

154309

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ISLAH EDİLMİŞ ÇELİKLERDE NİTRASYONLA YÜZEY
SERTLEŞTİRME SONRASINDA MEKANİK VE
DOKUSAL ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ**

Metalurji Müh. Zekiye Ayşıl PINARBAŞI

**FBE Metalurji Anabilim Dalı Malzeme Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Nişan SÖNMEZ (YTÜ)

Prof. Dr. Ahmet TOPUZ

Prof. Dr. Hüseyin GİMENOGULLU

İSTANBUL, 2004

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ	v
KISALTMA LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖNSÖZ	xii
ABSTRACT	xiv
1. GİRİŞ	15
2. ISLAH ÇELİKLERİ	17
3. DEMİR – AZOT SİSTEMİ	22
4. DEMİRDE AZOTUN DENGİ ÇÖZÜNÜRLÜĞÜ	23
5. ÇELİKTE AZOT	26
5.1 Azotun Çeliğin Özelliklerine Etkisi	26
6. DEMİRİN NH ₃ İLE REAKSİYONU	29
7. NİTRASYON İŞLEMİ VE SERTLEŞTİRME MEKANİZMASI	32
8. NİTRASYON YÖNTEMLERİ	34
8.1 Amonyakla Gaz Nitasyonu	34
8.2 Amonyak, Azot veya Hidrojenle Gaz Nitasyonu	37
8.3 Amonyak veya Hidrokarbonla Gaz Nitasyonu	37
8.4 Tuz Banyosunda Nitasyon	40
8.4.1 Gaz ve Tuz Banyolarında Nitasyonun Karşılaştırılması	42
8.4.2 Avantajlar ve Dezavantajlar	42
8.5 Toz Nitasyonu	44
8.6 Basınç Nitasyonu	44
8.6.1 Basınç Nitasyonunun Avantajları	46
8.6.2 Basınç Nitasyonunun Dezavantajları	46
8.7 Plazma (İyon) Nitasyonu	47
8.7.1 Plazma Nitasyon Donanımı	49
8.7.2 Plazma Nitasyonunda Kullanılan Gaz Karışımları	49
8.7.2.1 Beyaz Tabakanın Oluşmadığı Gaz	50

8.7.2.2	Gamma Primegas (γ^1)	50
8.7.2.3	Epsilon Gaz (ϵ)	50
9.	PLAZMA (İYON) NİTRASYONUNUN ENDÜSTRİYEL UYGULAMALARI	51
9.1	Plazma Nitrasyonunun Endüstriyel Uygulama Örnekleri	51
9.2	Plazma Nitrasyonunun Geleneksel Nitrasyon Yöntemleri İle Karşılaştırılması ...	55
9.2.1	Plazma Nitrasyonunun Avantajları	55
9.2.2	Plazma Nitrasyonunun Dezavantajları	56
10.	NİTRÜRLENEBİLİRLİK	57
11.	NİTRASYON DERİNLİĞİNİN SAPTANMASI	66
12.	NİTRASYON ÇELİKLERİ.....	67
13.	NİTRASYONA ETKİ EDEN FAKTÖRLER	71
13.1	ALAŞIM ELEMENTLERİNİN NİTRASYONA ETKİLERİ	71
13.1.1	Cr, Mo'lı Çelikler	71
13.1.2	Al ile Alaşımlandırılmış Çelikler.....	71
13.1.3	Isıl İşlem Uygulanabilen Çelikler	72
13.1.4	Alaşımsız Yüzey Sertleştirme İşlemi Uygulanan Çelikler ve Sade Karbonlu Çelikler	73
13.1.5	Takım Çelikleri	74
13.1.6	Yüksek Hız Takım Çelikleri	77
13.1.7	Sıcak İş Takım Çelikleri	78
13.1.8	Paslanmaz Çelikler	80
13.2	Zamanın Etkisi.....	82
13.3	Banyo Bileşimi	83
13.4	Sıcaklığın Etkisi.....	83
14.	BİR PARÇANIN NİTRASYON İŞLEMİNE HAZIRLANMASI	85
15.	NİTRASYON UYGULANMIŞ ÇELİKLERİN ÖZELLİKLERİ	86
15.1	Aşınma Direnci	86
15.2	Temperlemeye Karşı Yüksek Direnç ve Yüksek Sıcaklıklarda Yüksek Sertlik....	88
15.3	Yüksek Yorulma Mukavemeti ve Düşük Çentik Hassasiyeti.....	88
15.4	Korozyon Direnci	92
16.	NİTRASYON FIRINLARI	94
17.	GENEL NİTRASYON PROBLEMLERİ VE NEDENLERİ.....	95
17.1	Düşük Yüzey Sertliği ve Derin Olmayan Nitrasyon Tabakasının Nedenleri	95
17.2	Parçanın Renksizleşmesinin Nedenleri.....	95
17.3	Aşırı Ölçü Değişiminin Nedenleri	96
17.4	Nitrürlenmiş Yüzeyde Çatlama ve Parçalanmaların Nedenleri	96
17.5	Amonyak Parçalanmasındaki Yüzde Farklılığın Nedenleri	96
17.6	İstenilenden Fazla Beyaz Tabakanın Nedenleri.....	97
17.7	Boşalma ve Pipet Borularının Tıkanmasının Nedenleri	97

