3. Proses 3 Saat Süre - $3\text{ m}^3\text{ NH}_3$ $570\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklığa ısıtılarak 3 saat nitrokarbürleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Nitrokarbürleme prosesi için seçilen gaz karışımı; $3\text{ m}^3\text{ NH}_3$ (% 70.4), $1,08\text{ m}^3\text{ N}_2$ (%25.3) ve $0,18\text{ m}^3\text{ CO}_2$ (%4.2) şeklindedir.

Gaz nitrokarbürleme prosesi uygulanan numunelerin metalografik işlemleri kesme, bakalite alma, zımparalama, parlatma ve dağlama sırasıyla yapılmıştır ve numuneler sertlik ölçümüne, mikroyapı analizine hazır hale getirilmiştir. Sertlik ölçümleri mikro sertlik ölçüm cihazında, mikroyapı analizleri ise optik mikroskopta yapılmıştır. Metalografi için hazırlanan numuneler haricinde farklı kalitelerdeki borular son ürün halinde de kırılma testi için kullanılmıştır ve kırılma davranışları incelenmiştir.

Numunelerin yüzey sertlik ölçümleri $\text{HV}_{0.05}$ yani 50 gram yük altında, 7 saniye bekleme süresinde Vickers uç batırılarak ölçülmüştür. Her bir numuneden en az 3 veri alınmış olup bulunan değerlerin aritmetik ortalamaları rapor edilmiştir. Ayrıca, numunelerin yüzey kısımlarından iç kısımlarına doğru sertlik değişimleri de $\text{HV}_{0.05}$ yani 50 gram ile ölçüm alınan noktaların arası 0.05 mm olacak şekilde ölçülmüş olup raporlanmıştır. Çekirdek sertlikleri ise HV_1 yani 1 kg yük altında ölçülmüştür. Yapılan sertlik ölçümleri sonucunda 3 farklı proses için de en yüksek yüzey sertliği 16MnCr5 kalite dikişsiz boruda, en yüksek çekirdek sertliği ise 42CrMo4 kalite dikişsiz boruda görülmüştür. Sertlik derinliği incelediğinde ise 5 saat süre ve $5\text{ m}^3/\text{saat}$ NH_3 debili proses için P235 kalite dikişsiz boruda efektif sertlik derinliği bulunmamıştır. P355 kalitede 0.34mm, 42CrMo4 kalitede 0.32mm, 16MnCr5 kalite olan dikişsiz boruda ise 0.36mm olarak görülmüştür. 5 saat süre ve $3\text{ m}^3/\text{saat}$ NH_3 debili proses için sertlik derinliği incelediğinde P235 kalite dikişsiz boruda efektif sertlik derinliği bulunmamıştır. P355 kalitede 0.33mm, 42CrMo4 kalitede 0.31mm, 16MnCr5 kalite olan dikişsiz boruda ise 0.34mm olarak görülmüştür. Son olarak 3 saat süre ve $3\text{ m}^3/\text{saat}$ NH_3 debili proses için sertlik derinliği incelediğinde de P235 kalite dikişsiz boruda efektif sertlik derinliği bulunmamıştır. P355 kalitede 0.27mm, 42CrMo4 kalitede 0.24mm, 16MnCr5 kalite olan dikişsiz boruda ise 0.23mm olarak görülmüştür.

Farklı koşullar altında gaz nitrokarbürleme prosesi yapılmış farklı kalitedeki dikişsiz çelik boru numunelerinin, dağlama işlemi sonrasında mikroyapıları optik mikroskopta incelenmiştir. Mikroyapı analizleri ham halleri için 100X ve 500X büyütmede, ısıtılmış halleri ve beyaz tabaka incelemeleri ve ölçümü için ise 500X büyütmede incelenmiştir. Beyaz tabaka kalınlıkları incelendiğinde 5 saat süre ve 5 m³/saat NH₃ debili proses için P235 malzemede 22,59 µm, P355 malzemede 26,77 µm, 42CrMo4 malzemede 21,29 µm, 16MnCr5 malzemesinde ise 20,02 µm olarak görülmüştür. 5 saat süre ve 3 m³/saat NH₃ debili proses için beyaz tabaka kalınlığı incelendiğinde P235 malzemede 16,85 µm, P355 malzemede 18,66 µm, 42CrMo4 malzemede 19,48 µm, 16MnCr5 malzemesinde ise 19,06 µm olarak görülmüştür. Son olarak 3 saat süre ve 3 m³/saat NH₃ debili proses için beyaz tabaka kalınlığı incelendiğinde ise P235 malzemede 15,55 µm, P355 malzemede 13,20 µm, 42CrMo4 malzemede 16,03 µm, 16MnCr5 malzemesinde ise 15,88 µm olarak görülmüştür.

Öncelikle P235, P355, 16MnCr5 ve 42CrMo4 malzemelerin ham hallerinin kırılma davranışını tespit etmek için nitrokarbürleme ısıtılmış halleri yapılmadan yassılma testi uygulanmıştır. Tüm malzemelerde TS EN ISO 8492 standardına göre uygulanan yassılma testi sonucunda herhangi bir çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir. 5 saat süre ile 5m³ NH₃ debisi uygulanan parçalarda yassılma testi esnasında sadece P235 kalite malzemede çatlak tespit edilmemiştir. 42CrMo4 ve 16MnCr5 kalite malzemelerde parça boyunca çatlak görülmüştür. P355 kalite malzemede ise bölgesel çatlak oluşumları tespit edilmiştir. 5 saat süre ile 5m³ NH₃ debisi uygulanan parçalarda P235 ve P355 kalite malzemelerde 42CrMo4 ve 16MnCr5 kalite malzemelere göre daha kalın beyaz tabaka oluşmasına rağmen P235 kalite malzemede çatlak oluşmamıştır. P355 kalite malzemede ise bölgesel bazı çatlaklar tespit edilmiştir. Dolayısıyla beyaz tabaka oluşumu ile çatlak oluşumu arasında doğrudan bir ilişki tespit edilmemiştir. Yüzey sertlik değerleri irdelendiğinde ise P355 kalite malzemede 598 HV, 42CrMo4 kalite malzemede 657 HV ve 16MnCr5 kalite malzemede 728 HV değerine ulaşmıştır. Yüzey sertlik değerleri ile yassılma testi sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, artan yüzey sertliği değerleri ile kırılma dayanımının arttığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla yüzey sertliği ve difüzyon bölgesindeki sertlik değerlerinin yükselmesi malzemenin kırılma dayanımını arttırmaktadır. NH₃ debisinin 3m³'e indirilmesi ile P355 kalite malzemede azalan beyaz tabaka kalınlığı ve yüzey sertlik değerinin düşmesi ile, P355 kalite malzemede yapılan yassılma testinde çatlak tespit edilmemiştir. Dolayısıyla NH₃ debisinin düşürülmesi ile P235 ve P355 kalite malzemelerde çatlak görülmemiştir. 42CrMo4 ve 16MnCr5 kalite malzemelerde ise NH₃ debisinin düşürülmesine rağmen yassılma testlerinde parça boyunca çatlak görülmüştür. Bu sonuç, malzemelerdeki alaşım elementlerine bağlı olarak yüzey sertliğinin ve difüzyon bölgesindeki sertlik değerinin yüksek olmasından kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Nitrokarbürleme prosesinde süre 5 saatten 3 saate düşürüldüğünde, P235 ve P355 kalite malzemede yassılma testinde çatlak tespit edilmemiştir. Ancak yassılma testinde çatlak, 42CrMo4 kalite malzemede numune boyunca bölgesel iken, 16MnCr5 kalite malzemede numunenin boyunun tamamında olmuştur. Proses süresi azaltıldığında efektif sertlik derinliğindeki düşüş en fazla 16MnCr5 kalite malzemede olmasına rağmen yassılma testinde en fazla çatlak oluşumu da bu malzemede görülmektedir. Bunun en temel sebebi 16MnCr5 kalite malzemede yüzey sertlik değeri ve difüzyon bölgesi sertlik değerinin 5 saat süreli proseste olduğu gibi yüksek olmasıdır. 16MnCr5 malzemede karbon oranı 42CrMo4 malzemeye göre daha azdır. Karbon atomları gibi azot atomları da arayer atomudur. Bu iki sebepten dolayı azot atomu daha fazla difüze olabilecektir. Azot atomu daha fazla difüze olduğunda daha fazla nitrür ve daha sert bir tabaka oluşacaktır. Daha sert

bir tabaka oluşacağı için de en kırılgan malzemenin 16MnCr5 olduğu değerlendirilmektedir. 16MnCr5 ve 42CrMo4 kalite malzemeler kıyaslandığında, temper gevrekliği durumu ile karşı karşıya kalınmış olabileceği durumu değerlendirilmektedir. Temper gevrekliğinin oluşmasına P, Cr ve Mn gibi elementler daha fazla etki etmektedir. Her iki malzeme kıyaslandığında P ve Cr bileşimleri birbirlerine çok yakın değerlerdeyken 16MnCr5 malzemede Mn oranı daha fazladır. Ayrıca yapıda bulunan Mo elementi temper gevrekliğini önleyebilecek bir element olarak yapılarda kullanılmaktadır. Mo elementi 16MnCr5 malzemede 42CrMo4 malzemeye göre daha azdır. Bu sebeplerden dolayı 16MnCr5 malzemede temper gevrekliği durumundan dolayı bu malzemenin daha çok kırıldığı değerlendirilmektedir.

Bu sonuçlara göre çatlak oluşumunu etkileyen en belirgin değişkenlerin alaşım elementleri olduğu değerlendirilmektedir. Süreyi ve debiyi azaltarak yapılan nitrokarbürleme prosesindeki iyileştirmeler genel olarak yassılma testindeki çatlama hasarını azaltmasına rağmen 16MnCr5 kalite malzemede en yüksek sertlik değerlerine sahip olması nedeni ile yassılma testinde çatlak oluşumunda iyileşme sağlanamamıştır.

THE RELATIONSHIP BETWEEN TOUGHNESS BEHAVIOUR AND NITROCARBURIZING HEAT TREATMENT OF SEAMLESS PIPE GRADES USED IN THE MANUFACTURING OF CLUTCH ASSEMBLY (GUIDING TUBE)

SUMMARY

In today's automotive industry, cars driven by internal combustion engines have an important share in the industry. Since these motors do not operate below a certain speed, mechanisms that convert speed and torque are needed. A gearbox is also needed in order to meet this demanded torque and force at appropriate engine speeds. The clutch system is the system that transfers the power and torque from the engine to the gearbox, interrupts the transmitted motion during gear changes, and then reconnects.

The clutch system smoothes out the torque and movement from the engine. As another task, it dampens vibration and increases comfort in this direction. Due to these situations, the clutch system is a very important system in the automobile. In general, the clutch system has a direct effect on the comfort, performance and fuel consumption of the vehicle.

There are many parts used as sub-components in the clutch parts of automobiles. One of these parts is the part defined as the Guiding Tube. Guiding tube part is a part of the clutch assembly that helps the movement to take place smoothly, without touching anywhere, together with hydraulic oil, at the moment of shifting, that is, pressing and pulling the clutch pedal. The guiding tube part is produced from steel pipes due to their geometric structure in the direction of the place where they are used in the clutch assembly. The tube part is produced in CNC machines with the machining method, and then it becomes a finished product with additional operations that continue the machining operation. The guiding tube part must be tough due to the place where it is used in the clutch assembly. It should have toughness and fatigue strength due to its effects on the place of use. It should also have corrosion, hardness and wear resistance. These properties can be achieved by suitable surface hardening processes. The most widely used process is the nitrocarburizing process.

Nitrocarburizing process is one of the preferred thermochemical methods to increase the wear resistance, corrosion and fatigue resistance of engineering materials. There is a white layer consisting of ϵ -Fe₂₋₃(N, C) and γ' -Fe₄(N, C) iron nitrocarbides is on the surface. Under this white layer, there is a diffusion layer with alloy nitrocarbides. In the nitrocarburizing process, the nitrogen atom is diffused to the surface along with the carbon atom, and this is the main difference from other thermochemical methods.

In this study, seamless pipes of P235 and P355 (TS EN 10216) and EN 42CrMo4 and 16MnCr5 grades with St37 and St52 symbols were used. After the gas nitrocarburizing process was applied to the seamless pipe samples in different processes and different time conditions, the toughness, ie fracture behavior of the pipes of different quality was investigated.

The outer diameter dimensions of the samples used are $27 \pm 0.08\text{mm}$, the inner diameters are $23.80 \pm 0.12\text{mm}$, and the samples have the same tolerance ranges. The sameness here is to prevent any dimensional change, especially the wall thickness measurement, from causing different behavior in the pipes.

Three different gas nitrocarburizing processes were applied to the materials in the nitriding furnace. For these three processes, the furnace was first heated to 380°C while the samples were inside. Pre-oxidation process was carried out by keeping it at this temperature for 45 minutes with an air flow rate of $3\text{ m}^3/\text{hour}$. The nitrocarburizing process was then carried out. After the nitrocarburizing process, the parts were cooled in the same furnace up to 100°C with a flow rate of $2\text{ m}^3/\text{hour}$ with the help of nitrogen. Detailed information about the processes applied is given in the table below.

GAS NITROCARBURIZING HEAT TREATMENT
1. Process 5 Hour - $5\text{ m}^3\text{NH}_3$ Nitrocarburizing process was carried out by heating to 570°C for 5 hours. The gas mixture selected for the nitrocarburizing process; $5\text{ m}^3\text{NH}_3$ (%70.4), $1.8\text{ m}^3\text{N}_2$ (%25.3) and $0.3\text{ m}^3\text{CO}_2$ (%4.2).
2. Process 5 Hour - $3\text{ m}^3\text{NH}_3$ Nitrocarburizing process was carried out by heating to 570°C for 5 hours. The gas mixture selected for the nitrocarburizing process; $3\text{ m}^3\text{NH}_3$ (%70.4), $1.08\text{ m}^3\text{N}_2$ (%25.3) and $0.18\text{ m}^3\text{CO}_2$ (%4.2).
3. Process 3 Hour - $3\text{ m}^3\text{NH}_3$ Nitrocarburizing process was carried out by heating to 570°C for 3 hours.. The gas mixture selected for the nitrocarburizing process; $3\text{ m}^3\text{NH}_3$ (%70.4), $1.08\text{ m}^3\text{N}_2$ (%25.3) and $0.18\text{ m}^3\text{CO}_2$ (%4.2).

The metallographic processes of the samples applied gas nitrocarburizing process were performed in the order of cutting, bakalite operation, grinding, polishing and etching and the samples were prepared for hardness measurement and microstructure analysis. Hardness measurements were made with a micro hardness tester, and microstructural analyzes were made using an optical microscope. Apart from the samples prepared for metallography, pipes of different qualities were also used for fracture testing as the final product and their fracture behavior was investigated.

Surface hardness measurements of the samples were measured by under $\text{HV}_{0.05}$ (50 grams) load, 7 seconds dwell time with vickers tip. At least 3 data were taken from each sample and the arithmetic means of the values were reported. In addition, hardness changes of the parts from surface to core measured with $\text{HV}_{0.05}$, that is, 50 grams, and the distance between the measured points was measured and reported. Core hardness was measured under HV_1 , ie 1 kg load. As a result of the hardness measurements, the highest surface hardness was seen in the seamless pipe from 16MnCr5 steel and the highest core hardness in the seamless pipe from 42CrMo4 steel for 3 different processes. When the hardness depth is examined, no effective hardness depth was found in the P235 steel for the process with 5 hours time and $5\text{ m}^3/\text{hour}\text{NH}_3$ flow rate. It is 0.34mm in P355 steel, 0.32mm in 42CrMo4 steel, and 0.36mm in seamless pipe made of 16MnCr5 steel. When the hardness depth is examined for the process with 5 hours time and $3\text{ m}^3/\text{hour}\text{NH}_3$ flow rate, no effective hardness depth was found in P235 steel. It is 0.33mm in P355 steel, 0.31mm in 42CrMo4 steel, and 0.34mm in seamless pipe made of 16MnCr5 steel. Finally, when the hardness depth is examined for the process with 3 hours of time and $3\text{ m}^3/\text{hour}\text{NH}_3$ flow, no effective

hardness depth was found in P235 steel. 0.27mm in P355 steel, 0.24mm in 42CrMo4 steel, and 0.23mm in seamless pipe made of 16MnCr5 steel.

Under the different conditions, gas nitrocarburizing process was carried out, different quality seamless steel pipe samples, after metallographic preparation and etching, microstructures were examined under optical microscope. Microstructural analyzes were examined at 100X and 500X magnifications for raw forms and at 500X magnification for heat treated states and white layer examination and measurement. When the white layer thicknesses are examined, it is seen that it is 22.59 μm in P235 material, 26.77 μm in P355 material, 21.29 μm in 42CrMo4 material, and 20.02 μm in 16MnCr5 material for the process with 5 hours and 5 m³/hour NH₃ flow rate. When the white layer thickness is examined for the process with 5 hours time and 3 m³/hour NH₃ flow rate, it is seen that it is 16.85 μm in P235 material, 18.66 μm in P355 material, 19.48 μm in 42CrMo4 material, and 19.06 μm in 16MnCr5 material. Finally, when the white layer thickness is examined for the process with 3 m³/h NH₃ flow rate for 3 hours, it is seen that it is 15.55 μm in P235 material, 13.20 μm in P355 material, 16.03 μm in 42CrMo4 material, and 15.88 μm in 16MnCr5 material.