18.	NİTRASYON VE SEMENTASYONUN KARŞILAŞTIRILMASI.....	98
19.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	100
19.1	Malzeme	100
19.2	Numunelere Uygulanan Plazma Nitrasyon Isıl İşlemi	107
19.2.1	Numunelere Uygulanan Isıl İşlem Koşulları	108
19.3	Plazma Nitrasyon Isıl İşlemi Sonrasında Değişik İşlem Koşullarının Numunelerin Mikroyapılarına Etkilerinin Metalografik Olarak İncelenmesi	109
19.3.1	Plazma Nitrasyon Isıl İşlemi Sonrasında Numunelerin Işık Metal Mikroskobu İncelemeleri ve Sonuçları	110
19.3.2	Plazma Nitrasyon Isıl İşlemi Sonrasında Numunelerin SEM (Tarama Elektron Mikroskobu) İncelemeleri ve Sonuçları	121
19.3.3	Plazma Nitrasyon Isıl İşlemi Sonrasında Numunelerin Işık Metal Mikroskobunda Nitrasyon Derinliklerinin Ölçülmesi	123
19.4	Plazma Nitrasyon Isıl İşlemi Sonrasında Değişik İşlem Koşullarının Numunelerin Mekanik Özelliklerine Etkilerinin Sertlik Ölçümleri İle İncelenmesi.....	129
19.5	Sonuçlar	133
20.	GENEL SONUÇLAR.....	136
	KAYNAKLAR.....	138
	ÖZGEÇMİŞ.....	140

SİMGE LİSTESİ

A	Ayrışma derecesi
A	Kırılma sonrası % uzama
A_N	Atomit azotun aktivitesi
DN	Nitrasyon derinliği
$HR15N$	15 kg'lık yüzde Rockwell yüzey (N skalası) sertliği
HV	Vickers sertlik numarası
K	Bir sabit (sıcaklık ve malzemenin bir fonksiyonu)
K	Çekirdeğin kesit alanı
KCU	Darbe dayanımı (U. Çentikli)
κ	Malzemenin cinsine ve kesitine bağlı sabit
Δl	Uzunluktaki % artış
N	Nitrürlenmiş tabakanın kesit alanı
Re	Akma gerilmesi (%0.20)
Rm	Çekme dayanımı
T	Saat olarak zaman
v	Akış hızı



KISALTMA LİSTESİ

DIN	Deutsches Industriel Norme
ISO	International Standart Organisation
TS	Türk Standartları



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1 Fe- N ₂ denge diyagramı.....	22
Şekil 4.1 Demirin çeşitli modifikasyonlarını 1 Atm azotun sıcaklığının fonksiyonu olarak N ₂ 'nin ağırlıkça çözünürlüğü.	24
Şekil 4.3 1600°C'de sıvı demirde azot çözünürlüğü ($\sqrt{P}$ kuralına göre).....	25
Şekil 5.1 Azotun östenitik çeliklerin mekanik özelliklerine etkisi. Isıl işlem: 1050°C'de 30 dakika ısıtma sonrası su verme.	26
Şekil 5.2 Yaşlanma sonrası deney sıcaklığına bağlı olarak darbe mukavemetinin değişimi. düşük azotlu çelik (I), yüksek azotlu çelik (II).	27
Şekil 6.1 Toplam basıncı 1 atm olan H ₂ ve NH ₃ gaz karışımının 400,444°C de Fe ile reaksiyonu.	29
Şekil 7.1 H13 çeliğinde zamanla nitrasyon tabaka derinliğinin değişimini gösteren mikroyapı fotoğrafları 200x.	33
Şekil 8.1 Gaz nitrasyonu sırasında amonyağın ayrışması ve azotun çeliğin bünyesine alınmasının şematik gösterimi.	35
Şekil 8.2 Bir nitrasyon tesisinin şematik gösterilişi. 1) Amonyak tüpü, 2) Vana, 3) Amonyak gaz kurutucusu, 4) Gazometre, 5) Fırına gaz veren delikler, 6) Fırın, 7) Termokupel, 8) Galvanometre, 9) Manometre, 10) Ayrışma oranını ölçen aygıt, 11) İçinde su bulunan kap.	36
Şekil 8.3 Fe-C-N denge diyagramının 565°C de izotermal kesiti.	38
Şekil 8.4 %50 amonyak ve %50 propan karışımında 580°C de ve 4 saat nitrasyona uğramış saf demirin bileşimi ve mikrosertliği , amonyağın ayrışma derecesi %20.	39
Şekil 8.5 Yumuşak çeliğin 570°C de 2 saat sulfinuz işleminden sonra yüzey tabakasındaki kükürt, azot ve karbon miktarları.	41
Şekil 8.6 Basınç nitrasyonu, parça yüzeyi ile amonyak miktarı arasındaki bağıntı.	45
Şekil 8.7 Basınç nitrasyonunda sıcaklığın sertlik gradyanına etkisi.	46
Şekil 8.8 Laboratuvar tipi plazma nitrasyon cihazı.	49
Şekil 9.1 Çeşitli Nitasyon Isıl İşlemi Sonundaki Çekme Ve Yorulma Dayanımları	52
Şekil 9.2 Plazma nitrasyon işleminin çeşitli uygulamalardaki sonuçları (Keneş,2003).	54
Şekil 10.1 Alaşım elementlerinin %0.35 C, %0.30 Si, %0.70 Mn çeliğinin nitrasyonu sonrası sertliğine etkisi.	58
Şekil 10.2 Alaşım elementlerinin 400HV sertlik değerinde ölçülen nitrasyon derinliğine etkisi. Nitasyon işlemi 520°C'de 8 saat.	58
Şekil 10.3 Temperleme sıcaklığının 510°C'de 60 saat nitrürleme işlemine tabi tutulan En 29B çeliğinin sertlik ve nitasyon derinliğine etkisi.	59
Şekil 10.4 En 29 B çeliğinin 520°C'de 8 saat iyon nitrasyonundan sonraki mikroyapısının yüzey sertliği ve nitasyon derinliğine etkisi.	59
Şekil 10.5 Nitasyon öncesi temperleme sıcaklığı karbon miktarı ve nitasyon sonrası sertlik arasındaki ilişki. Temperleme süresi 100 saat. Çelik bileşim (baz olarak) %3 Cr ve %0.5 Mo.	60
Şekil 10.6 Nitrürlenmiş SIS 2940 çeliğinin yüzey merkezinden alınmış numunelerinde yüzey düzgünlüğünün tane boyutunun fonksiyonu olarak değişimi.	61
Şekil 10.7 Karbon asidi yöntemini kullanarak 566°C'de nitrürlenmiş 1015 çeliğinde nitasyon süresinin fonksiyonu olarak azot gradyanı.	62
Şekil 10.8 Nitasyon sıcaklığının Bs905M39, EN41B çeliğinin nitasyon derinliğine ve sertliğine etkisi. Nitasyon süresi 60 saat.	63
Şekil 10.9 Nitasyon sıcaklığının En 29 B çeliğinin nitasyon derinliğine ve sertliğine etkisi. Nitasyon süresi 60 saat.	63
Şekil 10.10 BS905M39, En 41 B çeliğinde beyaz tabakanın kalınlığının, nitasyon süresinin ve sıcaklığın fonksiyonu olarak değişimi.	65