First of all, the flattening test was applied without nitrocarburizing heat treatment to determine the fracture behavior of the raw materials of P235, P355, 16MnCr5 and 42CrMo4. No crack formation was observed as a result of the flattening test applied in accordance with the TS EN ISO 8492 standard on all materials. During the flattening test, no cracks were detected in only P235 quality material on the parts that were applied 5m³ NH₃ flow rate for 5 hours. Cracks were observed throughout the part in 42CrMo4 and 16MnCr5 quality materials. Regional crack formations were detected in P355 quality material. Although a thicker white layer was formed in P235 and P355 quality materials compared to 42CrMo4 and 16MnCr5 quality materials, no cracks were formed in P235 quality materials in the parts that were applied 5m³ NH₃ flow rate for 5 hours. Some regional cracks were detected in P355 quality material. Therefore, a direct relationship between white layer formation and crack formation was not detected. When the surface hardness values are examined, it has reached 598 HV in P355 quality material, 657 HV in 42CrMo4 quality material and 728 HV in 16MnCr5 quality material. When the surface hardness values and the flattening test results were evaluated together, it was determined that the brittleness increased with increasing surface hardness values. Therefore, the increase in surface hardness and hardness values in the diffusion zone increases the brittleness of the material. With the reduction of the NH₃ flow rate to 3m³, the white layer thickness and surface hardness value decreased in the P355 quality material, and no cracks were detected in the flattening test performed on the P355 quality material. Therefore, no cracks were observed in P235 and P355 quality materials by reducing the NH₃ flow rate. In 42CrMo4 and 16MnCr5 quality materials, although the NH₃ flow rate was reduced, cracks were observed along the part in flattening tests. This result is considered to be due to the high surface hardness and hardness value in the diffusion zone depending on the alloying elements in the materials. When the time in the nitrocarburizing process was reduced from 5 hours to 3 hours, no cracks were detected in the flattening test in P235 and P355 quality materials. However, in the flattening test, while the crack was localized throughout the sample in 42CrMo4 quality material, it was in the entire length of the sample in 16MnCr5 quality material. Although the decrease in the effective hardness depth is the highest in 16MnCr5 quality material when the process time is reduced, the highest crack formation in the flattening test is also seen in this material. The main reason for this is the high surface hardness value and diffusion zone

hardness value in 16MnCr5 quality material, as in the 5-hour process. The carbon ratio in 16MnCr5 material is less than 42CrMo4 material. Like carbon atoms, nitrogen atoms are also interstitial atoms. For these two reasons, the nitrogen atom can diffuse more. The more nitrogen atoms diffuse, the more nitride and a harder layer will form. It is considered that the most fragile material is 16MnCr5, as a harder layer will be formed. When 16MnCr5 and 42CrMo4 quality materials are compared, it is evaluated that there may be a temper embrittlement situation. Elements such as P, Cr and Mn have a greater effect on the formation of temper brittleness. When both materials are compared, the P and Cr compositions are very close to each other, while the Mn ratio is higher in the 16MnCr5 material. In addition, the Mo element in the structure is used in structures as an element that can prevent temper embrittlement. Mo element is less in 16MnCr5 material than 42CrMo4 material. For these reasons, it is considered that this material is more broken due to the temper brittleness of the 16MnCr5 material.

According to these results, it is evaluated that the most obvious variables affecting crack formation are alloying elements. Although the improvements in the nitrocarburizing process, made by reducing the time and flow rate, generally reduced the cracking damage in the flattening test, no improvement in the crack formation was achieved in the flattening test due to the fact that the 16MnCr5 quality material had the highest hardness values.

1. GİRİŞ

Dünyada çok önemli bir ulaşım aracı olan otomobil insanların vazgeçilmez bir ihtiyacı olmuştur. Otomotiv sektörü, ülke ekonomilerinin kalkınmasına, istikrarlı bir şekilde büyümesine ve bağlı olduğu bir çok sektöründe gelişmesine katkı sağlayan çok önemli bir sektördür [1].

Otomotiv dünyası teknolojinin de gelişmesi ile beraber çok hızlı bir şekilde değişmektedir. Tüketici talepleri, maliyet düşürme ihtiyacı ve bu doğrultuda da firmalar arasında ortaya çıkan rekabet şirketlerin araştırma ve geliştirme çalışmaları yapmalarını zorunlu hale getirmiştir. Dünya bazında yapılan araştırmalar sonucunda AR-GE çalışmalarında en çok yatırım yapan firmalar arasında otomotiv sektöründen olan firmaları görmek şaşırtıcı değildir.

Geçmişten günümüze kadar otomotiv sektöründe oldukça fazla değişimler yaşanmıştır. Ama yaşanan bu değişimler de gerçekleştirilmek istenen konu başlıkları genel olarak aynı çerçevede devam etmektedir. Bunlardan en önemli olanları konfor ve sürüş dinamiklerinin geliştirilmesi, otomobilin sahip olduğu ağırlığın azaltılması, yakıt tüketimi ve karbon salınımının düşürülmesi olarak söylenmektedir.

Motor sistemi, bir otomobilin kalbi olarak tanımlanabilir. Motor, araçta hareketin ve gücün üretildiği yerdir. Bahsedilen bu güç ve hareket tekerleklerle aktarıldığında ise bir iş yapabilme kabiliyetine sahip olunur. Otomobillerde bu işlemin gerçekleşmesini sağlayan sistemlere de güç aktarma organları denir. Günümüz otomotiv sektöründe içten yanmalı motorlardan tahrik alan otomobiller sektörde önemli bir paya sahiptir. Bu motorlar belirli bir devirin altında çalışmadıklarından dolayı hız ve moment dönüştüren mekanizmalara ihtiyaç duyulur. Talep edilen bu moment ve kuvvetin uygun motor devirlerinde karşılanabilmesi için de vites kutusuna ihtiyaç duyulmaktadır. Motordan gelen gücün ve momentin vites kutusuna aktarılması, vites değişimlerinde iletilen hareketin kesilmesi ve daha sonrasında yeniden bağlantının kurulmasını sağlayan sisteme ise debriyaj sistemi denmektedir.

Debriyaj sistemi, motordan gelen momenti ve hareketi düzgünleştirir. Diğer bir görev olarak titreşimi sönümler ve bu doğrultuda da konforu arttırır. Bahsedilen bu durumlardan dolayı debriyaj sistemi otomobil içerisine oldukça önemli bir sistemdir. Genel olarak debriyaj sisteminin aracın konforuna, performansına ve yakıt tüketimine doğrudan etkisi vardır.

Otomobillerin debriyaj aksamalarında alt komponent olarak kullanılan birçok parça mevcuttur. Bu parçalardan biri de Guiding Tube olarak tanımlanan parçadır. Guiding tube parçası, debriyaj aksamında vites değiştirme yani debriyaj pedalına basma ve çekme anında hareketin sorunsuzca, herhangi bir yere temas etmeden hidrolik yağ ile beraber kolayca gerçekleşmesine yardımcı olan bir parçadır. Debriyaj aksamında kullanıldıkları yer doğrultusunda geometrik yapılarından dolayı guiding tube parçası çelik borulardan üretilmektedir. Tube parçası CNC makinalarda talaşlı imalat yöntemi ile üretilmekte olup daha sonrasında talaşlı imalat operasyonuna devam eden ek operasyonlar ile birlikte bitmiş ürün halini almaktadır. Guiding tube parçası debriyaj aksamında kullanıldığı yer nedeniyle tok olmalıdır. Kullanıldığı yerdeki etkilerinden dolayı tokluk ve yorulma dayanımına sahip olmalıdır. Ayrıca korozyona, sertliğe ve aşınma dayanımına da sahip olmalıdır. Bu özellikler uygun yüzey sertleştirme işlemleri ile sağlanabilir. En yaygın kullanılan işlem nitrokarbürleme prosesidir.

Yüzey işlem metodları ana başlık olarak 2 kategoride incelenmektedir. İlk tanımlama, yüzey işlemleri sonucunda malzemede yeni bir tabaka oluşturarak yapılan metodlar, ikinci tanımlama ise malzemede tabaka oluşturmaksınız yapılan metodlar şeklinde yapılmaktadır. Tabaka oluşturan metodlara kaplamalar, ince filmler veya kaynaklı üst tabakalar, tabaka oluşturmeyen metodlara ise karbon, azot gibi gazlar yani elementler kullanılarak yüzeyin kimyasal bileşimini değiştiren difüzyon yöntemleri örnek gösterilmektedir. Karbürleme, nitrasyon, nitrokarbürleme vb. metodlar da bu kategoriye girmektedir [2].

Karbürleme prosesinin yüksek sıcaklıklarda yapılıyor olması, nitrürleme işlemi için ise alaşımlı çelik şartının aranmasından dolayı yeni teknolojilerin ve tekniklerin araştırılmasına başlanmıştır. Bu araştırmalar sonucunda da nitrokarbürleme prosesi ön plana çıkmaya başlamıştır. Nitrokarbürleme prosesi malzemenin tokluk dayanımını, aşınma dayanımı, yorulma dayanımını ve korozyon dayanımı gibi özelliklerini olumlu yönde etkilemektedir. Bu sebeple bu amaçlar için kullanılmaya başlanan en önemli termokimyasal metodlardan biri olmuştur. Nitrokarbürleme prosesi katı,sıvı ve gaz

ortamlarda gerçekleştirilebilmektedir. Temel amaç ise parça yüzeyine karbon ve azot atomunun eş zamanlı olarak difüzyonunun yapılmasıdır [3,4].

Bu alışmada, P235, P355, 42CrMo4 ve 16MnCr5 kalite dikişsiz borulardan üretilen guiding tube ham parçaları kullanılmıştır. Numunelere farklı proses şartlarında ve farklı proses sürelerinde nitrokarbürleme ısııl işlemi uygulanmıştır. Nitrokarbürleme ısııl işlemi sonrasında numunelere mikroyapısal analizler, sertlik ölçümleri ve yassılتما testi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlarla özellikle yassılتما testi performansı ile malzemeye bağlı olarak en uygun nitrokarbürleme prosesi belirlenmiştir.

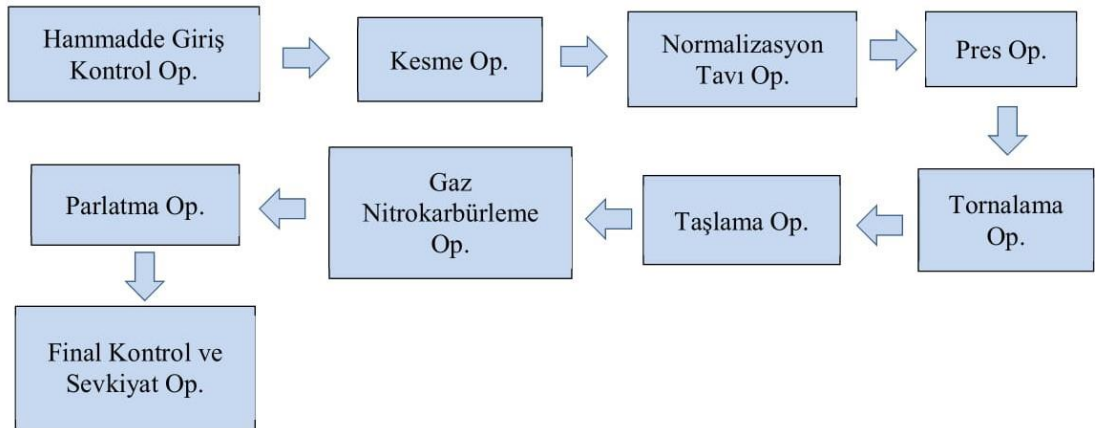




2. GUIDING TUBE ÜRETİMİ

Debriyaj sistemi, motordan gelen momenti ve hareketi düzgünleştirir. Diğer bir görev olarak titreşimi sönümler ve bu doğrultuda da konforu artırır. Bahsedilen bu durumlardan dolayı debriyaj sistemi otomobil içerisine oldukça önemli bir sistemdir. Genel olarak debriyaj sisteminin aracın konforuna, performansına ve yakıt tüketimine doğrudan etkisi vardır.

Otomobillerin debriyaj aksamalarında alt komponent olarak kullanılan birçok parça mevcuttur. Bu parçalardan biri de Guiding Tube olarak tanımlanan parçadır. Guiding tube parçası, debriyaj aksamında vites değiştirme yani debriyaj pedalına basma ve çekme anında hareketin sorunsuzca, herhangi bir yere temas etmeden hidrolik yağ ile beraber kolayca gerçekleşmesine yardımcı olan bir parçadır. Debriyaj aksamında kullanıldıkları yer doğrultusunda geometrik yapılarından dolayı guiding tube parçası çelik borulardan üretilmektedir. Tube parçası CNC makinalarda talaşlı imalat yöntemi ile üretilmekte olup daha sonrasında talaşlı imalat operasyonuna devam eden ek operasyonlar ile birlikte bitmiş ürün halini almaktadır. Şekil 2.1’de parçanın proses akış şeması gösterilmiştir.



Şekil 2.1 : Guiding tube proses akış şeması.

Guiding tube parçası debriyaj aksamında kullanıldığı yer nedeniyle tok olmalıdır. Kullanıldığı yerdeki etkilerinden dolayı tokluk ve yorulma dayanımına sahip olmalıdır. Ayrıca korozyona, sertliğe ve aşınma dayanımına da sahip olmalıdır. Bu

zellikler uygun yüzey sertleştirme işlemleri ile sağlanabilir. En yaygın kullanılan işlem nitrokarbürleme prosesidir. Bu çalışmada, guiding tube parçasının yukarıda da gösterilmiş olan proses akış şemasındaki gaz nitrokarbürleme prosesi incelenmiştir. Çalışmada kullanılan numunelerin fotoğrafı ve debriyaj aksamındaki bulunduğu yer şekil 2.2’de gösterilmiştir.



şekil 2.2 : Deneysel çalışmada kullanılan numunelerin fotoğrafı ve debriyaj aksamındaki bulunduğu yer.

3. NİTRASYON ISIL İŞLEMİ

3.1 Nitrasyon Yöntemleri

Nitrasyon prosesinin başlangıcı her ne kadar 1908 yılında Adolph Machlet ve 1922 yılında Dr. Adolph Fry'ın aldıkları patentlere dayansa da, birçok çevre tarafından nitrasyon prosesinin başlangıcı 1932 yılında Wehnheldt ve Berghaus'un iyon nitrürleme prosesini geliştirmesi olarak kabul edilir. Bilim insanlarıncı geliştirilmeye devam edilen bu prosesin uygulamaları olumlu sonuçlar vermiştir. Uzun yıllardır üstünde durulan ve geliştirilmeye devam edilen nitrasyon işlemi, birçok endüstriyel uygulamada önemli bir pay olarak yer almaya devam etmektedir. Nitrasyon genellikle uçak parçaları, otomotiv parçaları, tekstil makinaları, türbin üretim sistemlerinin imalatı vb. alanlarda tercih edilmektedir [5]. Nitrasyon, farklı malzemelerin yüzey sertliklerinin artırılması için uygulanan termokimyasal yüzey işlemlerden birisine verilen isimdir. Nitrasyon işlemi temel anlamda, çelik malzemelerin yüzeyine azot atomlarının arayer atomu olarak gönderilmesine dayanan bir termokimyasal yüzey işlemidir [6]. Nitrasyon işlemi, nitrokarbürleme ve karbürleme gibi örnek verebileceğimiz diğer termokimyasal yüzey sertleştirme yöntemlerine kıyasla daha düşük sıcaklıklarda uygulabilen bir işlemdir. Nitrasyon prosesinin uygulanacağı sıcaklık, prosesin uygulanacağı malzemeye bağlı olarak değişmekle birlikte yaklaşık olarak 500-590°C sıcaklıkları arasında gerçekleşir ve herhangi bir faz dönüşümü gerçekleşmez. Özellikle bu durumunda etkisiyle, distorsiyon gibi önemli bir problemin karşımıza çıkmaması sebebiyle, son zamanlarda gittikçe ön plana çıkan bir proses halini almıştır. Nitrasyon işleminde de distorsiyon hiç gerçekleşmeyeceği anlamına gelmemekle birlikte, yukarıda da adları geçen nitrokarbürleme ve karbürleme gibi daha yüksek proses sıcaklıklarına gereksinim duyulan termokimyasal yüzey işlemlerine kıyasla oldukça düşük miktarda gerçekleşir [6]. Difüzyon ile yüzey sertleştirilen farklı termokimyasal proseslerin, farklı malzemeler üzerindeki etkilerine ve proses parametrelerine ait farklılıklar Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 : Difüzyon ile yüzey sertleştirme proseslerinin karşılaştırılması [5].

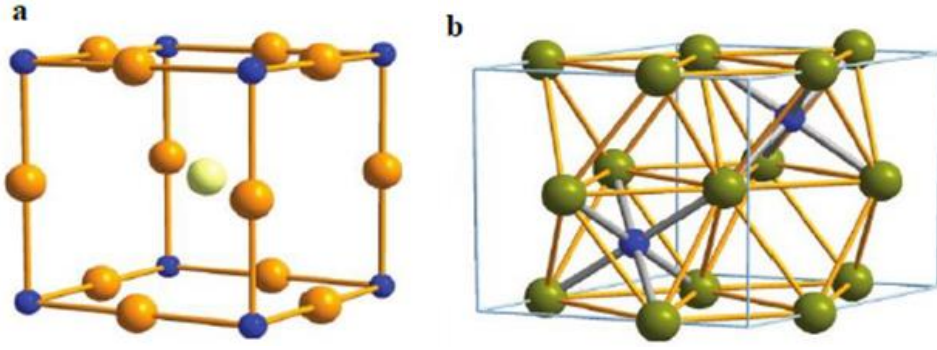
Nitrasyon prosesinde azot elementinin arayer atomu olarak kafes yapısında bulunmasından dolayı az da olsa bir hacimsel değişiklik söz konusu olabilir. Ayrıca soğuma uygulandığı anda bir su verme işleminin yapılması gerekmemektedir [7].

Azot elementinin atom çapı karbon elementinin atom çapından küçüktür. Bu sebepten dolayı azot elementi demir kafes yapısına daha kolay bir şekilde yerleşebilmektedir. Fakat bahsedilen bu durum yüksek sıcaklıklarda gerçekleşir ise nitrürler yüzeyde birikir ve bunun sonucunda da yüzeyde sert bir tabaka oluşur. Sıcaklık artışı doğrultusunda görülen ferrit-östenit dönüşümünün malzeme yapısında oluşturduğu hacimsel değişimler oluşan bu sert tabakanın pul pul dökülmesine sebep olur. Bahsedilen bu dökülmenin meydana gelmemesi için de azot atomlarının ferrit yapı içerisinde difüze olması gerekmektedir. Bu difüzyonun sağlanması için de difüzyon sıcaklığının ötektoid sıcaklığı altında bir değerde olması gerekmektedir ve bu sıcaklıkta demir-azot denge diyagramında 590°C'ye karşılık gelir. Östenit faz dönüşümünün gerçekleşmemesi için de nitrasyon prosesinin uygulama sıcaklığı 590°C altında gerçekleştirilir [8].

Demir içinde bulunan azot çözünürlüğü direkt olarak sıcaklığa bağlıdır. 450°C (840°F) sıcaklığın üzerinde ϵ fazı oluşmaya başlar. Karbon oranı arttıkça bu fazın oluşma potansiyeli de doğal olarak artacaktır. 490°C (914°F) sıcaklığa gelindiğinde ise γ' fazı oluşur. Bu aşamadan sonra 680°C (1256°F) sıcaklığa kadar çözünürlük düşer [5]. Oda koşullarındaki basınç değerlerinde katı veya sıvı fazda bulunan demir içerisindeki azot elementlerinin çözünabilirliği oldukça azdır. Şekil 2.2'de gösterilen Fe-N ikili faz diyagramı incelendiğinde α -Fe içerisinde 810°C'de % ağırlıkça 0.005 oranında

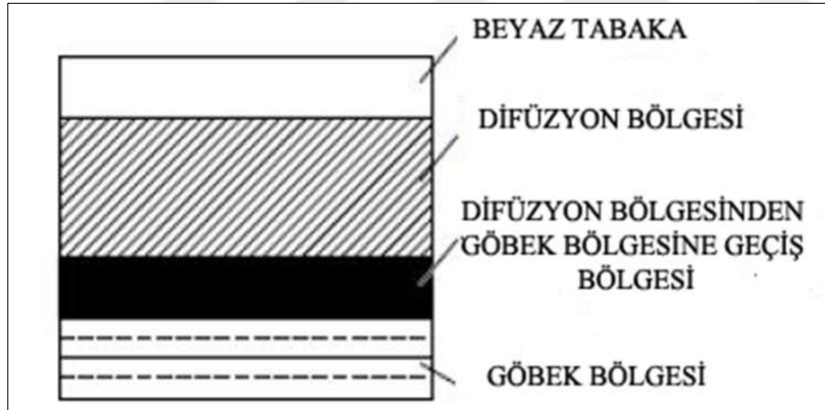


Nitrasyon prosesi sonrasında malzemenin yüzeyinde beyaz tabaka olarak da isim verilen alaşımlama tabakası ve devamında da difüzyon tabakası oluşmaktadır. Beyaz tabaka hegzagonal sıkı paket (HSP) yapısındaki ϵ -Fe₃N ile yüzey merkezli kübik (YMK) yapıdaki γ' -Fe₄N fazlarını içerir [11]. Şekil 3.4’de bu fazlara ait kristal yapılar gösterilmiştir.



Şekil 3.4 : (a) γ' -Fe₄N ve (b) ϵ -Fe₃N fazlarının kristal yapısı [12].

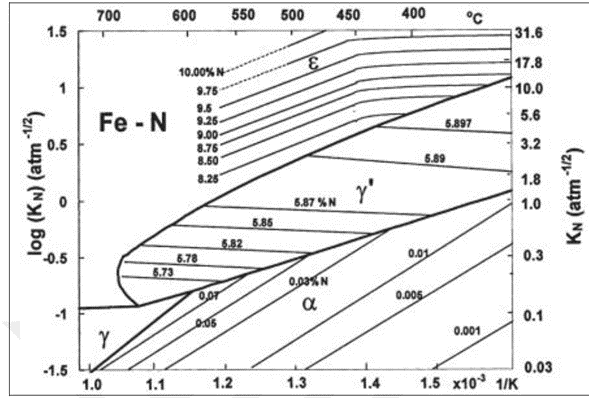
Nitrasyon prosesi sonucunda oluşan mikroyapı incelendiğinde ise, çelik yüzeyinden çekirdeklenerek büyümeye başlayan bir nitrür katmanı görülmektedir. Bu tabakaya beyaz tabaka adı verilmektedir. Bu tabaka oldukça kırılgan ve sert bir yapıdadır. Beyaz tabaka yüzeyde oluşur ve yüzeyden içeri difüzyonu gerçekleştiremez. Beyaz tabakanın hemen altında ise, kararlı nitrür yapıların oluşturduğu difüzyon bölgesi görülmektedir. Bu bölgenin görülmesinden sonra ise Şekil 3.5’de görülen bir geçiş bölgesi ile birlikte en alttaki yapıya ulaşılır [5].



Şekil 3.5 : Nitrasyon işlemi uygulanmış malzemeye ait yapı [5].

Proses süresi, proses sıcaklık seçimi, gaz kompozisyonu ve basınç gibi değişkenlere bağlı olarak da beyaz tabaka kalınlığı değişkenlik göstermektedir [5].

Nitrasyon fazlarının kontrolü Lehrer diyagramı ile sağlanabilir. Lehrer diyagramı ile sıcaklık ve nitrasyon potansiyeline bağlı olarak oluşabilecek Fe-N faz bölgeleri görülmüş olur. Bu duruma ek olarak demir yüzeyindeki azot konsantrasyonu da görülebilmektedir. Şekil 3.6’da Lehrer diyagramı gösterilmiştir [13].



Şekil 3.6 : Lehrer diyagramı [13].

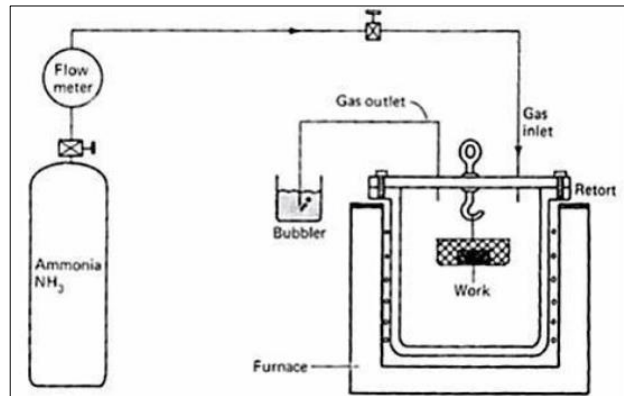
Şekil 3.7’de de Nitrasyon prosesi şematik gösterimi yapılmıştır.



Şekil 3.7 : Nitrasyon prosesi şematik gösterimi [14].

3.1.1 Gaz nitrasyon

Gaz nitrasyon prosesi, özel bir ekipman gerektirmeyen ve prosesin uygulanacağı malzemenin geometrisine bağımlı olmayan termokimyasal bir prosestir [15,16]. Gaz nitrasyon işlemi genel olarak kontrollü gaz atmosferine sahip fırınlarda uygulanmaktadır. Nitrasyon prosesi için gaz kaynağı olarak saf azot, azot - argon gaz karışımı, azot - hidrojen gaz karışımı veya amonyak kullanılabilir. Gaz nitrasyon işleminde kullanılan düzeneklere örnek gösterim Şekil 3.8’de verilmiştir.



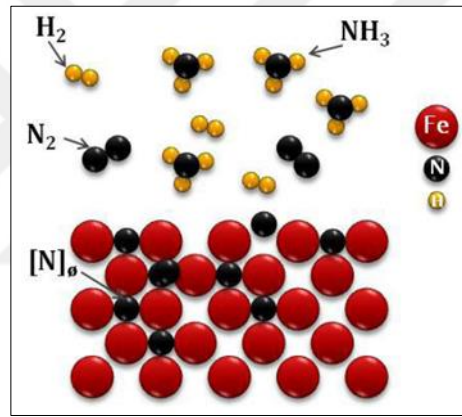
Şekil 3.8 : Gaz nitrasyon düzeneği [17].

Nitrasyon prosesinin, diğer yüzey sertleştirme tekniklerinden olan karbonitrasyon, karbürleme, nitrokarbürleme göre tercih edilmesinin sebebi 450-590°C sıcaklıkları arasında uygulanabilmesidir. Bahsedilen bu sıcaklık değerleri arasında malzemenin yapısı içerisinde herhangi bir faz değişimi gözlemlenmemektedir [5].

Gaz nitrasyon işleminde çoğunlukla azot kaynağı olarak amonyak kullanılmaktadır. Sıcaklık 500°C-570°C sıcaklık değerlerine çıktığında amonyak kararsız hale geçer ve azot ve hidrojen moleküllerine ayrışır.



Azot atomlarının çelik yüzeyine difüze etmesinin başlaması ile beraber yapıda γ -Fe₄N ve ϵ -Fe₃N fazları oluşur [18]. Hidrojen atomları ise fırın atmosferine salınmış olur. Gaz nitrasyon prosesinin şematik gösterimi Şekil 3.9'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9 : Gaz nitrasyon prosesinin şematik gösterimi [19].

Gaz nitrasyon işlemi temelde üç aşamadan meydana gelmektedir. İlk aşama da ısıtma gerçekleştirilir. Bu adımın amacı, malzeme de oluşabilecek şekilsel değişimler olmadan proses sıcaklığına ulaşmak ve iç gerilmeleri azaltmaktır. İkinci adım ise faz dönüşümünün gerçekleşmeyeceği nitrasyon sıcaklığında proses süresi kadar beklemektir. Ardından yani son olarak malzeme oda sıcaklığında kontrollü olarak soğutulur [19].

Gaz nitrasyon prosesinin en önemli parametreleri nitrasyon atmosferi, sıcaklık ve zamandır. Nitrasyon atmosferi kontrolü için kullanılan amonyak gazının ayrışma hızı kontrol parametresi olarak belirlenmiştir. Bu parametreye nitrasyon parametresi denir ve K_n ile gösterilir. Nitrasyon etkisi K_n değeri ile ölçülebilir ve kontrol edilebilir.

$$K_n = \frac{p_{NH^3}}{p_{H_2}^{3/2}} \quad (3.2)$$

Yukarıda paylaşılmış olan K_n formülünde P_{NH_3} ve P_{H_2} sırasıyla amonyak ve hidrojen gazlarının kısmi basıncını ifade etmektedir [20].

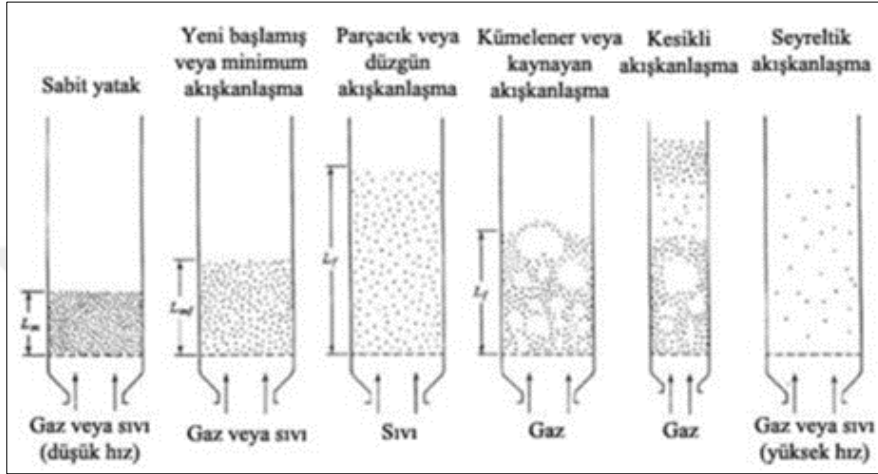
3.1.2 Tuz banyosunda nitrasyon

İşlem erimiş bir tuz banyosunda gerçekleşmektedir. Bu teknik, karbonlu çeliklere, düşük alaşımlı çeliklere, takım çeliklerine, paslanmaz çeliklere ve dökme demirlere uygulanabilir [20]. Gaz nitrasyon tekniğine alternatif bir yöntem olarak karşımıza çıkan tuz banyosunda nitrasyon işlemi tekniği, gaz nitrasyon tekniği ile meydana gelen tabakaya göre daha düzenli ve iyi metalurjik özelliklere sahip bir tabaka elde edilmesine imkan vermektedir. Meydana gelen bu tabakanın derinliği ve kalitesi ise tuz banyosunun kimyasal bileşimine bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Tuz banyosu ile nitrasyon tekniğinde zengince azot kaynağı içeren tuzların ergitilmesinden yararlanılırken, ısıtma kaynağı azotun çelik yüzeyine ulaşması açısından büyük önem arz etmektedir. Dahili veya harici olarak nitelendirebileceğimiz ısıtma kaynağından sağlanan ısı ile tuz eritilerek işlem için gerekli azot açığa çıkması sağlanır ve gaz nitrasyon tekniği ile oldukça benzer reaksiyonlar meydana gelmeye başlar. Tuz banyosu ile nitrasyon yönteminde kullanılan tuz karışımı genellikle %30 NaCN, %39 KCl, %25 Na_2CO_3 veya K_2CO_3 ve %2 nem içerir. Bu teknik, bahsi geçen tüm bu özelliklerinin yanı sıra, düşük çalışma ve bakım maliyetleri, kolay kullanılabilir bir teknik olması ve fazla yer kaplamayan küçük yığın tipi fırınlara ihtiyaç duyması gibi avantajları sebebiyle yaygınlaşan bir yöntem olmuştur [5].

3.1.3 Akışkan yataklı fırında nitrasyon

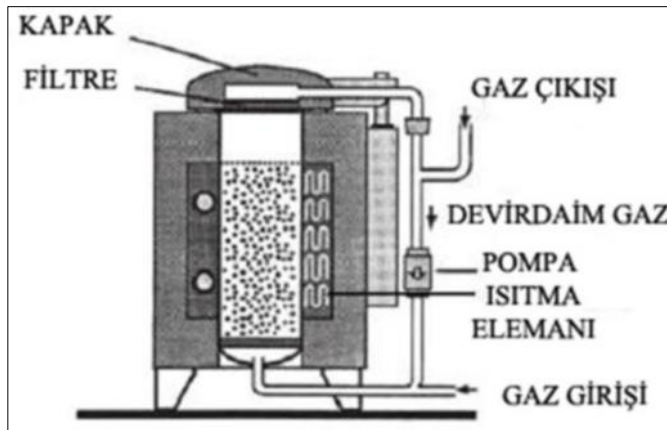
Akışkan yataklı fırın sistemleri de nitrasyon prosesi için kullanılabilen teknikler arasında gösterilebilecek diğer bir tekniktir. Bu teknikte azot gazı kaynağı olarak amonyak gazı kullanılmaktadır. Akışkan yataklı fırın tekniklerinin kullanıldığı nitrasyon işlemlerinde, nitrasyon tekniği gaz nitrasyon işlemine benzerken, ısı transferi ise tuz banyolarında kullanılan metoda benzerlik göstermektedir. Bu sistemlerde akışkan oluşturma tekniği, akışkan yataklı fırın içerisinde sıvı gibi özellik gösterebilen çok ince partiküllerin kaynamasını kapsamaktadır [5]. Bahsi geçen kaynama olayı, sistem içerisinden etkili hacim ve basınca sahip gazın geçirilmesiyle mikroskobik

olarak ince partiküllerin ayrışması ile sağlanır ve partiküller kaynayan sıvı gibi davranırlar. Eğer gaz hacmi veya basıncı çok yüksek değerlerde ise, ince partiküllerin bir kısmı sistemdeki gaz ile beraber taşınacaktır ve fırından dışarıya atılacaktır. Bu sebepten ötürü proseste kullanılan gazın basıncı ve hacmi büyük oldukça fazla önemlidir. Prosesin ilerleyebilmesinde önemli olan durum gazın partiküllerine ayrılabilmesidir. Bahsedilen durumlar Şekil 3.10’da verilmiştir.



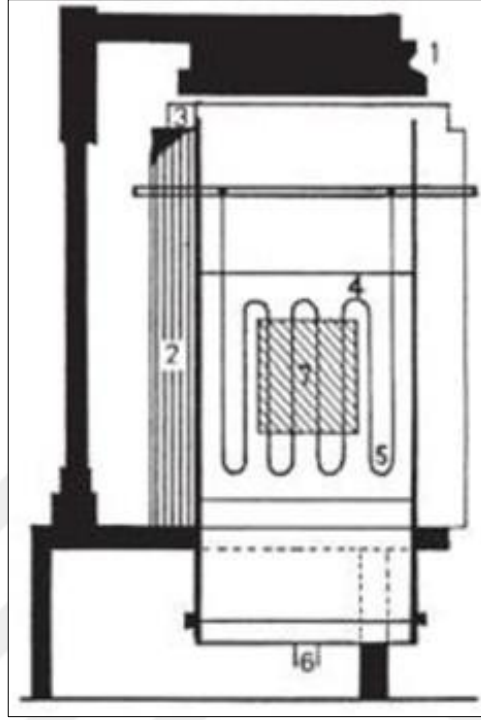
Şekil 3.10 : Akışkan yataklı fırın sisteminde akışkanlanma aşamaları [5].

Akışkan yataklı fırın sistemlerinde ısıtma yöntemleri olarak atmosfer fırınlarına veya tuz banyolarına benzer yöntemler kullanılmaktadır. Isıtma, elektrikli ya da gazlı ve dahili veya harici olarak tanımlayabileceğimiz ısıtma sistemleri ile sağlanabilmektedir. Harici direnç ile ısıtılan sistemlerde, ısıtma Şekil 3.11’de görüldüğü şekilde fırın üzerine monte edilen ısıtma elemanları yardımıyla sağlanır. Metan, endotermik gaz, azot, amonyak ve gaz karışımı, ısıtma sisteminde bulunan alüminyum oksit partiküllerinin kaynaması için kullanılan gaz çeşitleridir [5].



Şekil 3.11 : Harici direnç ile ısıtılan akışkan yatak fırını [5].

Dahili direnç ile ısıtma metodunun kullanıldığı sistemlerde ise ısıtma metodu tuz banyoları ile benzerlik göstermektedir. Şekil 3.12’de gösterildiği gibi, ısıtma elemanının alüminyum oksit partiküllerini içeren bölüme daldırılması söz konusudur ve oldukça iyi ısı transferi sağlayan basit bir yöntemdir [5].



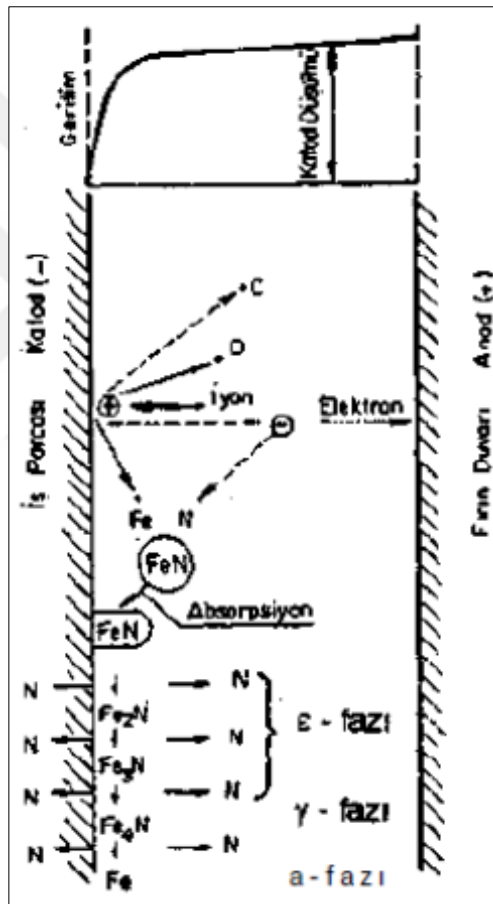
Şekil 3.12 : Dahili direnç ile ısıtılan akışkan yataklı fırın (1) kapak, (2) yalıtım malzemesi, (3) refrakter malzemesi, (4) akışkan yatak, (5) ısıtma elemanı, (6) gaz girişi, (7) işlem görececek numune [5].

Akışkan yataklı fırının sahip olduğu bazı avantajlı durumlar söz konusudur. Bunlardan bazıları aşağıdakiler gibidir;

- Homojen bir ısı transferi sağlamaktadır.
- Homojen bir ısı transferi sağladığı için homojen kalınlıkta bir tabaka oluşturabilmektedir.
- Homojen bir sertlik dağılımı sağlayabilmektedir.
- Tokluk ve darbe direnci gibi özelliklere olumlu yönde katkı sağlamaktadır.
- Kurulum maliyeti , işletme maliyeti , bakım maliyeti gibi kriterler diğer yöntemlere göre çok daha uygundur.
- Kullanımı oldukça basittir.
- Çevreye zarar verebilecek herhangi bir atığı bulunmamaktadır [5].