Şekil 11.1 BS905M39, En 41 B çeliğinin nitrasyon derinliğinin 510°C’de nitrasyon süresinin fonksiyonu olarak değişimi.....	66
Şekil 13.1 Temperleme sıcaklığının En 29 B çeliğinin sertlik ve sertleşme derinliğine etkisi 510°C’de 60 saat nitrürleme	71
Şekil 13.2 BS905M39 çeliğinin 510°C’de 0.5-90 saat nitrürlenmesi sonrası yüzey tabakasındaki sertlik dağılımı	72
Şekil 13.3 BS768A37 Çeliğinin gaz nitrasyonu	73
Şekil 13.4 Nitrasyon sıcaklığının SIS1370 (%0.15 C’lu) çeliğinin sertlik ve nitrasyon derinliğine etkisi.....	75
Şekil 13.5 D ₆ çeliğinin 980°C’de sertleştirme ve sonrasında farklı sıcaklıklarda temperlenme sonrası 510°C’de 10 saat süreli gaz nitrasyonu	76
Şekil 13.6 D ₆ çeliğini 980°C’de sertleştirme ve takiben 550°C’de temperlenme sonrası 590°C’de 10-120 saat gaz nitrasyonu	76
Şekil 13.7 510°C’de 2 saat temperleme işlemi uygulamalı ve uygulamaz D ₂ çeliğinin 510°C’de 30 saat süreli gaz nitrasyonu. Numunelere ilk önce 1050°C’de yağda su verilmiştir.	77
Şekil 13.8 M42 yüksek hız çeliğinin 510°C’de 1-60 gaz nitrasyonu. Ayrışma derecesi %30. 78	
Şekil 13.9 H13 çeliğinin sertleştirilmesi ve bunu takiben farklı sıcaklıklarda temperlenmesinden sonra gaz nitrasyonu	79
Şekil 13.10 H13 çeliğini sertleştirme ve takiben farklı sıcaklıklarda temperlenmesinden sonra 525°C’de 30 saat gaz nitrasyonu.....	80
Şekil 13.11 sürünmeye dayanıklı %13 Cr’lu çeliğin 520-600°C arasında 60 saat süren nitrasyon deneylerinden elde edilen sonuçları göstermektedir. Şekil 13.12 18/8 tipi ve A286 çeliğinin 600°C’de 60 saat nitrasyon sonrası sertlik eğrilerini göstermektedir.....	81
Şekil 13.11 18/8 ve A286 çeliklerinin 600°C de 60 saat gaz nitrasyonu	81
Şekil 13.12 18/8 ve A286 çeliklerinin 600°C’de 60 saat gaz nitrasyonu	82
Şekil 13.13 C15, C45 ve 16MnCr5 çeliklerinde nitrasyon süresinin nitrasyon derinliğine etkisi (580° C de)	83
Şekil 15.1 Nitrürlenmiş, yüzeyi sertleştirilmiş ve nitrürlenmiş deney numunelerinin çelik parçalarla taşlanması sırasındaki aşınma kaybı.	86
Şekil 15.2 Farklı işlemlere tabi tutulan %15 C’lu çelikten yapılmış diskler üzerinde Amsler deneyi. Yükleme 20kp	87
Şekil 15.3 Sertleştirilmiş ve temperlenmiş çelikten yapılmış 5,9 mm çaplı deney numunelerinin, 510°C ve 550°C de gaz nitrasyonu ve tuz banyosunda nitrasyondan sonraki yorulma dayanımlarındaki artış	89
Şekil 15.4 Tuffride işleminin dönel akım yorulma dayanımına etkisi. Çelik, DIN 14CrMoV69 (%0,14 C, %1,5Cr, %0,90 Mo-V)	91
Şekil 15.5 %0,3 C, %2,5 Cr, %0,2 Mo, %0,25 V bileşiminde Cr-Mo-V çeliğinden ($\alpha_B = 110$ kp/mm ²) yapılmış düzgün bir deney numunesinin nitrasyon derinliğinin fonksiyonu olarak burmalı yorulma (Toptaş, 1991)	92
Şekil 18.1 Nitrür ve sementasyon sertliğinin karşılaştırılması	98
Şekil 18.2 %0,97 C lu bir çeliğin sertliğine, tavlama sıcaklığının etkisi (Sönmez, 1972).	99
Şekil 19.1 Deneysel çalışmalarda kullanılan plazma nitrasyon fırını	107
Şekil 19.2 480°C’de 4 saat plazma nitrasyon işlemine tabi tutulmuş DIN 1.2379 alaşımlı numunenin ışık metal mikroskobunda 200x büyütme görüntüsü	110
Şekil 19.3 480°C’de 16 saat plazma nitrasyon işlemine tabi tutulmuş DIN 1.2379 alaşımlı numunenin ışık metal mikroskobunda 200x büyütme görüntüsü	111
Şekil 19.4 520°C’de 2 saat plazma nitrasyon işlemine tabi tutulmuş DIN 1.2379 alaşımlı numunenin ışık metal mikroskobunda 200x büyütme görüntüsü	111

Şekil 19.5 520°C'de 4 saat plazma nitrasyon işlemine tabi tutulmuş DIN 1.2379 alaşımlı numunenin ışık metal mikroskopunda 200x büyütme görüntüsü	112
Şekil 19.6 520°C'de 16 saat plazma nitrasyon işlemine tabi tutulmuş DIN 1.2379 alaşımlı numunenin ışık metal mikroskopunda 200x büyütme görüntüsü	112
Şekil 19.7 550°C'de 2 saat plazma nitrasyon işlemine tabi tutulmuş DIN 1.2379 alaşımlı numunenin ışık metal mikroskopunda 200x büyütme görüntüsü	113
Şekil 19.8 550°C'de 4 saat plazma nitrasyon işlemine tabi tutulmuş DIN 1.2379 alaşımlı numunenin ışık metal mikroskopunda 200x büyütme görüntüsü	113
Şekil 19.9 550°C'de 16 saat plazma nitrasyon işlemine tabi tutulmuş DIN 1.2379 alaşımlı numunenin ışık metal mikroskopunda 200x büyütme görüntüsü	114
Şekil 19.10 480°C'de 2 saat plazma nitrasyon işlemine tabi tutulmuş DIN 1.2738 alaşımlı numunenin ışık metal mikroskopunda 200x büyütme görüntüsü	114
Şekil 19. 11 480°C'de 4 saat plazma nitrasyon işlemine tabi tutulmuş DIN 1.2738 alaşımlı numunenin ışık metal mikroskopunda 200x büyütme görüntüsü	115
Şekil 19.12 480°C'de 16 saat plazma nitrasyon işlemine tabi tutulmuş DIN 1.2738 alaşımlı numunenin ışık metal mikroskopunda 200x büyütme görüntüsü	115
Şekil 19. 13 520°C'de 16 saat plazma nitrasyon işlemine tabi tutulmuş DIN 1.2738 alaşımlı numunenin ışık metal mikroskopunda 200x büyütme görüntüsü	116
Şekil 19.14 550°C'de 4 saat plazma nitrasyon işlemine tabi tutulmuş DIN 1.2738 alaşımlı numunenin ışık metal mikroskopunda 200x büyütme görüntüsü	116
Şekil 19.15 550°C'de 16 saat plazma nitrasyon işlemine tabi tutulmuş DIN 1.2738 alaşımlı numunenin ışık metal mikroskopunda 100x büyütme görüntüsü	117
Şekil 19.16 480°C'de 4 saat plazma nitrasyon işlemine tabi tutulmuş DIN 1.2344 alaşımlı numunenin ışık metal mikroskopunda 200x büyütme görüntüsü	117
Şekil 19.17 480°C'de 16 saat plazma nitrasyon işlemine tabi tutulmuş DIN 1.2344 alaşımlı numunenin ışık metal mikroskopunda 200x büyütme görüntüsü	118
Şekil 19.18 520°C'de 2 saat plazma nitrasyon işlemine tabi tutulmuş DIN 1.2344 alaşımlı numunenin ışık metal mikroskopunda 200x büyütme görüntüsü	118
Şekil 19.19 520°C'de 4 saat plazma nitrasyon işlemine tabi tutulmuş DIN 1.2344 alaşımlı numunenin ışık metal mikroskopunda 200x büyütme görüntüsü	119
Şekil 19.20 520°C'de 16 saat plazma nitrasyon işlemine tabi tutulmuş DIN 1.2344 alaşımlı numunenin ışık metal mikroskopunda 200x büyütme görüntüsü	119
Şekil 19.21 550°C'de 4 saat plazma nitrasyon işlemine tabi tutulmuş DIN 1.2344 alaşımlı numunenin ışık metal mikroskopunda 200x büyütme görüntüsü	120
Şekil 19.22 550°C'de 16 saat plazma nitrasyon işlemine tabi tutulmuş DIN 1.2344 alaşımlı numunenin ışık metal mikroskopunda 200x büyütme görüntüsü	120
Şekil 19.23 480°C'de 2 saat plazma nitrasyon işlemine tabi tutulmuş DIN 1.2379 alaşımlı numunenin tarama elektron mikroskopundaki görüntüsü.....	121
Şekil 19.24 520°C'de 2 saat plazma nitrasyon işlemine tabi tutulmuş DIN 1.2738 alaşımlı numunenin tarama elektron mikroskopundaki görüntüsü.....	121
Şekil 19.25 520°C'de 4 saat plazma nitrasyon işlemine tabi tutulmuş DIN 1.2738 alaşımlı numunenin tarama elektron mikroskopundaki görüntüsü.....	122
Şekil 19.26 550°C'de 2 saat plazma nitrasyon işlemine tabi tutulmuş DIN 1.2738 alaşımlı numunenin tarama elektron mikroskopundaki görüntüsü.....	122
Şekil 19.27 480°C'de 2 saat plazma nitrasyon işlemine tabi tutulmuş DIN 1.2344 alaşımlı numunenin tarama elektron mikroskopundaki görüntüsü.....	123
Şekil 19.28 550°C'de 2 saat plazma nitrasyon işlemine tabi tutulmuş DIN 1.2344 alaşımlı numunenin tarama elektron mikroskopundaki görüntüsü.....	123
Şekil 19.29 DIN 1.2738 Bileşime sahip numunelerin sıcaklığa bağlı nitrasyon derinlikleri .	126
Şekil 19.30 DIN 1.2738 Bileşime sahip numunelerin süreye bağlı nitrasyon derinlikleri	126
Şekil 19.31 DIN 1.2379 Bileşime sahip numunelerin sıcaklığa bağlı nitrasyon derinlikleri .	127