3.1.4 Plazma nitrasyon

Plazma nitrasyon yöntemi, diğer bir ad olarak iyonize nitrasyon olarak tanımlanabilmektedir. Bu teknikte, iş parçası yüzeyine azotun difüzyonunun gerçekleşebilmesi için aktif ve pasif plazma durumundan yararlanılmaktadır. Vakum ortamda, yüksek voltajlı elektrik enerjisi ile azot plazma durumuna getirilmektedir. Daha sonrasında katot işlevi gören parçaya iyonize olmuş azotun çarpması sağlanır. Gerçekleşen bu durum ile beraber malzeme yüzeyi temizlenmiş olur ve ortaya çıkan azotun iş parçası yüzeyine difüzyonu sağlanmış olur. Şekil 3.13’de plazma nitrasyon mekanizması gösterilmiştir [21].



Şekil 3.13 : Plazma nitrasyon mekanizması [22].

3.1.5 Nitrasyon yöntemlerinin avantajları ve dezavantajları

Nitrasyon yöntemlerinin avantajları ve dezavantajları detaylı olarak Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 : Nitrasyon yöntemlerinin avantajları ve dezavantajları [5].

YÖNTEM	AVANTAJLAR	DEZAVANTAJLAR
GAZ NİTRASYON	1-) Beyaz tabaka kalınlığının ve faz içeriğinin kontrol edilebilmesi 2-) İşlemin tam otomatik olması 3-) Bütün proses değişkenlerinin ve parametrelerinin kontrol edilebilmesi 4-) Sonuçların tekrarlanabilir ve öngörülebilir olması 5-) Operasyonun basit ve kolay olması 6-) İşlem sonrası taşlama gereksinimi olmaması 7-) Düşük sıcaklıkta nitrürleme yapılabilmesi	1-) Paslanmaz çelik nitrasyonu için aktivatöre ihtiyaç duyulması 2-) Uzun işlem süreleri
TUZ BANYOSUNDA NİTRASYON	1-) Hızlı ısıtma 2-) Düşük karbonlu ve alaşımlı çeliklerde iyi yüzey kalitesi 3-) Prosesten sonra parçalara su verebilme imkanı	1-) Proses kontrolü olmaması 2-) Sadece kısa süreli proses yapılabilmesi 3-) İşlemin sadece yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılabilen ve bu sıcaklıklarda çekirdek sertliğini kaybetmeyen çeliklerle sınırlı olması 4-) İşlem sonrası tuz kalıntılarının giderilmesi için yıkama zorunluluğu 5-) Sağlığa zararlı ve imhası zor atıklar 6-) Nitrülenmesi istenmeyen bölgelerin maskelenememesi
AKIŞKAN YATAKLI FIRINDA NİTRASYON	1-) Homojen bir ısı transferi sağlamaktadır. 2-) Homojen bir ısı transferi sağladığı için homojen kalınlıkta bir tabaka oluşturabilmektedir. 3-) Homojen bir sertlik dağılımı sağlayabilmektedir. 4-) Tokluk ve darbe direnci gibi özelliklere olumlu yönde katkı sağlamaktadır. 5-) Kurulum maliyeti , işletme maliyeti , bakım maliyeti gibi kriterler diğer yöntemlere göre çok daha uygundur. 6-) Kullanımı oldukça basittir. 7-) Çevreye zarar verebilecek herhangi bir atığı bulunmamaktadır.	1-) İri kütsel parçaların ısı işlemlerinde yüksek ısıtma hızlarında aşırı termal gerilmeler oluşturmaktadır.
PLAZMA NİTRASYON	1-) Nitrülenmesi istenmeyen bölgelerin maskelenebilmesi 2-) Paslanmaz çeliğin nitrürlenebilmesi 3-) Düşük sıcaklıkta nitrürleme yapılabilmesi	1-) Sıcaklık ölçüm ve kontrolünün zor yapılması 2-) Sıcaklık homojenliğinin zayıf olması 3-) Sürekli prosesin takip ve izlenmesi gerekliliği 4-) Sonuçların parça geometrisine ve parçaların fırında yerleşimine bağlı değişmesi



4. NİTROKARBÜRLEME ISIL İŞLEMİ

Nitrokarbürleme prosesi, malzeme yüzeyine eş zamanlı olacak şekilde azot ve karbon atomlarının yayındırılmasıyla yüzeyde sert bir tabaka oluşturma amacı ile yapılan termokimyasal bir yüzey işlemidir. Bu prosesin uygulandığı malzemelerde aşınma dayanımı, korozyon dayanımı ve yorulma dayanımı olumlu yönde sonuç vermektedir. Sürtünme katsayısı ise azalmaktadır.

Nitrokarbürleme işleminin yapıldığı malzemenin yüzeyi sert ve aşınmaya dayanıklıdır, çekirdek yapısı ise daha tok ve darbe dayanımı yüksektir.

Nitrokarbürleme işlemi, uygulandığı sıcaklık değerlerine göre 2 farklı şekilde sınıflandırılmaktadır. Bunlara;

- 592°C'nin altında yapılan işleme ferritik nitrokarbürleme
- 592°C'nin üstünde yapılan işleme ise östenitik nitrokarbürleme denir [23].

Nitrokarbürleme prosesinde nitrasyon prosesinde oluşan γ' ve ϵ fazları oluşmaktadır. Fakat nitrokarbürleme prosesinde nitrasyon prosesine farklı olarak oluşmuş olan nitrürlerin yapısına karbon atomları da katılır. Bu farklılığın oluşmasında sebep ise şudur. Nitrokarbürleme prosesinde azot ve karbon atomları eş zamanlı olarak malzemeye difüze edilir. Fakat nitrasyon ısıl işleminde ise bir fark vardır. Burada sadece azot atomu malzemeye difüze edilir. Bahsedilen bu sebeplerden dolayı bu prosesleri birbirlerinden ayıran çok ufak bir durum söz konusudur ve birbirlerine proses yapısı itibariyle çok benzerdirler. Nitrokarbürleme işlemi sementasyon yani karbürleme prosesi ile de benzer özellikler göstermektedir. İki prosesin de özellikleri şöyle açıklanabilir;

- Her iki proste de malzeme yüzeyine karbon elementi difüze edilir.
- Nitrokarbürleme prosesinde azot atomlarının oluşturduğu sert nitrür fazları, sementasyon işleminde elde edilen yüzeyde karbonca zengin martenzit fazına göre daha sert olduğu için, uygun alaşım elementleri bulunan çeliklere uygulanan nitrokarbürleme işlemi sonrasında daha yüksek aşınma dayanımı sağlanabilmektedir.

- Isıl işlem sıcaklığı sementasyon prosesinin sıcaklığına göre daha düşük olduğu için ısıl çarpılma ve tane büyüme riski nitrokarbürleme prosesinde daha azdır.

Anlatılan bu ayrıcalıklı özellikleri ile nitrokarbürleme prosesinin tercih edilmesi günden güne daha da fazla artmaktadır [24].

4.1 Nitrokarbürleme Yöntemleri

Nitrokarbürleme yöntemleri gaz, sıvı ve plazma olarak sınıflandırılmaktadır. Bu yöntemlerin hepsinde ortak hedef malzeme yüzeyine azot ve karbon atomunun emdirilmesidir [24].

4.1.1 Gaz nitrokarbürleme

Gaz nitrokarbürleme işlemi, malzeme yüzeyinde korozyon ve aşınma dayanımı yüksek olan ϵ -Fe₂₋₃(N, C) ve γ' -Fe₄(N, C) fazlarını içeren beyaz tabaka yapısının oluşturulması amaçlanan yüzey sertleştirme işlemlerinden biridir. Bu proses sonucunda malzemenin çekirdek yapısında herhangi bir değişiklik görülmemektedir. Fakat malzemenin mekanik özelliklerinde değişiklikler görülebilmektedir. Gaz nitrokarbürleme prosesi ile yüzey yapısında oluşan etkiler şöyledir;

- Aşınma dayanımı yüksek yapı
- Korozyon dayanımı yüksek yapı
- Sertlik dayanımı yüksek yapı.

Malzemenin çekirdek yapısında bir değişim olmadığı için şu etki görülmektedir;

- Yüksek darbe dayanımına sahip yapı [23].

Gaz nitrokarbürleme prosesinde azot ve karbon verici gazlar kullanılır. Bu gazlar NH₃, N₂, H₂, CH₄, C₂H₆, C₃H₈, CO, CO₂ olabilir. Bu gazların hepsinin kullanılması gibi bir durum söz konusu olmamakla beraber, seçilen gazlar proseste kullanılmaktadır. Azot verici olarak en çok tercih edilen gaz türü NH₃ yani amonyak gazıdır. Karbon verici olarak kullanılacak gaz ise tercihe göre değişiklik gösterebilir [23].



NH_3 gazı yukarıdaki kimyasal tepkime sonucunda N_2 ve H_2 gazlarını oluşturur. N_2 gazının atomik N'a parçalanmasıyla azot difüzyonunun gerçekleşebilmesi için gerekli azota ulaşılır.



Yukarıda belirtilen kimyasal tepkime sonucunda da atomik karbona ulaşılır ve karbon difüzyonu başlamış olur. Azot ve karbon difüzyonunun başlaması ile beraber nitrokarbürleme prosesi de başlamış olur. Bu proses uygun ortam, uygun gaz koşulları, uygun sıcaklık vb. durumlar oluşturulduğu sürece devam edebilir [5].

Gaz nitrokarbürleme prosesi için kullanılacak malzeme de düşük oranda C ve Mn elementi görülür ise perlit yapısı daha az görülmektedir. Perlitik mikroyapı az olduğundan dolayı da yüzey ve difüzyon bölgesinde azot atomu daha az miktarda bulunabilmektedir. Çelik kafesinde düşük miktarda C ve Mn elementi olduğu için ve soğuma esnasında azotun çözünürlük oranı düştüğü için azot kafes yapısından kolayca dışarı atılmaktadır. Bu sebepten dolayı da arayer atomu sertleşmesi olmamaktadır.

Gaz nitrokarbürleme prosesi için kullanılacak malzemede yani yapıda görece yüksek C ve Mn elementi görülür ise mikroyapı incelemesinde daha çok perlit yapısı görülmektedir. Perlit yapının varlığı azotun çeliğin çekirdeğine doğru ilerlemesini engeller. Bu sebeple yüzeyde ve difüzyon bölgesinde fazlaca bulunan azot, arayer atomu sertleşmesine sebep olarak yapının sertliğine katkı sağladığı görülmektedir.

Gaz nitrokarbürleme prosesi için kullanılacak malzeme alaşımlı çelik olur ise proseste yüzeyden daha iç kısımlara doğru yani difüzyon bölgesine doğru gidildiğinde ise nitrür çökeltileri oluşmaktadır. Bu nitrürlere örnek olarak Cr_2N , AlN , TiN , MoN ve VN gösterilebilmektedir. Yani Cr, Al, Ti, Mo ve V gibi elementler azot ile nitrür çökeltileri oluşturur. Oluşan bu nitrür çökeltileri de yapının sertliğini arttırmaktadır.

Gaz nitrokarbürleme prosesinde ortamda bulunan gazların çoğunluğunu azot verici gazların oluşturduğu söylenebilir. Azot verici gaz seviyesi yaklaşık %95 seviyesinde olurken, karbon verici gaz seviyesi yaklaşık olarak %5'dir. Karbon verici gazlar ortalama olarak verileden değerlerinden daha fazla şekilde ortamda bulunursa sementit gazı oluşturarak yapıyı gevrek hale getirir. Bahsedilmiş olan bu durumdan dolayı karbon gazlarının debisi sistemde çok dikkatlice ayarlanmalıdır. Genel olarak nitrokarbürleme prosesinin karbon difüzyonundaki amaç, sementit oluşturmada, dekarbürizasyona engel olmak ve yüzeyde bulunabilecek karbon oranını bir miktar da arttırmaktır [5].

570°C-580°C sıcaklıklar arasında yapılan gaz nitrokarbürleme prosesine ferritik nitrokarbürleme denmektedir. Eğer proste bu sıcaklık değerlerinin altına inilirse azot atomlarının difüzyon hızı düşeceği için proses süreleri uzayacaktır. Daha yüksek proses sıcaklıkları seçildiğinde ise östenitik nitrokarbürleme işlemi oluşmaktadır. Bu iki prosesin ısı genleşme katsayıları birbirlerinden farklıdır. Bahsedilen bu durumdan dolayı eğer östenitik nitrokarbürleme yapılacak ise faz dönüşümü gerçekleşirken, beyaz tabakanın dökülmesi ve ısı çarpılma gibi problemler karşımıza çıkacaktır. Proses özellikleri ve sahip oldukları riskler değerlendirildiğinde ferritik nitrokarbürleme endüstride daha çok tercih edilmektedir. Çünkü ferritik nitrokarbürleme ile sahip olunan risk miktarı azaltılmaktadır. [24,25].

4.1.2 Sıvı nitrokarbürleme

Sıvı nitrokarbürleme tuz banyosunda nitrokarbürleme olarak tanımlanmaktadır. Bu yöntem de gene azot ve karbon verici ortam vardır ama bu sefer ortam tuz banyosudur. Patentli olarak söyleyebileceğimiz tuz banyolarında %60-61 oranında NaCN (sodyum siyanür), %15-15.5 oranında K₂CO₃ (potasyum karbonat), %23-24 oranında KCl (potasyum klorür), %2.5 oranında Na₂CO₃ (sodyum karbonat), %0.5 oranında da NaNCO (sodyum siyanat) bulunmaktadır. Belirtilen bu değerler sabit değerler olmamakla beraber değişkenlik gösterebilmektedir. Hatta bazı tuz banyolarına Na₂S (sodyum sülfür)'te eklenebilmektedir. İlave edilen bu sodyum sülfür iyi bir yağlayıcı olmasının yanında azot difüzyonunu artırır ve aşınma dayanımına da olumlu etki yapar. Tuz banyosunun avantajlı durumları olduğu gibi dezavantajlı noktaları da vardır. Avantajlı noktalarına ısı işlem süresinin kısa olması ve ilk yatırım maliyetinin diğer proseslere kıyasla düşük olması söylenebilir. En önemli özelliği olup ayrıca

dezavantajlı olan özelliği ise barındırdığı bileşiklerden dolayı çevreye oldukça zehirli, zararlı siyanürlü atıklar salmasıdır [23].

4.1.3 Plazma nitrokarbürleme

Plazma nitrokarbürleme işlemi de azot ve karbon verici gazların bulunduğu ortamda yapılmaktadır. Azot verici gazlara NH_3 , N_2 ve H_2 örnek gösterilebilir. Karbon verici gazlara ise CH_4 , C_2H_6 , C_3H_8 , CO ve CO_2 gibi örnekler gösterilebilir. Plazma nitrokarbürleme işlemi 450°C ve 590°C sıcaklıkları arasında yapıldığında ferritik plazma nitrokarbürleme olarak tanımlanmaktadır. 590°C ve 723°C sıcaklıkları arasında yapıldığında ise östenitik plazma nitrokarbürleme olarak tanımlanmaktadır. Nitrokarbürleme prosesinde genel olarak söylendiği gibi plazma nitrokarbürleme prosesinde de ortamın azot ve karbon gazı debisi oldukça önemlidir. Ortamın karbon gazı ile alakalı debisi ve basıncı arttırılır ise beyaz tabaka olarak tanımlanmış olduğumuz tabaka da sementit fazı oluşumu başlar. $\epsilon\text{-Fe}_{2-3}(\text{N}, \text{C})$ ve $\gamma'\text{-Fe}_4(\text{N}, \text{C})$ fazlarını içeren beyaz tabaka yapısında oluşan sementit fazları bu tabakanın gevreklik davranışını arttıracaktır. Nitrokarbürleme de anlatıldığı gibi bu proseste de sementit fazı oluşumu istenmemektedir. Bu prosesin de karbon difüzyonu yapılmasındaki temel amacı yüksek sıcaklıklarda dekarbürizasyon riskini ortadan kaldırmaktır.

Gaz nitrokarbürleme ve plazma nitrokarbürleme prosesleri birbirlerine oldukça benzer proseslerdir. Gaz nitrokarbürleme prosesinde de azot ve karbon emdirilmesi gerçekleştirilir, plazma nitrokarbürleme prosesinde de azot ve karbon emdirilmesi gerçekleştirilir. Fark olarak gaz nitrokarbürleme prosesinde bu işlem için ısı enerjisi kullanılır, plazma nitrokarbürleme prosesinde ise bu işlem için elektrik enerjisi kullanılır. Bu fark haricinde her iki proses arasında büyük farklar bulunmamaktadır.

Plazma nitrokarbürleme prosesi ikiye ayrılmaktadır. Bunlar ferritik ve östenitik plazma nitrokarbürleme prosesleridir. Her iki proseste endüstride farklı kalitede olan çeliklerin sertlik ve aşınma dayanımlarını arttırmak için tercih edilebilmektedir. Yüksek oranda ölçüsel hassasiyet istenen malzemelerde ferritik plazma nitrokarbürleme daha çok tercih edilirken, sade karbonlu olarak tanımladığımız yeteri kadar karbonu olmayan çeliklerde ise sertleştirme yapabilmek amacı ile östenitik plazma nitrokarbürleme tercih edilmektedir. Östenitik plazma nitrokarbürleme ile daha sert ve aşınma dayanımı daha yüksek yüzey elde edilebilir fakat bunun da tabi ki olumsuz bir yanı olmaktadır. Östenitik plazma nitrokarbürleme yukarıda anlatıldığı

gibi yüksek sıcaklıklarda gerçekleştiği için faz dönüşümleri olmaktadır. Bu sebeple de ısıl gerginlikler , beyaz tabaka da çatlama veya kırılma gibi problemler ile karşı karşıya kalınmaktadır [23].

Çizelge 4.1 : Nitrokarbürleme yöntemlerinin avantajları ve dezavantajları [23].

YÖNTEM	AVANTAJLAR	DEZAVANTAJLAR
GAZ NİTROKARBÜRLEME	1-) Aşınma dayanımı, korozyon dayanımı, sertlik dayanımı ve yüksek darbe dayanımına sahip yapılar elde edilir.	1-) Östenitik nitrokarbürleme tercih edilecek ise faz dönüşümü gerçekleşirken, beyaz tabakanın dökülmesi ve ısıl çarpılma gibi problemler ile karşı karşıya kalınmaktadır.
SIVI NİTROKARBÜRLEME	1-) Isıl işlem süresinin kısa olması. 2-) İlk yatırım maliyetinin diğer proseslere göre düşük olması.	1-) Sağlığa zararlı ve imhası zor atıklar
PLAZMA NİTROKARBÜRLEME	1-) Sertlik ve aşınma dayanımını artırır.	1-) Östenitik plazma nitrokarbürleme tercih edilecek ise faz dönüşümü gerçekleşirken, ısıl gerginlikler, beyaz tabakada çatlama veya kırılma gibi problemlerle karşı karşıya kalınmaktadır.