Şekil 19.32 DIN 1.2379 Bileşime sahip numunelerin süreye bağlı nitrasyon derinlikleri	127
Şekil 19.33 DIN 1.2344 Bileşime sahip numunelerin sıcaklığa bağlı nitrasyon derinlikleri .	128
Şekil 19.34 DIN 1.2344 Bileşime sahip numunelerin süreye bağlı nitrasyon derinlikleri	128
Şekil 19.35 DIN 1.2344 Bileşime sahip numunelerin farklı sıcaklıklarda sertlik değerleri...	131
Şekil 19.36 DIN 1.2344 Bileşime sahip numunelerin farklı sıcaklıklarda sertlik değerleri...	131
Şekil 19.37 DIN 1.2344 Bileşime sahip numunelerin süreye bağlı sertlik değerleri	132
Şekil 19.38 DIN 1.2738 Bileşime sahip numunelerin süreye bağlı sertlik değerleri	132



ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 TS 2525'e göre ıslah çeliklerinin çeşitleri ve bileşimleri.....	18
Çizelge 12.1 Nitasyonla satırları sertleştirilebilen tipik çelik kompozisyonları.....	67
Çizelge 12.2 Endüstriyel nitasyon çelikleri.....	68
Çizelge 12.3 ISO/R 683/x-1970 Standardına göre nitasyon çelikleri	69
Çizelge 12.4 Standartlaştırılmış nitasyon çelikleri.....	69
Çizelge 12.5 ISO'ya göre nitasyon çeliklerinin mekanik özellikleri	70
Çizelge 19.1 1 No'lu çelik malzemenin özellikleri.	101
Çizelge 19.2 2 No'lu çelik malzemenin özellikleri.	103
Çizelge 19.3 3 No'lu çelik malzemenin özellikleri.	105
Çizelge 19.4 DIN 1.2738, DIN 1.2379 ve DIN 1.2344 alaşımına sahip numunelere uygulanan ısıt işlemleri koşulları	108
Çizelge 19.5 Çelik Alaşımlarında kullanılan dağlama ayrıacı özellikleri ve uygulama şartları (Geçkinli, 1989)	109
Çizelge 19.6 DIN 1.2738 alaşımlarının değişik işlemler şartlarında ölçülebilen nitasyon derinlikleri	124
Çizelge 19.7 DIN 1.2344 alaşımlarının değişik işlemler şartlarında ölçülebilen nitasyon derinlikleri	124
Çizelge 19.8 DIN 1.2379 alaşımlarının değişik işlemler şartlarında ölçülebilen nitasyon derinlikleri	125
Çizelge 19.9 DIN 1.2378 alaşımlarının değişik işlemler şartlarında ölçülebilen Vickers Sertlik Değerleri	129
Çizelge 19.10 DIN 1.2344 alaşımlarının değişik işlemler şartlarında ölçülebilen Vickers Sertlik Değerleri	130

ÖNSÖZ

Üniversite eğitim hayatım boyunca bana her türlü yardım ve desteği sağlayan, beni yönlendiren saygı değer Prof. Dr. Nişan Sönmez' e teşekkürlerimi arz ederim.

Çalışmalarımın başından sonuna kadar beni her zaman destekleyen, bana sürekli moral desteği veren ve tezimin yazım aşamasında elinden gelen her türlü yardımı esirgemeyen arkadaşlarım Emre Çiftçi, Ahu Homik, Aslı Asyalı, Arş. Gör. Pınar Eşiz' e ve deneysel çalışmalarım sırasında sağladığı olanaklardan ötürü Yük. Müh. Soydan Keneş'e sonsuz teşekkür ederim.

Ayrıca tüm hayatım boyunca her zaman yanımda olan, tüm sıkıntılarımla benimle paylaşan, sürekli yanımda olup her konuda ellerinden gelen yardımı yapan aileme teşekkürü bir borç bilirim.



ÖZET

Endüstriyel uygulamalarda yoğun olarak kullanılan malzemelerin aşınma ve korozyon direnci, yorulma dayanımı ve mikroyapılarını iyileştirmek için nitrasyon, iyon bombardımanı, karbürizasyon ve termo-kimyasal işlemler yapılmaktadır. Yüzey sertleştirme işlemlerinde sağladığı üstün özellikler sayesinde en sık kullanılanlardan biri de nitrasyon işlemidir. Plazma nitrasyonu işleminin kısa sürede tamamlanması, enerji tasarrufu sağlaması, metalürjik yapıyı iyileştirmesi, sonrasında maskeleme yapılabilmesini sağlaması ve doğal çevreye duyarlı bir işlem olması sebepleriyle, endüstride diğer yüzey sertleştirme işlemlerinden daha geniş kullanım alanı bulmuştur. Plazma nitrasyon işlemi, paslanmaz çeliklere, az alaşımlı çeliklere, takım çeliklerine ve titanyum malzemelere uygulanabilir.

Bu çalışmada 1.2378, 1.2379 ve 1.2344 DIN malzeme no'lu çeliklerden hazırlanan numunelere 480°C, 520°C ve 550°C' de 2 – 4 - 16 saat zaman aralıklarında NH₃ gazı ile plazma nitrasyon ısıl işlemi uygulanmıştır. Plazma nitrasyonunun, uygulandığı malzemenin sertlik, aşınma ve korozyon özelliklerine etkisi teorik olarak incelenmiştir. Farklı plazma nitrasyon sıcaklıkları ve zamanlarının malzemenin sertlik ve mikroyapısına etkileri de deneysel olarak araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Nitrasyon, Islah Edilmiş Çelikler, Takım Çelikleri, Plazma Nitrasyon, Yüzey Sertleştirme

ABSTRACT

Nitriding, ion bombardment, carburization and thermo-chemical processes improve the microstructure and the wear, corrosion and fatigue resistances of materials heavily used in industrial applications. Nitriding is frequently used in surface hardening processes because of the superior properties. Plasma nitriding process has wide application areas in industry as plasma nitriding has fast treatment speed, low energy consumption, amends the metalurgical structures, ensures the latter masking and the process is environment friendly. Plasma nitriding can be applied to stainless steels, low alloy steels, tool steels and titanium materials.

In this study, plasma nitriding calorific process has been applied at 480°C, 520°C and 550°C for 2 – 4 – 16 hours, to samples prepared from 1.2378, 1.2379 ve 1.2344 DIN material numbers. The effects of plasma nitriding on the hardness, attrition and corrosion properties of the material are theoretically scrutinized. The effects of different temperatures and time intervals of plasma nitriding on the hardness and microstructure of the subjected material are experimentally researched.

Keywords: Nitriding, Improved Steels, Plasma Nitriding, Tool Steels, Surface Hardening

1. GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesi, mekanik ve dokusal özellikleri daha iyi olan kaliteli malzemelerin üretimine bağlıdır. Malzeme seçimi gerçekleştirilirken genel olarak parçanın dayanması gereken yük ile yüzeyinin korozyon, basınç, darbe ve yüksek sıcaklık derecesi gibi dış etkilere karşı direnci göz önüne alınır. (Bal, 1992)

İş parçalarının yüzeyinin sert, aşınmaya ve yüzey basıncına dayanıklı, iç kısmının ise tok olması istenir. Bunu sağlamak için yüzey sertleştirme işlemi yapılır. Yüzeyin biçimini değiştirerek yapılan işleme, kimyasal ve termokimyasal, değiştirmeden yapılan işleme ise termal yüzey sertleştirme adı verilir. Yüzey bileşimini değiştirerek yapılan nitrasyon, termokimyasal bir yüzey sertleştirme yöntemidir.

Nitrasyon işlemi azot içeren bir ortamda 480 – 650 °C 'de parçanın yüzeyine azot emdirilmesi işlemidir. Bu işlem çeliğin yüzeyinde yüksek derecede sertliğe sahip bir tabaka oluşturulmasının yanı sıra malzemenin yorulma dayanımını, atmosfer, su ve buhar gibi ortamlardaki korozyon dayanımını artırır. Nitrülenmiş tabaka sertliği, sementle edilip sertleştirilen çelikten daha yüksek, boyutsal bakımdan daha kararlı ve sertliğini 500°C 'ye kadar koruma yeteneğine sahiptir.

Nitrasyon işlemi sonunda yüzeyinde ince, sert bir nitrür tabakası oluşur. Nitrür tabakası iki kısımdan oluşur. Nital ile dağlandıktan sonra beyaz görünümünden dolayı dıştaki tabakaya beyaz tabaka (bileşik tabaka), içteki tabakaya ise difüzyon (yayınma) tabakası adı verilir. Yaklaşık olarak 10-20 mm kalınlığındaki beyaz tabaka aşınmaya dayanıklıdır. Beyaz tabakanın kalınlaşması yorulma dayanımının düşmesine neden olur. Difüzyon tabakasında ise azot miktarına bağlı olarak alaşım elementlerinin ince nitrürleri oluşur. En uygun nitrür yapıcı alaşım elementleri alüminyum, krom, molibden, vanadyum ve titanyumdur. (Yalabaçoğlu, Çetinkaya, 2001)

Nitrasyon yöntemleri dört grupta incelenir; gaz, sıvı (tuz banyosunda), katı (toz) ve plazma (iyon) nitrasyonu.