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1 Kullanılan Malzemeler ve Cihazlar

Bu çalışmada ticaretinde St37 ve St52 simgeleri kullanılan P235 ve P355 (TS EN 10216) ve EN 42CrMo4 ve 16MnCr5 kalitelerindeki dikişsiz borular kullanılmıştır. Kullanılan bu borular dikişsiz boru olmalarının yanında soğuk çekilmişlerdir. Yani diğer bir deyişle soğuk haddelenmiş borulardır. BK kriterinde seçilen bu boruların temel özellikleri otomotiv ve otomotiv yan sanayilerinde kullanım alanlarına göre kullanılabilirlerdir. Kullanılan numunelerin dış çap ölçüleri $27 \pm 0.08\text{mm}$, iç çap ölçüleri ise $23.80 + 0.12\text{mm}$ 'dir ve numuneler aynı tolerans aralıklarına sahiptir.

Deneylerde kullanılan P235, P355, 42CrMo4 ve 16MnCr5 kalite boruların kimyasal bileşimi Çizelge 5.1'de verilmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan cihazlarda Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.1 : Kullanılan numunelerin kimyasal bileşimleri.

Elementler	P235	P355	16MnCr5	42CrMo4
C	%0.115	%0.202	%0.171	%0.411
Si	%0.211	%0.181	%0.205	%0.19
Mn	%0.794	%1.38	%1.07	%0.765
P	%0.0038	%0.0037	%0.0151	%0.0150
S	<%0.0011	%0.0019	%0.012	%0.013
Cr	%0.005	%0.084	%0.891	%0.952
Mo	<%0.004	%0.018	%0.025	%0.181
Ni	%0.054	%0.045	%0.018	%0.085
Al	%0.029	%0.032	%0.041	%0.015
Cu	%0.0084	%0.0491	%0.0112	%0.020

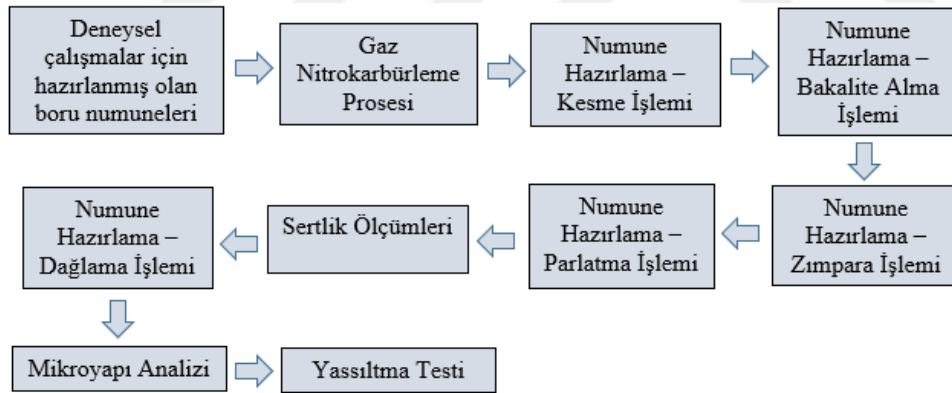
Bu çalışma kapsamında kullanılan cihazlar ise Çizelge 5.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.2 : Deneysel çalışmalar için kullanılan cihazlar.

Kullanım Prosesi	Cihaz Markası ve Modeli
Isıl İşlem	IPSEN Isıl İşlem Fırını
Numune Hazırlama – Kesme İşlemi	Struers marka Discotom-6 modeli
Numune Hazırlama – Bakalite Alma	Struers marka CitoPress-1
Numune Hazırlama – Zımpara İşlemi	Metkon marka GRIPO 2V
Numune Hazırlama – Parlatma İşlemi	Struers marka Tegramin-25
Sertlik Ölçümü	Shimadzu marka HVM-2 modeli
Mikroyapı Analizi	Nikon Eclipse LV150N
Yassıltma Testi	Hidroliksan marka 60 Ton’luk Pres

5.2 Deneylerin Yapılması

Deneysel çalışmalar Şekil 5.1’de verilen akış diyagramı doğrultusunda yapılmıştır.



Şekil 5.1 : Deneysel çalışmalara ait akış diyagramı.

5.2.1 Nitrokarbürleme işlemi

Malzemelere Şekil 5.2’de gösterilen nitrasyon fırınında gaz nitrokarbürleme prosesi uygulanmıştır. Numuneler için yapılan bütün prosesler Önerler Isıl İşlem firmasında yapılmıştır. Malzemelere 3 farklı nitrokarbürleme prosesi uygulanmıştır.

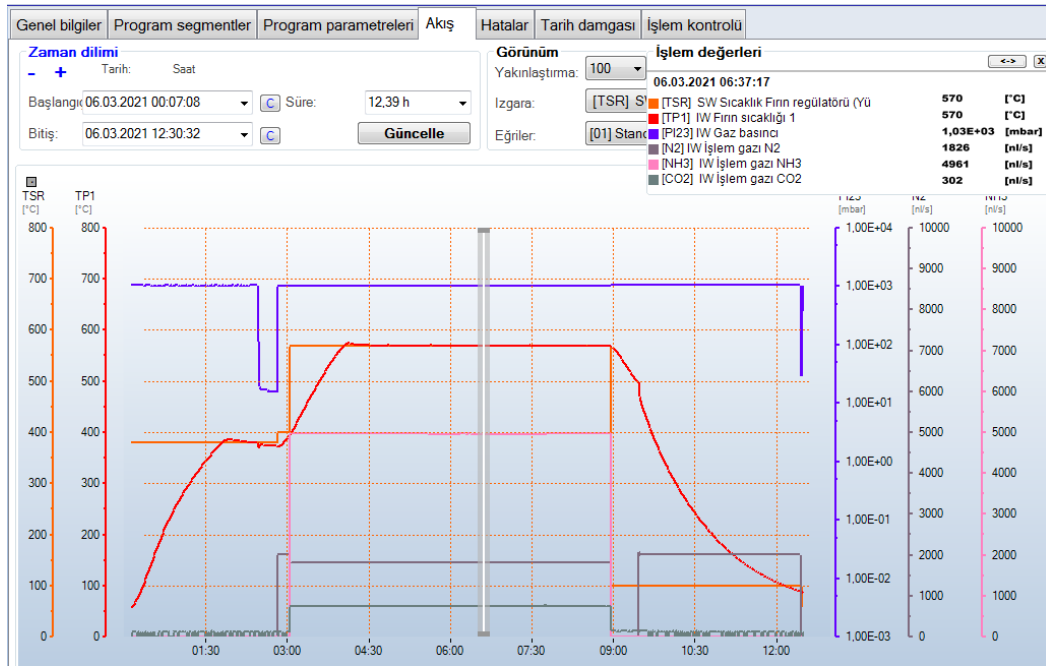
- İlk nitrokarbürleme prosesinde fırın öncelikle 380°C sıcaklığa ısıtılmıştır. Bu sıcaklıkta 3 m³/saat hava debisi ile 45 dakika tutularak ön oksidasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Ardından 570°C sıcaklığa ısıtılarak 5 saat nitrokarbürleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Nitrokarbürleme prosesi için seçilen gaz karışımı;

5 m³ NH₃ (% 70.4), 1,8 m³ N₂ (%25.3) ve 0,3 m³ CO₂ (%4.2) şeklindedir. Parçalar, nitrokarbürleme işleminden sonra aynı fırında 100 °C sıcaklığa kadar 2 m³ /saat debi ile azot yardımıyla soğutulmuştur.

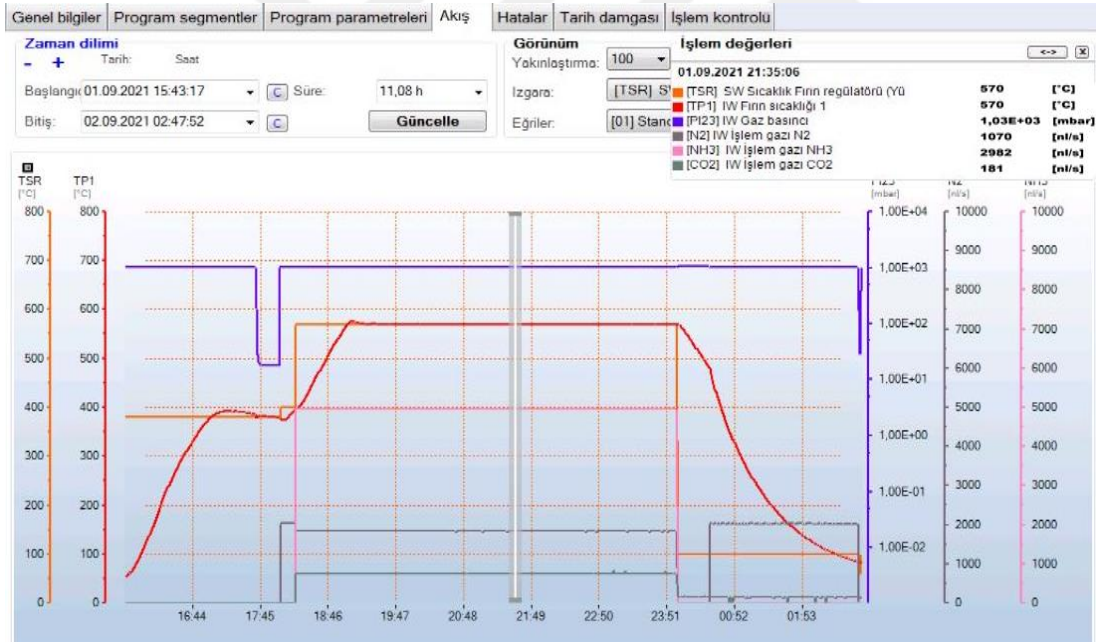
- İkinci nitrokarbürleme prosesinde fırın öncelikle 380°C sıcaklığa ısıtılmıştır. Bu sıcaklıkta 3 m³/saat hava debisi ile 45 dakika tutularak ön oksidasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Ardından 570°C sıcaklığa ısıtılarak 5 saat nitrokarbürleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Nitrokarbürleme prosesi için seçilen gaz karışımı; 3 m³ NH₃ (% 70.4), 1,08 m³ N₂ (%25.3) ve 0,18 m³ CO₂ (%4.2) şeklindedir. Parçalar, nitrokarbürleme işleminden sonra aynı fırında 100 °C sıcaklığa kadar 2 m³ /saat debi ile azot yardımıyla soğutulmuştur.
- Üçüncü nitrokarbürleme prosesinde fırın öncelikle 380°C sıcaklığa ısıtılmıştır. Bu sıcaklıkta 3 m³/saat hava debisi ile 45 dakika tutularak ön oksidasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Ardından 570°C sıcaklığa ısıtılarak 3 saat nitrokarbürleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Nitrokarbürleme prosesi için seçilen gaz karışımı; 3 m³ NH₃ (% 70.4), 1,08 m³ N₂ (%25.3) ve 0,18 m³ CO₂ (%4.2) şeklindedir. Parçalar, nitrokarbürleme işleminden sonra aynı fırında 100 °C sıcaklığa kadar 2 m³ /saat debi ile azot yardımıyla soğutulmuştur. Şekil 5.3, 5.4 ve 5.5’de çalışmalara ait proses grafikleri verilmiştir.



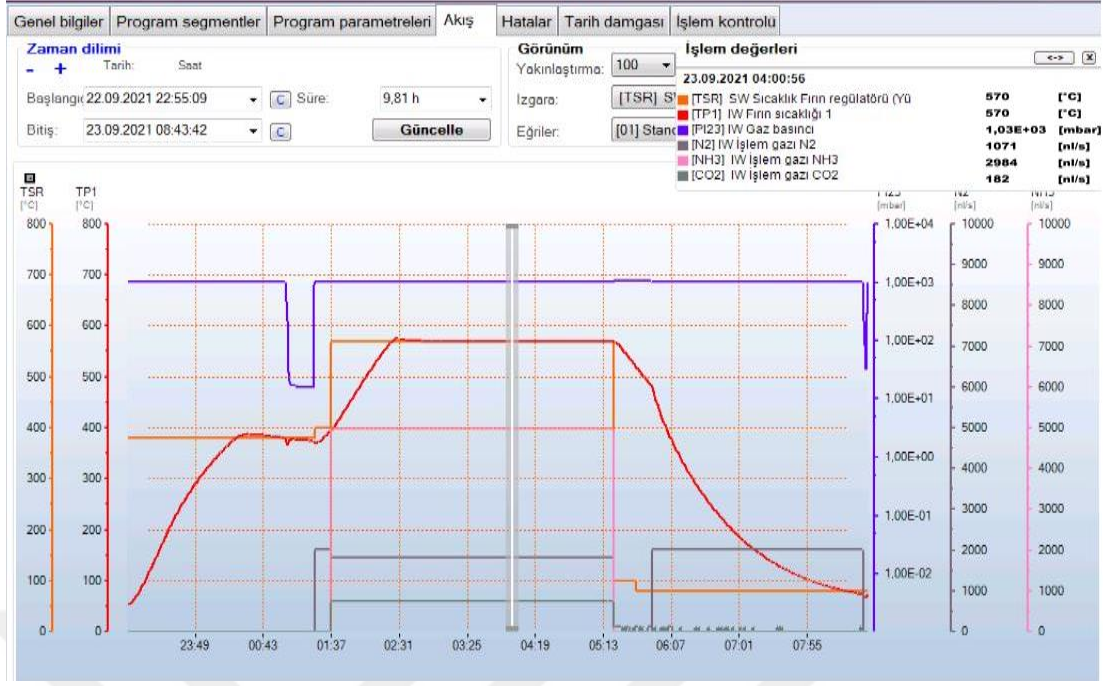
Şekil 5.2 : Çalışmada kullanılan nitrasyon fırının genel görüntüsü.



Şekil 5.3 : 5 saat süre ve 5 m³/saat NH₃ debisine sahip nitrokarbürleme işlemine ait prosesin grafiği.



Şekil 5.4 : 5 saat süre ve 3 m³/saat NH₃ debisine sahip nitrokarbürleme işlemine ait prosesin grafiği.



Şekil 5.5 : 3 saat süre ve 3 m³/saat NH₃ debisine sahip nitrokarbürleme işlemine ait prosesin grafiği.

Nitrokarbürleme işlemine girmeden önce ve bu işlemden çıktıktan sonra parçaların görünümü Şekil 5.6’da gösterilmiştir.



Şekil 5.6 : Nitrokarbürleme öncesi ve sonrası numune fotoğrafı.

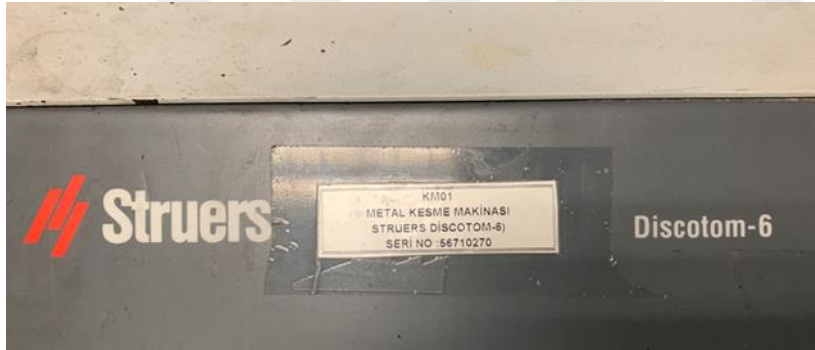
5.2.2 Numune hazırlama – kesme işlemi

Nitrokarbürleme prosesine tabi tutulan numune boruların sertlik ölçümleri, mikroyapı analizleri gibi işlemlerinin yapılabilmesi için numune hazırlama metodları uygulanmıştır. Numune hazırlama metodlarının birincisi kesme makinasında parçanın kesilmesidir ve daha sonrasında parçayı bakalite alma operasyonuna hazırlamaktır. Numune hazırlama metodlarının hepsi Önerler Isıl İşlem firmasında yapılmıştır. Numune dikişsiz çelik boruların et kalınlığı ince olduğu için kesme işlemi anında

yüzeyden ya da köşelerden uzak bir yerden kesme işlemine başlanmıştır. Makina da kesme işlemi otomatik olarak yapılmıştır. Makina hızı 3000 devir olup ilerleme hızı da 0.2mm/s'dir. Kesme işleminde SiC kesici disk kullanılmıştır. Şekil 5.7 ve Şekil 5.8'de kesme makinasına ait fotoğraflar gösterilmiştir.



Şekil 5.7 : Struers marka Discotom-6 modeli kesme makinası genel görünümü.



Şekil 5.8 : Struers marka Discotom-6 modeli kesme makinası detay bilgileri.

5.2.3 Numune hazırlama – bakalite alma işlemi

Kesme işlemi tamamlanmış parçalar bir sonraki işlem olan sıcak bakalit alma işlemine tabi tutulmuştur. Bu işlem 180°C'de gerçekleştirilmiştir. 4 dakika ısıtma 3 dakika da soğutma uygulanmıştır. İşlem Struers marka CitoPress-1 modeli bakalit makinasında sıcak bakalit tozu ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.9'da Struers marka CitoPress-1 modeli bakalit makinasının genel görünümü, Şekil 5.10'da Struers marka CitoPress-1 modeli bakalit makinasının detay bilgileri, Şekil 5.11'de ise kullanılan sıcak bakalit tozu bilgileri, Şekil 5.12'de ise bakalit makinasından numunelerimiz için çıkan bakalitten örnek bir fotoğraf gösterilmiştir.



Şekil 5.9 : Struers marka CitoPress-1 modeli bakalit makinasının genel görünümü.



Şekil 5.10 : Struers marka CitoPress-1 modeli bakalit makinasının detay bilgileri.



Şekil 5.11 : Sıcak bakalit işlemi için kullanılan sıcak bakalit tozu.



Şekil 5.12 : Numunelerimizden örnek bir bakalit fotoğrafı.

5.2.4 Numune hazırlama – zımpara işlemi

Bakalit işlemi biten numuneler sırasıyla 100, 240, 400, 800 ve 1200 mesh zımparalar ile pürüzsüz, çiziksiz bir yüzey elde edilecek şekilde zımparalanmıştır. Şekil 5.13’de Metkon marka GRIPO 2V modeli zımpara ve parlatma makinasının genel görünümü gösterilmiştir.



Şekil 5.13 : Metkon marka GRIPO 2V modeli zımpara ve parlatma makinasının genel görünümü.

5.2.5 Numune hazırlama – parlatma işlemi

Zımpara işlemi tamamlanan numunelere önce 3 mikronluk elmas pasta ile 5 dk parlatma işlemi uygulanmıştır. Daha sonrasında yüzey temizlendi ve temizleme yapıldıktan sonra da 1 mikronluk elmas pasta ile tekrardan 5 dk parlatma işlemi uygulanmıştır ve yüzey çok düzgün bir hal almıştır. Şekil 5.14’de Struers marka Tegramin-25 modeli zımpara parlatma makinasının genel görünümü, Şekil 5.15’de Struers marka Tegramin-25 modeli zımpara parlatma makinasının detay bilgileri gösterilmiştir. Sertlik ölçümleri için parlatma işlemi de tamamlanmış numuneler kullanılmıştır. Sertlik ölçümleri bittikten sonra da numuneler dağlama işlemine tabi tutulmuştur ve daha sonrasında mikroyapı analizi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.14 : Struers marka Tegramin-25 modeli zımpara parlatma makinasının genel görünümü.



Şekil 5.15 : Struers marka Tegramin-25 modeli zımpara parlatma makinasının detay bilgileri.

5.2.6 Sertlik ölçümleri

Sertlik ölçümleri için Shimadzu-HMV-2 marka mikro sertlik ölçüm cihazı kullanılmıştır. Numunelerin yüzey sertlik ölçümleri $HV_{0.05}$ yani 50 gram yük altında, 7 saniye bekleme süresinde Vickers uç batırılarak ölçülmüştür. Her bir numuneden en az 3 veri alınmış olup bulunan değerlerin aritmetik ortalamaları rapor edilmiştir. Ayrıca, numunelerin yüzey kısımlarından iç kısımlarına doğru sertlik değişimleri de $HV_{0.05}$ yani 50 gram ile ölçüm alınan noktaların arası 0.05 mm olacak şekilde ölçülmüş olup raporlanmıştır.

Çekirdek sertlikleri ise HV_1 yani 1 kg yük altında ölçülmüştür. Şekil 5.16’da Shimadzu marka HMV-2 modeli mikro sertlik ölçüm cihazı genel görünümü gösterilmiştir.



Şekil 5.16 : Shimadzu marka HMV-2 modeli mikro sertlik ölçüm cihazı genel görünümü.

5.2.7 Numune hazırlama – dağlama işlemi

Sertlik ölçümleri tamamlanmış numunelerin daha sonrasında mikroyapı analizlerinin yapılabilmesi için dağlama işlemine tabi tutulması gerekmektedir. Dağlama işlemi

%3'lük Nital dağlayıcısı ile 5-8 sn arasında olacak şekilde numunelere uygulanmıştır. Daha sonrasında herhangi bir tepkime gerçekleşmemesi adına yzey su ile yıkanmış yani temizlenmiştir. Yzey temizlendikten sonra da yzeye alkol sıkılmıştır ve daha sonrasında yzeye kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bzylece dağlama işlemi tamamlanmıştır.

5.2.8 Mikroyapı analizi

Dağlama işlemi tamamlanmış olup hazırlanmış olan numunelerin şekil 5.17'de g rzzen Nikon Eclipse LV150N marka optik mikroskopunda mikroyapı analizleri yapılmıştır.



şekil 5.17 : Nikon Eclipse LV150N marka optik mikroskop.

5.2.9 Yassılma testi

Numunelerin hazırlanma, sertlik olz zmleri ve mikroyapı analizleri bittikten sonra parçaların kırılıp kırılmadığı test edilmiştir. Parçalar için yapılan yassılma testleri İmkosan M zhendislik firmasında yapılmıştır. Parçaların yassılma testi 60 ton'luk preste ve TS EN ISO 8492 standardına uygun şekilde yapılmıştır. Standarda uygun olarak yapılan bu testte, parçalar plakalar arası mesafe 12mm olana kadar yassılılmış ve parçaların çatlayıp atlamadığı g z zlemlenmiştir. şekil 5.18'de yassılma testi için kullanılan pres ve şekil 5.19'da yassılma test d z zneği ile alakalı fotoğraflara yer verilmiştir.



Şekil 5.18 : Yassılma testi için kullanılan pres.



Şekil 5.19 : Yassılma test düzeneği.



6. DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELERİ

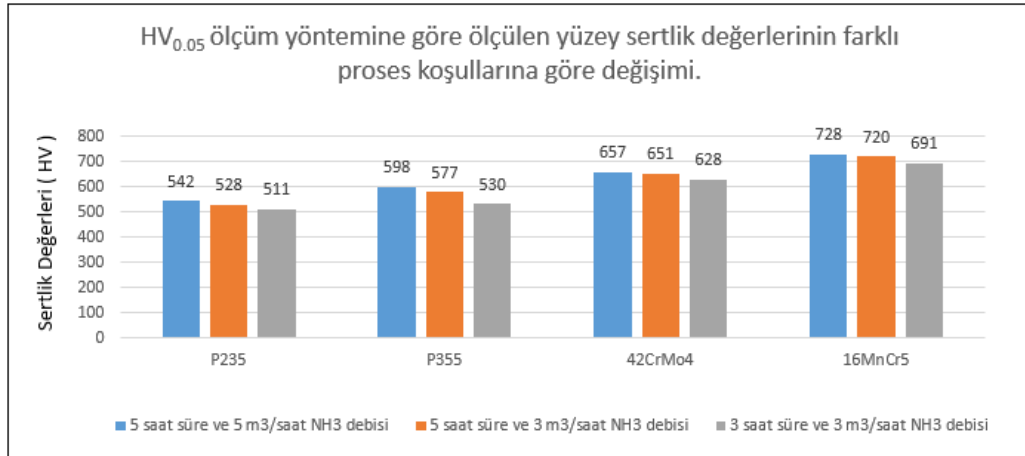
Deneysel çalışmalarla elde edilen sonuçlar aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.

6.1 Sertlik Ölçümü Sonuçları

Farklı koşullar altında nitrokarbürleme prosesi yapılmış farklı kalitedeki dikişsiz çelik boru numunelerinin 50 gram yük altında $HV_{0.05}$ ölçüm yöntemine göre yüzey sertlik değerleri ölçülmüştür. Çizelge 6.1 ve Şekil 6.1’de yüzey sertlik değerlerinin farklı kalitelere ve farklı proses koşullarına göre değişimi gösterilmiştir.

Çizelge 6.1 : $HV_{0.05}$ ölçüm yöntemine göre ölçülen yüzey sertlik değerlerinin farklı proses koşullarına göre değişimi.

Numuneler	5 saat süre ve 5 m ³ /saat NH ₃ debisi	5 saat süre ve 3 m ³ /saat NH ₃ debisi	3 saat süre ve 3 m ³ /saat NH ₃ debisi
P235	542 HV	528 HV	511 HV
P355	598 HV	577 HV	530 HV
42CrMo4	657 HV	651 HV	628 HV
16 MnCr5	728 HV	720 HV	691 HV



Şekil 6.1 : $HV_{0.05}$ ölçüm yöntemine göre ölçülen yüzey sertlik değerlerinin farklı proses koşullarına göre değişimi.

Farklı koşullar altında nitrokarbürleme prosesi yapılmış dikişsiz çelik boru numunelerinin yüzey kısımlarından iç kısımlarına doğru sertlik tarama değerlerinin farklı kalitelere göre değişimi Çizelge 6.2, 6.3 ve 6.4’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.2 : 5 saat süre ve 5 m³/saat NH₃ debisine sahip prosesin HV_{0.05} ölçüm yöntemine göre sertlik taraması ve HV₁ ölçüm yöntemine göre çekirdek sertliği sonuçları.

Numuneler	Mesafe 0.05mm	Mesafe 0.10mm	Mesafe 0.15mm	Mesafe 0.20mm	Mesafe 0.25mm	Mesafe 0.30mm	Mesafe 0.35mm	Mesafe 0.40mm	Çekirdek Sertliği
P235	173 HV	162 HV	156 HV	148 HV	147 HV	145 HV	-	-	134 HV
P355	482 HV	440 HV	387 HV	340 HV	304 HV	271 HV	226 HV	-	178 HV
42CrMo4	571 HV	523 HV	423 HV	391 HV	341 HV	272 HV	231 HV	-	202 HV
16MnCr5	589 HV	577 HV	512 HV	461 HV	367 HV	292 HV	241 HV	215 HV	185 HV

Çizelge 6.3 : 5 saat süre ve 3 m³/saat NH₃ debisine sahip prosesin HV_{0.05} ölçüm yöntemine göre sertlik taraması ve HV₁ ölçüm yöntemine göre çekirdek sertliği sonuçları.

Numuneler	Mesafe 0.05mm	Mesafe 0.10mm	Mesafe 0.15mm	Mesafe 0.20mm	Mesafe 0.25mm	Mesafe 0.30mm	Mesafe 0.35mm	Mesafe 0.40mm	Çekirdek Sertliği
P235	165 HV	160 HV	155 HV	151 HV	143 HV	142 HV	-	-	131 HV
P355	425 HV	401 HV	381 HV	337 HV	285 HV	258 HV	210 HV	-	180 HV
42CrMo4	576 HV	518 HV	428 HV	395 HV	320 HV	264 HV	224 HV	-	200 HV
16MnCr5	594 HV	582 HV	507 HV	430 HV	317 HV	257 HV	229 HV	-	186 HV

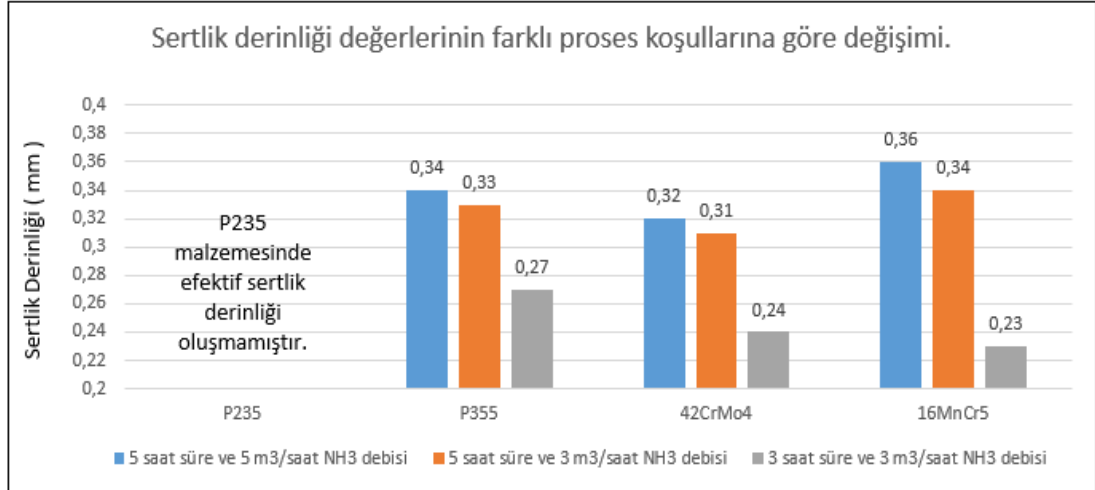
Çizelge 6.4 : 3 saat süre ve 3 m³/saat NH₃ debisine sahip prosesin HV_{0.05} ölçüm yöntemine göre sertlik taraması ve HV₁ ölçüm yöntemine göre çekirdek sertliği sonuçları.

Numuneler	Mesafe 0.05mm	Mesafe 0.10mm	Mesafe 0.15mm	Mesafe 0.20mm	Mesafe 0.25mm	Mesafe 0.30mm	Mesafe 0.35mm	Mesafe 0.40mm	Çekirdek Sertliği
P235	162 HV	160 HV	154 HV	150 HV	149 HV	141 HV	-	-	139 HV
P355	384 HV	359 HV	302 HV	271 HV	229 HV	212 HV	-	-	172 HV
42CrMo4	523 HV	495 HV	393 HV	305 HV	245 HV	-	-	-	201 HV
16MnCr5	582 HV	543 HV	429 HV	279 HV	203 HV	-	-	-	183 HV

Farklı koşullar altında nitrokarbürleme prosesi yapılmış farklı kalitedeki dikişsiz çelik boru numunelerinin sertlik derinliği değerleri ölçülmüştür. Çizelge 6.5’de sertlik derinliği değerlerinin farklı proses koşullarına göre değişimi gösterilmiştir.

Çizelge 6.5 : Sertlik derinliği değerlerinin farklı proses koşullarına göre değişimi.

Numuneler	5 saat süre ve 5 m ³ /saat NH ₃ debisi	5 saat süre ve 3 m ³ /saat NH ₃ debisi	3 saat süre ve 3 m ³ /saat NH ₃ debisi
P235	Efektif sertlik derinliği oluşmamıştır.	Efektif sertlik derinliği oluşmamıştır.	Efektif sertlik derinliği oluşmamıştır.
P355	~0.34mm	~0.33mm	~0.27mm
42CrMo4	~0.32mm	~0.31mm	~0.24mm
16MnCr5	~0.36mm	~0.34mm	~0.23mm

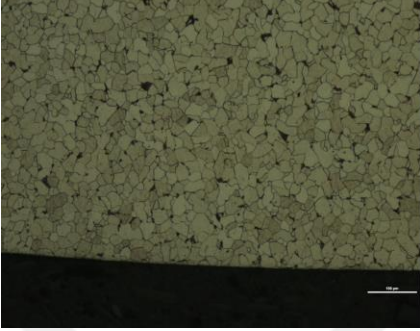
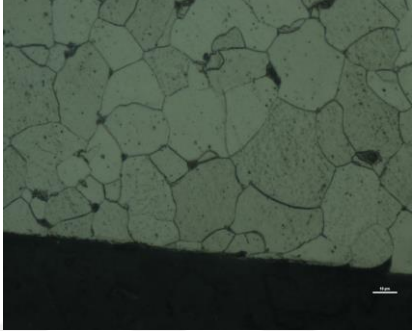
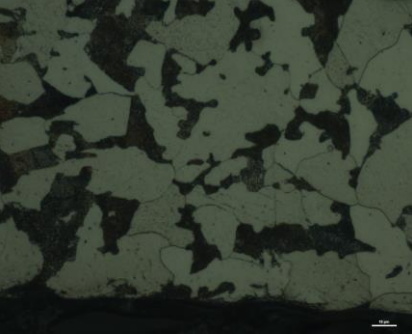
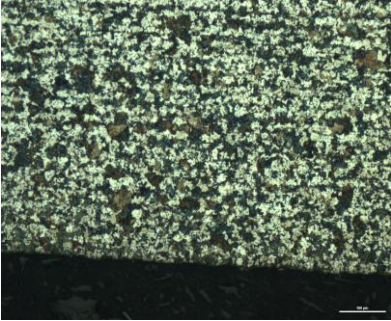
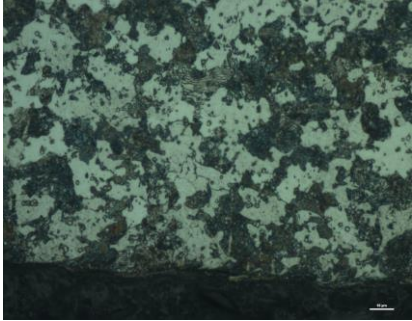
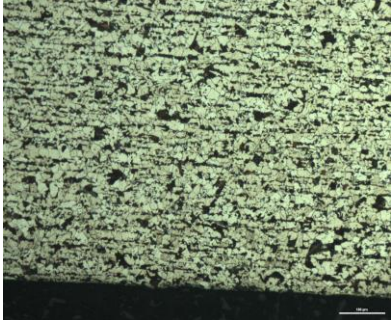


şekil 6.2 : Sertlik derinliği değerlerinin farklı proses koşullarına göre değişimi.

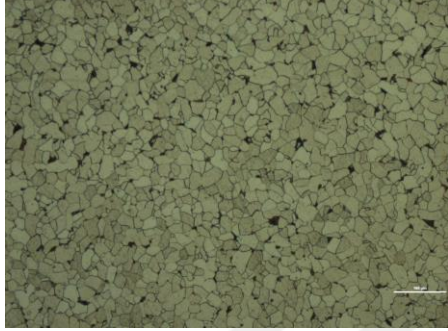
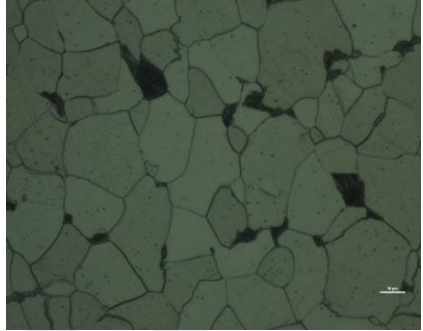
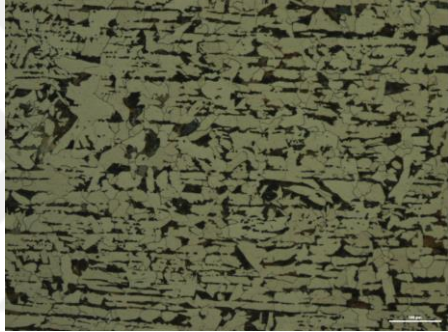
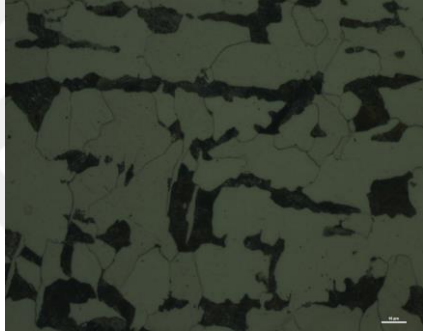
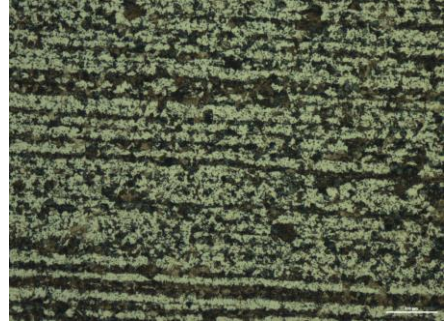
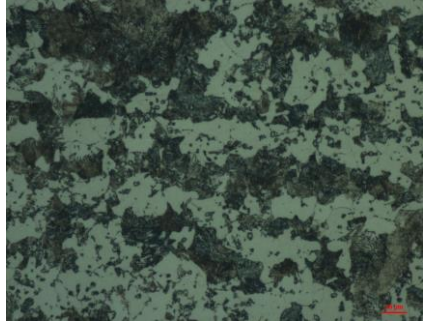
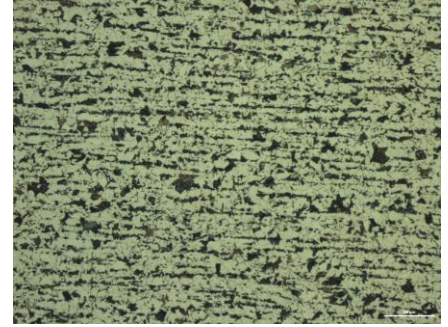
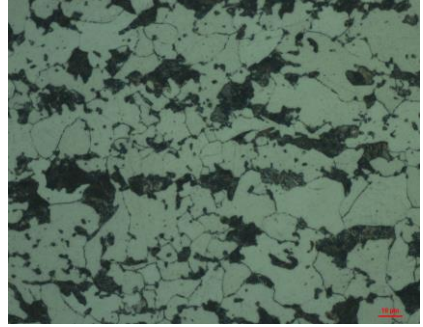
6.2 Mikroyapı Analizi ve Sonuçları

Farklı koşullar altında nitrokarbürleme prosesi yapılmış farklı kalitedeki dikişsiz çelik boru numunelerinin, dağlama işlemi sonrasında mikroyapıları optik mikroskopta incelenmiştir. Numunelerin ham halleri için çekirdek ve yüzey mikroyapı analizleri 100X ve 500X büyütmede yapılmıştır. Isıl işlemlili halleri için ise çekirdek ve yüzey/beyaz tabaka mikroyapı analizleri 500X büyütmede yapılmıştır. Optik mikroskop görüntüleri P235, P355, 42CrMo4 ve 16MnCr5 sırasıyla verilmiştir. Çizelge 6.6'da farklı kalitedeki boru numunelerinin ham hallerinin 100X ve 500X büyütmedeki yüzey mikroyapı görüntüleri gösterilmiştir. Çizelge 6.7'de farklı kalitedeki boru numunelerinin ham hallerinin 100X ve 500X büyütmedeki çekirdek mikroyapı görüntüleri gösterilmiştir. Çizelge 6.8'de farklı kalitedeki boru numunelerinin 5 saat nitrokarbürleme ve 5 m³/saat NH₃ debisine sahip prosese ait yüzey/beyaz tabaka ve çekirdek mikroyapılarının 500X büyütmedeki mikroyapı görüntüleri gösterilmiştir. Çizelge 6.9'da farklı kalitedeki boru numunelerinin 5 saat nitrokarbürleme ve 3 m³/saat NH₃ debisine sahip prosese ait yüzey/beyaz tabaka ve çekirdek mikroyapılarının 500X büyütmedeki mikroyapı görüntüleri gösterilmiştir. Çizelge 6.10'da farklı kalitedeki boru numunelerinin 3 saat nitrokarbürleme ve 3 m³/saat NH₃ debisine sahip prosese ait yüzey/beyaz tabaka ve çekirdek mikroyapılarının 500X büyütmedeki mikroyapı görüntüleri gösterilmiştir.