Plazma ya da iyon nitrasyonu adı verilen yüzey sertleştirme yönteminde, malzemeye difüze olmak için metal yüzeyine gönderilen elemental azotun eldesinde glowdischarge tekniği kullanılır. Vakum ortamında, plazmayı oluşturmak için yüksek gerilimli elektrik enerjisi kullanılır ve azot iyonları iş parçasına nüfuz etmesi için hızlandırılır. Bu iyon bombardımanı iş parçasını ısıtır, yüzeyi temizler ve aktif azot sağlar. Kullanılan gaz karışımı ağırlıklı olarak

H₂ ve N₂'nin çeşitli oranlardaki karışımı olup bazı durumlarda metan ve argon gazı da ilave edilebilir.

İyon nitrasyonu, ileri ülkelerde oldukça geniş uygulama alanları olan ancak ülkemizde henüz yaygın olarak kullanım alanı bulamamış bir yüzey sertleştirme işlemidir. Bu metotla yaygın olarak nitrürlenebilen tüm ve nitrülenemeyen birçok çelik iş parçasının nitrürlenebilmesi mümkün olmaktadır. Çok üstün aşınma, yorulma dayanımının ve sertlik derinliğinin hassas kontrolünün istendiği yerlerde özellikle tercih edilmekte, ayrıca bu yöntemde yüzeyde oluşan istenmeyen sert ve gevrek olan beyaz tabakanın kalınlığı kontrol altında tutulabilmektedir.



2. ISLAH ÇELİKLERİ

Genel olarak ıslah çeliklerinden, yüksek dayanım ve sünekliklik birlikte istenir ve sertleştirildikten sonra yüksek sıcaklıkta menevişlenirler. Yeterli değerde martenzit sertliğini sağlayabilmek için, nisbeten yüksek karbon içerirler (yaklaşık % 0,25 ila 0,60) ve sertleştirilmede çatlak oluşumu tehlikesini azaltmak için metalürjik olarak yüksek arıklıkta (alaşımsız ıslah çelikleri kaliteli ve asal çelik, alaşımlı ıslah çelikleri asal çelik olarak) üretilirler. Ayrıca, kükürt miktarı belirli sınırlar arasında değişen, alaşımsız ve alaşımlı ıslah çelikleri de geliştirilmiştir. Kalın kesitlerde, yeterli sertleşme derinliği ancak alaşımlı çeliklerde sağlanabilir.

Islah çelikleri çok yönlü olarak kullanılabilirler. Bunlardan önemlileri yay çeliği olarak, sıcaklığa dayanıklı çelik olarak, nitrasyon çelikleri ve ağır dövme parçaları için, alaşımsız takım çeliği olarak, alaşımlı soğuk iş takım çeliği olarak, indüksiyon ve alevle yüzeyi sertleştirilecek çeliklerde ve son olarak, yüksek dayanımlı genel konstrüksiyon çeliği olarak kullanılabilirler.

TS 2525'e (Ocak 1977) göre standardlaştırılmış ıslah çeliklerinin çeşitleri ve bileşimleri, Çizeğe 2.1'de verilmiştir. Bunlar, kimyasal bileşimlerine göre 4 ana grupta toplanabilir:

- Alaşımsız ıslah çelikleri
- Manganez alaşımlı ıslah çelikleri
- Krom alaşımlı ıslah çelikleri
- Krom-molibden alaşımlı ıslah çelikleri

Çizelge 2.1 TS 2525'e göre ıslah çeliklerinin çeşitleri ve bileşimleri

Sembol	Çelik	Malz.No	C	Si	Mn	Bileşim (% Ağırlık) P _{max} S _{max}	Cr	Mo	Ni	V
KALİTELİ ÇELİKLER										
C 22		1.0402	0.18-0.25	0.15-0.35	0.30-0.60	0.045	0.045			
C 35		1.0501	0.32-0.39	0.15-0.35	0.50-0.80	0.045	0.045			
C 45		1.0503	0.42-0.50	0.15-0.35	0.50-0.80	0.045	0.045			
C 55		1.0535	0.52-0.60	0.15-0.35	0.60-0.90	0.045	0.045			
C 60		1.0601	0.57-0.65	0.15-0.35	0.60-0.90	0.045	0.045			
ASA L ÇELİKLER										
Ck 22		1.1151	0.18-0.25	0.15-0.35	0.30-0.60	0.035	0.035			
Ck 35		1.1181	0.32-0.39	0.15-0.35	0.50-0.80	0.035	0.035			
Ck 45		1.1191	0.42-0.50	0.15-0.35	0.50-0.80	0.035	0.035			
Ck 55		1.1203	0.52-0.60	0.15-0.35	0.60-0.90	0.035	0.035			
Ck 60		1.1221	0.57-0.65	0.15-0.35	0.60-0.90	0.035	0.035			
40 Mn 4		1.5038	0.36-0.44	0.25-0.50	0.80-1.10	0.035	0.035			
22 Mn 6		1.5055	0.25-0.32	0.15-0.40	1.30-1.65	0.035	0.035			
35 Cr 2		1.7003	0.34-0.41	0.15-0.40	0.50-0.80	0.035	0.035	0.40-0.60		
45 Cr 1		1.7006	0.42-0.50	0.15-0.40	0.50-0.80	0.035	0.035	0.40-0.60		
54 Cr 4		1.7033	0.50-0.57	0.15-0.40	0.60-0.90	0.035	0.035	0.90-1.20		
37 Cr 4		1.7034	0.34-0.41	0.15-0.40	0.60-0.90	0.035	0.035	0.90-1.20		
41 Cr 4		1.7035	0.38-0.45	0.15-0.40	0.60-0.90	0.035	0.035	0.90-1.20		