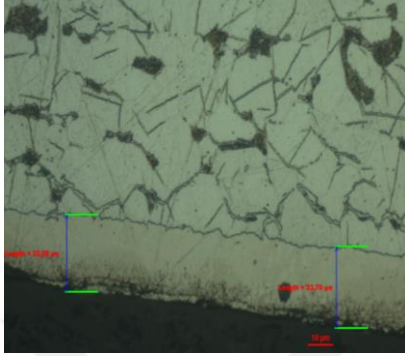
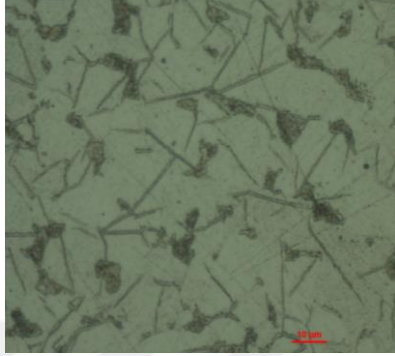
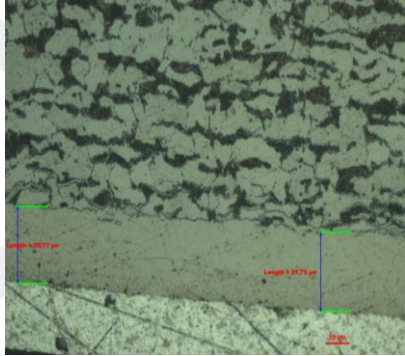
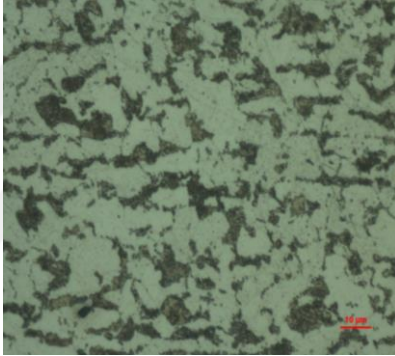
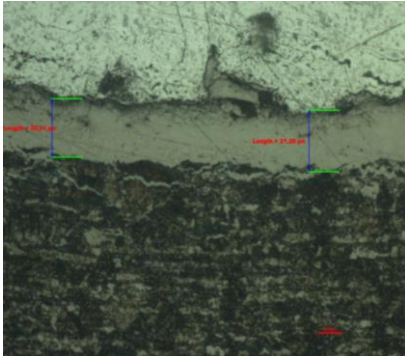
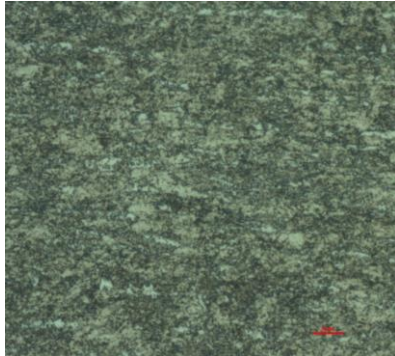
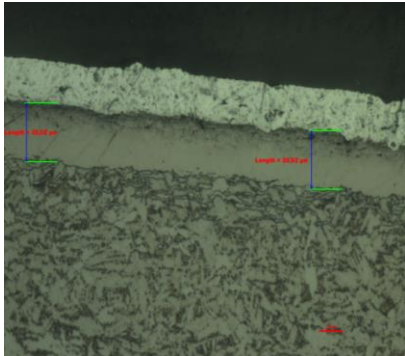
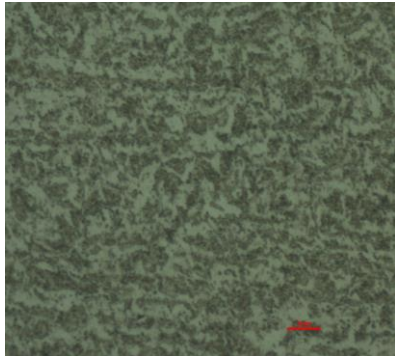
Çizelge 6.6 : Farklı kalitedeki boru numunelerinin ham halinin yüzey mikroyapı görüntüleri.

NUMUNELER	BÜYÜTME	
	100X Objektif - Yüzey	500X Objektif – Yüzey
P235		
P355		
42CrMo4		
16MnCr5		

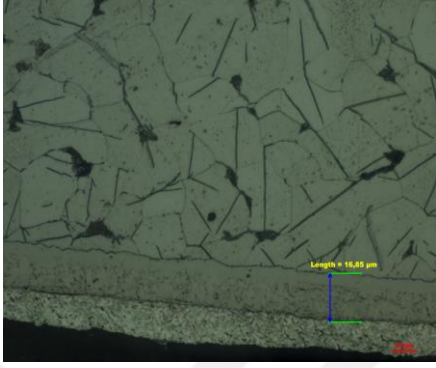
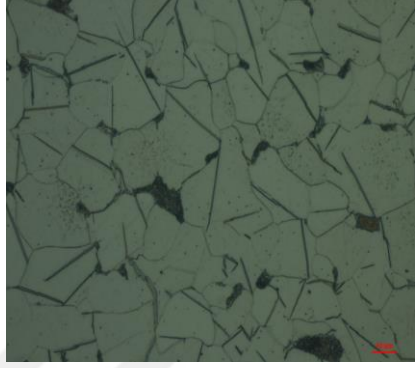
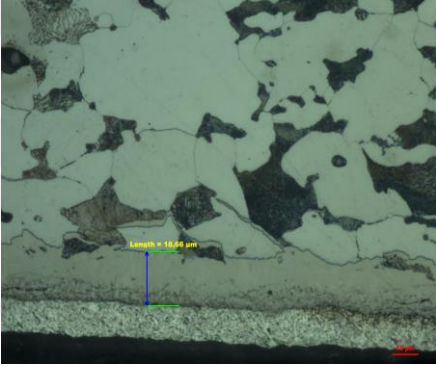
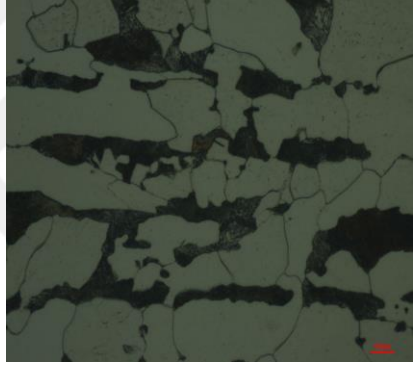
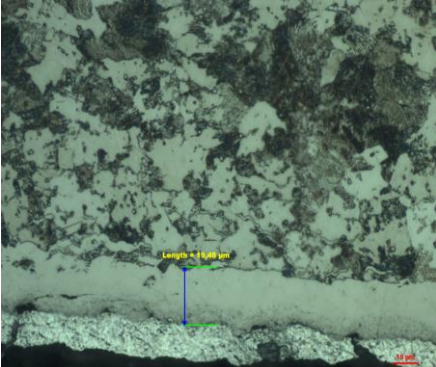
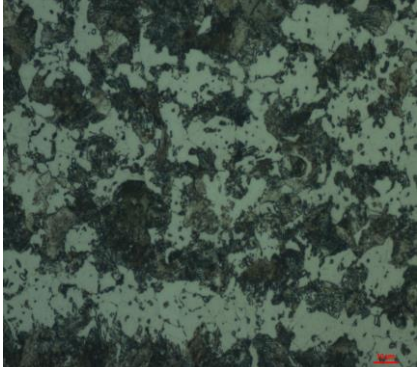
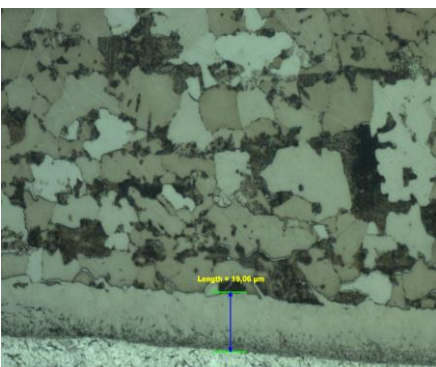
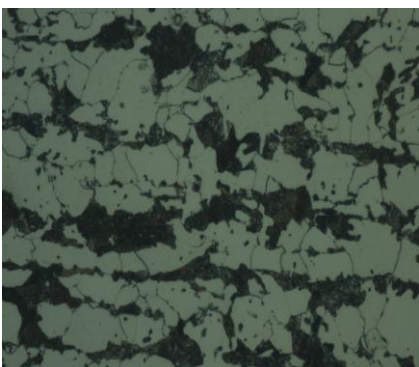
Çizelge 6.7 : Farklı kalitedeki boru numunelerinin ham halinin çekirdek mikroyapı görüntüleri.

NUMUNELER	BÜYÜTME	
	100X Objektif - Çekirdek	500X Objektif – Çekirdek
P235		
P355		
42CrMo4		
16MnCr5		

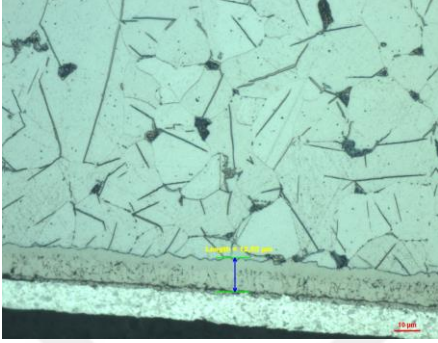
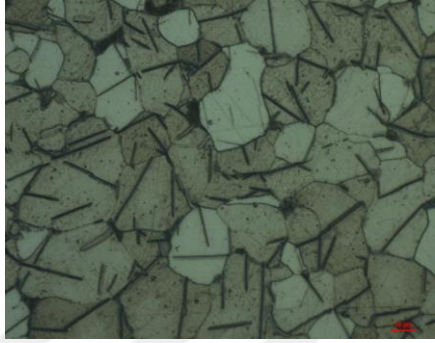
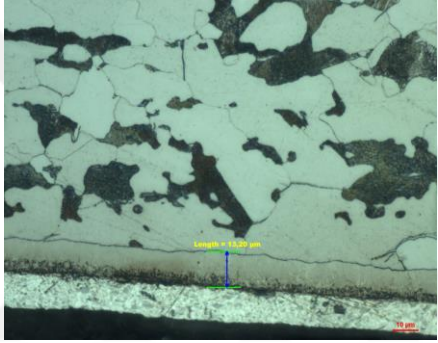
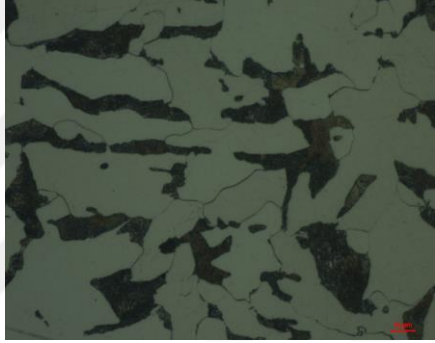
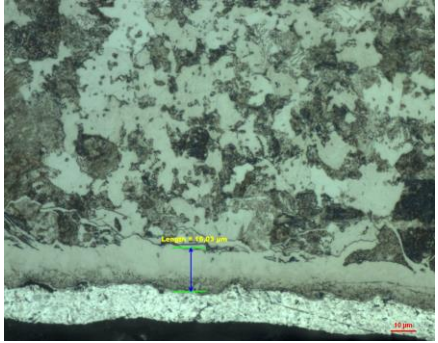
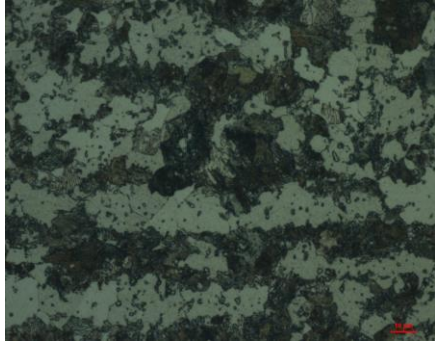
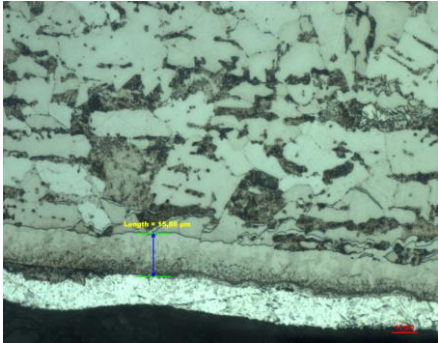
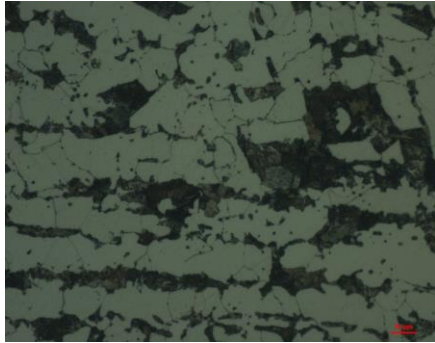
Çizelge 6.8 : 5 saat nitrokarbürleme ve 5 m³/saat NH₃ debisine sahip prosesin yüzey/beyaz tabaka ve çekirdek mikroyapılarının 500X objektif mikroyapı görüntüleri.

NUMUNELER	BÜYÜTME	
	500X Objektif - Yüzey/Beyaz Tabaka	500X Objektif – Çekirdek
P235		
P355		
42CrMo4		
16MnCr5		

Çizelge 6.9 : 5 saat nitrokarbürleme ve 3 m³/saat NH₃ debisine sahip prosesin yüzey/beyaz tabaka ve çekirdek mikroyapılarının 500X objektif mikroyapı görüntüleri.

NUMUNELER	BÜYÜTME	
	500X Objektif - Yüzey/Beyaz Tabaka	500X Objektif – Çekirdek
P235		
P355		
42CrMo4		
16MnCr5		

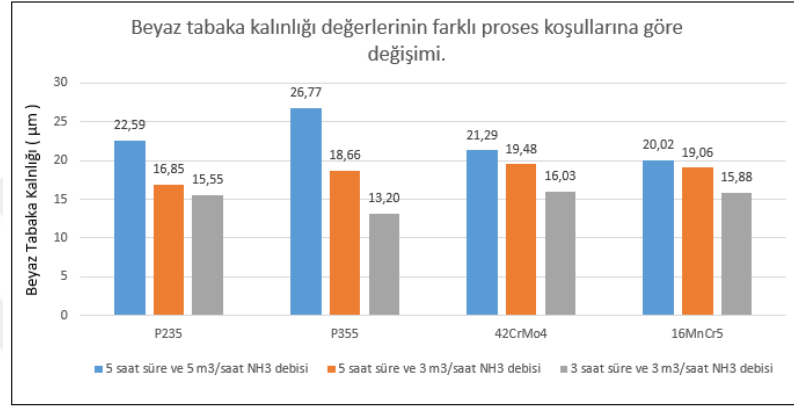
Çizelge 6.10 : 3 saat nitrokarbürleme ve 3 m³/saat NH₃ debisine sahip prosesin yüzey/beyaz tabaka ve çekirdek mikroyapılarının 500X objektif mikroyapı görüntüleri.

NUMUNELER	BÜYÜTME	
	500X Objektif - Yüzey/Beyaz Tabaka	500X Objektif – Çekirdek
P235		
P355		
42CrMo4		
16MnCr5		

Beyaz tabaka mikroyapı görüntüleri verilen numunelerin beyaz tabaka kalınlıkları ise detaylı olarak Çizelge 6.11’de ve Şekil 6.3’de belirtilmiştir.

Çizelge 6.11 : Beyaz tabaka kalınlığı değerlerinin farklı proses koşullarına göre değişimi.

Numuneler	5 saat süre ve 5 m ³ /saat NH ₃ debisi	5 saat süre ve 3 m ³ /saat NH ₃ debisi	3 saat süre ve 3 m ³ /saat NH ₃ debisi
P235	22,59 µm	16,85 µm	15,55 µm
P355	26,77 µm	18,66 µm	13,20 µm
42CrMo4	21,29 µm	19,48 µm	16,03 µm
16MnCr5	20,02 µm	19,06 µm	15,88 µm



Şekil 6.3 : Beyaz tabaka kalınlığı değerlerinin farklı proses koşullarına göre değişimi.

Uygulanan nitrokarbürleme proseslerinde kullanılan tüm malzemelerde en kalın beyaz tabaka oluşumu 5 saat süre ile 5m³ NH₃ debisi ile yapılan işlemde görülmüştür. NH₃ debisi 5m³ değerinden 3 m³ değerine düşürüldüğünde beyaz tabaka kalınlığı P235 ve P355 malzemelerde sırası ile %25 ve %30 değerinde azaldığı görülmüştür. 42CrMo4 ve 16MnCr5 malzemelerde ise beyaz tabaka kalınlığındaki düşüş %10 değerinin altındadır. Ayrıca proses debisi sabit tutulup süre 5 saat değerinden 3 saat değerine düşürüldüğünde beyaz tabaka kalınlıklarının tüm malzemelerde belirgin olarak azaldığı tespit edilmiştir.

6.3 Yassıltma Testi Sonuçları

Numuneler tek tek yassıltma test düzeneğinde teste tabi tutulmuştur. Farklı kalitedeki dikişsiz çelik boru numunelerinin ham hallerinin yassıltma testi sonucu Çizelge 6.12’de, 5 saat süre ve 5 m³/saat NH₃ debili nitrokarbürleme prosesi sonrasındaki yassıltma testi sonucu Çizelge 6.13’de, 5 saat süre ve 3 m³/saat NH₃ debili nitrokarbürleme prosesi sonrasındaki yassıltma testi sonucu Çizelge 6.14’de, 3 saat

süre ve 3 m³/saat NH₃ debili nitrokarbürleme prosesi sonrasındaki yassılma testi sonucu ise Çizelge 6.15’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.12 : Farklı kalitedeki dikişsiz çelik boru numunelerinin ham hallerinin yassılma testi sonucu.

Numuneler	Ham Halleri
P235	Çatlak yok.
P355	Çatlak yok.
42CrMo4	Çatlak yok.
16MnCr5	Çatlak yok.

Çizelge 6.13 : Farklı kalitedeki dikişsiz çelik boru numunelerinin 5 saat süre ve 5 m³/saat NH₃ debili nitrokarbürleme prosesi sonrasındaki yassılma testi sonucu.

Numuneler	5 saat süre ve 5 m ³ /saat NH ₃ debisi
P235	Çatlak yok.
P355	Saat 3 yönünde 3.05-5.6mm , Saat 9 yönünde 11.90-9.50mm lineer çatlak.
42CrMo4	Parça boyunca çatlak.
16MnCr5	Parça boyunca çatlak.

Çizelge 6.14 : Farklı kalitedeki dikişsiz çelik boru numunelerinin 5 saat süre ve 3 m³/saat NH₃ debili nitrokarbürleme prosesi sonrasındaki yassılma testi sonucu.

Numuneler	5 saat süre ve 3 m ³ /saat NH ₃ debisi
P235	Çatlak yok.
P355	Çatlak yok.
42CrMo4	Parça boyunca çatlak.
16MnCr5	Parça boyunca çatlak.

Çizelge 6.15 : Farklı kalitedeki dikişsiz çelik boru numunelerinin 3 saat süre ve 3 m³/saat NH₃ debili nitrokarbürleme prosesi sonrasındaki yassılma testi sonucu.

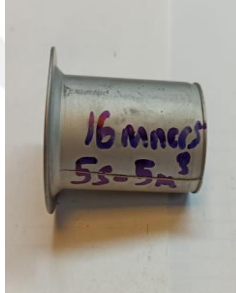
Numuneler	3 saat süre ve 3 m ³ /saat NH ₃ debisi
P235	Çatlak yok.
P355	Çatlak yok.
42CrMo4	Saat 3 yönünde 19.40mm, Saat 9 yönünde 13.15mm lineer çatlak.
16MnCr5	Parça boyunca çatlak.

Farklı kalitedeki dikişsiz çelik boru numunelerinin ham hallerinin çatlak durumunu gösteren fotoğraflar Çizelge 6.16’da, 5 saat süre ve 5 m³/saat NH₃ debili nitrokarbürleme prosesi sonrasındaki çatlak durumunu gösteren fotoğraflar Çizelge 6.17’de, 5 saat süre ve 3 m³/saat NH₃ debili nitrokarbürleme prosesi sonrasındaki çatlak durumunu gösteren fotoğraflar Çizelge 6.18’de, 3 saat süre ve 3 m³/saat NH₃ debili nitrokarbürleme prosesi sonrasındaki çatlak durumunu gösteren fotoğraflar ise Çizelge 6.19’da gösterilmiştir.

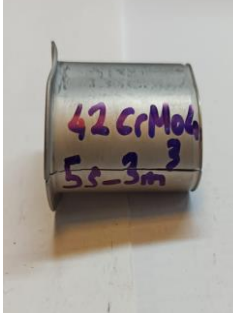
Çizelge 6.16 : Farklı kalitedeki dikişsiz çelik boru numunelerinin ham hallerinin çatlak durumunu gösteren fotoğraflar.

NUMUNE	Ham Halleri			
P235 (St37)				
P355 (St52)				
16MnCr5				
42CrMo4				

Çizelge 6.17 : Farklı kalitedeki dikişsiz çelik boru numunelerinin 5 saat süre ve 5 m³/saat NH₃ debili nitrokarbürleme prosesi sonrasındaki çatlak durumunu gösteren fotoğraflar.

NUMUNE	5 saat süre ve 5 m ³ /saat NH ₃ debili nitrokarbürleme prosesi			
P235 (St37)				
P355 (St52)				
16MnCr5				
42CrMo4				

Çizelge 6.18 : Farklı kalitedeki dikişsiz çelik boru numunelerinin 5 saat süre ve 3 m³/saat NH₃ debili nitrokarbürleme prosesi sonrasındaki çatlak durumunu gösteren fotoğraflar.

NUMUNE	5 saat süre ve 3 m ³ /saat NH ₃ debili nitrokarbürleme prosesi			
P235 (St37)				
P355 (St52)				
16MnCr5				
42CrMo4				

Çizelge 6.19 : Farklı kalitedeki dikişsiz çelik boru numunelerinin 9 saat süre ve 3 m³/saat NH₃ debili nitrokarbürleme prosesi sonrasındaki çatlak durumunu gösteren fotoğraflar.

NUMUNE	3 saat süre ve 3 m ³ /saat NH ₃ debili nitrokarbürleme prosesi			
P235 (St37)				
P355 (St52)				
16MnCr5				
42CrMo4				

7. GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada aynı ölçülere (et kalınlığına) sahip P235, P355, 42CrMo4 ve 16MnCr5 kalitelerinde dikişsiz çelik boru numuneleri kullanılmıştır. Bu numunelerin farklı proses ve farklı süre şartlarında uygulanmış olan nitrokarbürleme prosesi sonucunda gösterecekleri tokluk davranışı yassıltma testi ile incelenmiştir. Çalışma kapsamında mikroyapı analizleri, sertlik ölçümleri yapılmış ve değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Öncelikle P235, P355, 16MnCr5 ve 42CrMo4 malzemelerin ham hallerinin kırılma davranışını tespit etmek için nitrokarbürleme ısıt işlemleri yapılmadan yassıltma testi uygulanmıştır. Tüm malzemelerde TS EN ISO 8492 standardına göre uygulanan kırılma testi sonucunda herhangi bir çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir.
- Nitrokarbürleme ısıt işlem parametrelerinin kullanılan malzemelerde yüzey sertliği, sertlik derinliği, beyaz tabaka oluşumu ve kırılma davranışına etkilerini tespit etmek için üç farklı nitrokarbürleme prosesi uygulanmıştır.
- 5 saat süre ile 5m³ NH₃ debisi parametrelerine göre tüm malzemelerde en yüksek yüzey sertliği, sertlik derinliği ve beyaz tabaka oluşumu tespit edilmiştir.
- 5 saat süre ile 5m³ NH₃ debisi uygulanan parçalarda yassıltma testi esnasında sadece P235 malzemedede çatlak tespit edilmemiştir. 42CrMo4 ve 16MnCr5 malzemelerinde parça boyunca çatlak görülmüştür. P355 malzemedede ise bölgesel çatlak oluşumları tespit edilmiştir.
- 5 saat süre ile 5m³ NH₃ debisi uygulanan parçalarda P235 ve P355 malzemelerde 42CrMo4 ve 16MnCr5 malzemelerine göre daha kalın beyaz tabaka oluşmasına rağmen P235 malzemedede çatlak oluşmamıştır. P355 malzemedede ise bölgesel bazı çatlaklar tespit edilmiştir. Dolayısıyla beyaz tabaka oluşumu ile çatlak oluşumu arasında doğrudan bir ilişki tespit edilmemiştir.

- Yüzey sertlik değerleri irdelendiğinde ise P355 kalite malzemede 598 HV, 42CrMo4 kalite malzemede 657 HV ve 16MnCr5 kalite malzemede 728 HV değerine ulaşmıştır. Yüzey sertlik değerleri ile yassıltma testi sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, artan yüzey sertliği değerleri ile kırılmanlığın arttığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla yüzey sertliği ve difüzyon bölgesindeki sertlik değerlerinin yükselmesi malzemenin kırılmanlığını arttırmaktadır.
- Nitrokarbürleme prosesinde NH₃ debisinin etkisini irdelemek için 5 saat süre ve 3m³ NH₃ debisine sahip proses denemesi gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu çalışmada NH₃ debisinin düşürülmesi sonucunda efektif sertlik derinliğinde belirgin azalışlar tespit edilmemiştir. Beyaz tabaka oluşumunda P235 ve P355 malzemelerde sırası ile %25 ve %30 beyaz tabaka kalınlığı azaldığı görülmüştür. 42CrMo4 ve 16MnCr5 malzemelerde ise bu düşüş %10 değerinin altındadır.
- NH₃ debisinin 3m³'e indirilmesi ile P355 kalite malzemede azalan beyaz tabaka kalınlığı ve yüzey sertlik değerinin düşmesi ile, P355 kalite malzemede yapılan yassıltma testinde çatlak tespit edilmemiştir. Dolayısıyla NH₃ debisinin düşürülmesi ile P235 ve P355 kalite malzemelerde çatlak görülmemiştir. 42CrMo4 ve 16MnCr5 kalite malzemelerde ise NH₃ debisinin düşürülmesine rağmen yassıltma testlerinde parça boyunca çatlak görülmüştür. Bu sonuç, malzemelerdeki alaşım elementlerine bağlı olarak yüzey sertliğinin ve difüzyon bölgesindeki sertlik değerinin yüksek olmasından kaynaklandığı değerlendirilmektedir.
- Nitrokarbürleme prosesine sürenin etkisini irdelemek için 3m³ NH₃ debisine sahip prosesin süresi 5 saat'den 3 saat'e indirilmiştir. Isıl işlem parametrelerinde süre sabit tutulup NH₃ debisi düşürüldüğünde efektif sertlik derinliği belirgin olarak azalmazken, debi sabit tutulup süre azaltıldığında ise efektif sertlik derinliğinin belirgin olarak azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca beyaz tabaka kalınlıkları da belirgin olarak azalmıştır.
- Nitrokarbürleme prosesinde süre 5 saatten 3 saate düşürüldüğünde, efektif sertlik derinliği sırası ile P355 malzemede %18.2, 42CrMo4 malzemede %22.6, 16MnCr5 malzemede ise %32.3 azalmıştır.

- Nitrokarbürleme prosesinde nitrür yapıcı alaşım elementlerinin miktarı arttığında yüzey sertlikleri ve difüzyon bölgesindeki sertlik değerlerinin arttığı literatürde sıklıkla belirtilmektedir. Buna istinaden yapılan çalışmalarda da alaşım elementlerinin artışına göre en yüksek sertlik değerleri 16MnCr5 malzemede, en düşük sertlik değerleri ise P235 malzemede tespit edilmiştir. Ayrıca yapılan çalışmalarda, proses süresinin azaltılması ile birlikte malzemelere göre efektif sertlik derinliğindeki düşüş irdelendiğinde çeliklerde alaşım elementlerinin artması ile birlikte efektif sertlik derinliğindeki düşüş miktarı da artmaktadır.
- Nitrokarbürleme prosesinde süre 5 saatten 3 saate düşürüldüğünde, P235 ve P355 kalite malzemede yassılma testinde çatlak tespit edilmemiştir. Ancak yassılma testinde çatlak, 42CrMo4 kalite malzemede numune boyunca bölgesel iken, 16MnCr5 kalite malzemede numunenin boyunun tamamında olmuştur. Proses süresi azaltıldığında efektif sertlik derinliğindeki düşüş en fazla 16MnCr5 kalite malzemede olmasına rağmen yassılma testinde en fazla çatlak oluşumu da bu malzemede görülmektedir. Bunun sebeplerinden biri 16MnCr5 kalite malzemede yüzey sertlik değeri ve difüzyon bölgesi sertlik değerinin 5 saat süreli proseste olduğu gibi yüksek olmasıdır.
- 16MnCr5 malzemede karbon oranı 42CrMo4 malzemeye göre daha azdır. Karbon atomları gibi azot atomları da arayer atomudur. Bu iki sebepten dolayı azot atomu daha fazla difüze olabilecektir. Azot atomu daha fazla difüze olduğunda daha fazla nitrür ve daha sert bir tabaka oluşacaktır. Daha sert bir tabaka oluşacağı için de en kırılgan malzemenin 16MnCr5 olduğu değerlendirilmektedir.
- 16MnCr5 ve 42CrMo4 kalite malzemeler kıyaslandığında, temper gevrekliği durumu ile karşı karşıya kalınmış olabileceği durumu değerlendirilmektedir. Temper gevrekliğinin oluşmasına P, Cr ve Mn gibi elementler daha fazla etki etmektedir. Her iki malzeme kıyaslandığında P ve Cr bileşimleri birbirlerine çok yakın değerlerdeyken 16MnCr5 malzemede Mn oranı daha fazladır. Ayrıca yapıda bulunan Mo elementi temper gevrekliğini önleyebilecek bir element olarak yapılarda kullanılmaktadır. Mo elementi 16MnCr5 malzemede 42CrMo4 malzemeye göre daha azdır. Bu sebeplerden dolayı 16MnCr5

malzemede temper gevrekliği durumundan dolayı bu malzemenin daha çok kırıldığı değerlendirilmektedir.

- Bu sonuçlara göre çatlak oluşumunu etkileyen en belirgin değişkenlerin alaşım elementleri olduğu değerlendirilmektedir. Süreyi ve debiyi azaltarak yapılan nitrokarbürleme prosesindeki iyileştirmeler genel olarak yassıltma testindeki çatlama hasarını azaltmasına rağmen 16MnCr5 kalite malzemede en yüksek sertlik değerlerine sahip olması nedeni ile yassıltma testinde çatlak oluşumunda iyileşme sağlanamamıştır.



KAYNAKLAR

- [1] **Pişkin, S.**, (2017). Otomotiv sektör raporu. Türkiye Sınai Kalkınma Bankası. İstanbul.
- [2] **Lampman, S.**, (1997). Introduction to Surface Hardening of Steels. ASM Handbook, 4, ASM International, Materials Park, Ohio, pp. 259-267.
- [3] **Wahl, G.**, (1996). Nitrocarburizing for wear, corrosion and fatigue. Advanced Materials and Processes, 4/96, 37-38.
- [4] **Bell, T.**, (1997). Gasous and Plasma Nitrocarburizing. ASM Handbook, 4, ASM International, Materials Park, Ohio, pp. 425-436.
- [5] **David, P.**, (2003). Practical Nitriding and Ferritic Nitrocarburizing, ASM International, USA.
- [6] **David, P.**, (2006). Nitriding Techniques, Ferritic Nitrocarburizing, and Austenitic Nitrocarburizing Techniques and Methods, *Steel heat treatment: Metallurgy and Technologies, Second Edition*. s. 477-510, Taylor & Frances Group, Portland, Oregon, USA.
- [7] **Bostan, B.**, (2015). Yüksek Hız Takım Çeliklerinin Yüksek Sıcaklık Aşınma Dayanımına Nitrasyon İşleminin Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- [8] **Özdemir, U., Erten, M.**, (2003). Plazma (iyon) nitrürleme yöntemi ve malzeme özellikleri üzerindeki etkisi. Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi, 1(2), 41-48.
- [9] **Şahinoğulları, E.**, (2019). 31CrMoV9 ve 34CrAlMo5 çeliklerinde talaşlı imalatın nitrasyon sonrası yüzey pürüzlülüğüne etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- [10] **Polat, Ş., Atapek, H., Topaç, H.**, (2011). Gaz nitrasyon ile yüzeyleri sertleştirilmiş AISI 4140 ve DIN 1.2344 çeliklerinde mikroyapısal karakterizasyon. 6th International Advanced Technologies Symposium, 16-18 Mayıs, Elazığ, Türkiye.
- [11] **Du, H., Somers, M. A. J., Agren, J.**, (2000). Metallurgical and Materials Transactions, *Physical Metallurgy and Materials Science*, 31, 195-211.
- [12] **Fang, H.N., Zhang, R., Liu, B., Tao, Z., Xiao, M.**, (2013). Analysis of magnetic structures of iron nitrides by Landau's theory of second-order phase transitions. Aip Advances, 3.
- [13] **Akhtar, S. S. Arif, A. F. M., Yilbas, B. S.**, (2010). Evaluation of gas nitriding process with in-process variation of nitriding potential for AISI H13 tool steel, *Int J Adv Manuf Technol*, 47, 687-698.
- [14] **Lampman, S.**, (1995). Introduction to Surface Hardening of Steels, ASM Handbook, Heat Treating, Volume. 4, 607-619.

- [15] **Christoph, L., Manfred, P.,** (2003). *Titanium and titanium alloys: Fundamentals and Applications*, s. 7-19, Wiley-VCH, Weinheim.
- [16] **Zhang, S., Zhu, W.,** (1993). TiN coating of tool steels, *Journal of Materials Processing Technology*, 39, 165-177.
- [17] **Ani, Z., Wei, S., Savko, M., Adrian, L.,** (2005). Enhancing the microstructure and properties of titanium alloys through nitriding and other surface engineering methods. *Surface Coatings & Technology*, 200, 2192-2207.
- [18] **Bell, T.,** (1997). Gaseous and Plasma Nitrocarburizing, ASM International, Materials Park, Ohio.
- [19] **Clauss, A. R., Bischoff, E., Schacherl, R.E. & Mittemeijer, E. J.,** (2009). Metallurgical And Materials Transactions A, 40a, 1923.
- [20] **Yang, M.,** (2012). Nitriding-Fundamentals, Modeling and Process Optimization. Doctoral Thesis, Worcester Polytechnic Institute, Worcester, USA.
- [21] **Davis, J.R.,** (2002). Surface Hardening of Steels: Understanding the Basics, First Edition, ASM International, Materials Park, Ohio.
- [22] **Sarı, N.Y., Akay, S., Kaluç E.,** (1997). Aşınmayı Önlemede Etkili Yöntemler - 2 : Plazma (İyon) Nitrürleme, Mühendis ve Makine Cilt : 38, Sayı : 450, Makale 1997.
- [23] **Mittemeijer, E.J.,** (2013). Fundamentals of Nitriding and Nitrocarburizing, ASM Handbook, Volume 4A, Steel Heat Treating Fundamentals and Processes, University of Stuttgart.
- [24] **Kocabaş, M.,** (2012). Elektrolitik Sert Krom Kaplanmış 1010 ve 1040 Çelik Yüzeylerinin Nitrürlenmesi ve Nitrokarbürlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [25] **Denktaş, Ö.,** (2009). Plazma Nitrokarbürlenen AISI 4140 Çeliğinin Tribolojik ve Korozyon Davranışı Üzerine Post-Oksidasyon İşleminin Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Gürkan ŞEN

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2016, Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Metalurji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : 2021, İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya Metalurji Fakültesi, Üretim Metalurjisi ve Teknolojileri Programı

MESLEKİ DENEYİM:

- 2021 Ağustos – Leoni Kablo, Kalite Yönetim Sistem Mühendisi
- 2019 – 2021 Metform Çelik A.Ş., Proje Sorumlusu
- 2018 – 2019 Omega Otomotiv, Kalite Sorumlusu
- Mart 2017 – Eylül 2017 Tüv-Süd, Kalite Sorumlusu