Sembol	Çelik	Malz.No	C	Si	Mn	Bileşim (% Ağırlık) P _{max} S _{max}	Cr	Mo	Ni	V
25 CrMo 4		1.7218	0.22-0.29	0.15-0.40	0.50-0.80	0.035	0.035	0.90-1.20	0.15-0.30	
34 CrMo 4		1.7220	0.30-0.37	0.15-0.40	0.50-0.80	0.035	0.035	0.90-1.20	0.15-0.30	
42 CrMo 4		1.7225	0.38-0.45	0.15-0.40	0.50-0.80	0.035	0.035	0.90-1.20	0.15-0.30	
50 CrMo 4		1.7228	0.46-0.53	0.15-0.40	0.50-0.80	0.035	0.035	0.90-1.20	0.15-0.30	
32 CrMo 12 4		1.7361	0.28-0.35	0.15-0.40	0.40-0.70	0.035	0.035	2.30-3.30	0.30-0.50	(≤0.30)
36 CrNiMo 4		1.6511	0.32-0.40	0.15-0.40	0.50-0.80	0.035	0.035	0.90-1.20	0.15-0.30	0.90-1.20
34 CrNiMo 6		1.6582	0.30-0.38	0.15-0.40	0.40-0.70	0.035	0.035	1.40-1.70	0.15-0.30	1.40-1.70
30 CrNiMo 8		1.6580	0.26-0.33	0.15-0.40	0.30-0.60	0.035	0.035	1.80-2.20	0.30-0.50	1.80-2.20
50 CrV 4		1.8159	0.47-0.55	0.15-0.40	0.70-1.10	0.035	0.035	0.90-1.20		0.10-0.20
30 CrMoV 9		1.7707	0.26-0.34	0.15-0.40	0.40-0.70	0.035	0.035	2.30-2.70	0.15-0.25	0.10-0.20
ASA L ÇELİKLER (Kükür miktarı belirtilen sınırlar içerisinde)										
Cn 35		1.1180	0.32-0.39	0.15-0.35	0.50-0.80	0.035	0.020-0.035			
Cn 45		1.1201	0.42-0.50	0.15-0.35	0.50-0.80	0.035	0.020-0.035			
Cn 55		1.1209	0.52-0.60	0.15-0.35	0.60-0.90	0.035	0.020-0.035			
Cn 60		1.1223	0.57-0.65	0.15-0.35	0.60-0.90	0.035	0.020-0.035			
54 Cr 4		1.7037	0.50-0.57	0.15-0.40	0.60-0.90	0.035	0.020-0.035	0.90-1.20		
37 Cr 4		1.7038	0.34-0.41	0.15-0.40	0.60-0.90	0.035	0.020-0.035	0.90-1.20		
41 Cr 4		1.7039	0.38-0.45	0.15-0.40	0.60-0.90	0.035	0.020-0.035	0.90-1.20		
34 CrMo 4		1.7225	0.30-0.37	0.15-0.40	0.50-0.80	0.035	0.020-0.035	0.90-1.20	0.15-0.30	
42 CrMo 4		1.7227	0.38-0.45	0.15-0.40	0.50-0.80	0.035	0.020-0.035	0.90-1.20	0.15-0.30	

Islah çelikleri, yumuşak tavllanmış halde, belirli bir çekme dayanımı sağlayacak tarzda ısıtılma işlemi görmüş olarak, talaşlı şekillendirmeyi iyileştirecek belirli bir yapı durumu elde edilecek tarzda ısıtılma işlemi görmüş olarak ya da normal tavlı olarak temin edilebilirler.

Alaşımsız çeliklerde, ıslah dayanımı karbon miktarıyla artar. 16 mm çapa kadar en düşük akma sınırı, 370 Mpa (C 25 çeliğinde) ile 570 Mpa (C 50 çeliğinde) arasındadır. 16 ile 40 mm çap arasındaki boyutlarda değerler 50 ile 80 Mpa daha düşük olur. Manganez sertleşebilirliği artırır, öyle ki, örneğin 30 Mn 5 ve 40 Mn 4 çeliklerinde 40 ile 100 mm çap sahasında menevişlemeden sonra C 60 çeliğinin aynı en düşük akma sınırı değeri menevişlemeden sonra C 60 çeliğinin aynı en düşük akma sınırı değeri bulunur. Ancak, yalnızca manganla alaşımlı olan çelikler, aşırı ısınmaya karşı hassastırlar ve akma tane teşekkülüne eğilimleri fazladır. Ayrıca, özellikle su içerisinde soğutmada, sertleştirme çatlağı meydana getirebilirler. Bundan başka, haddelemeye dik doğrultuda, çok düşük sünekliğe sahiptirler. Bu kusurları, silisyum

(37 MnSi 5, 50 MnSi 4) ya da vanadyum (37 MnV 7, 42 MnV 7) ilavesiyle dengelenir. Mn-Si çelikleri, aşınmaya daha dayanıklıdır, fakat daha zor işlenebilirler ve dekarbürize (yüksek sıcaklıkta cıdardan karbon azalması) eğilimleri vardır.

Krom, sertleşebilirliği oldukça fazla artırır ve plastisiteye de olumlu etki yapar. Örneğin, 40 Cr 4 çeliği, 16 ila 40 mm çap sahasında 700 Mpa en düşük akma sınırına sahiptir ve kopma büzülmesi en azından % 45 kadardır. Bu karakteristikler karşılaştırılırsa, C 45 çeliğinde akma sınırı 400 Mpa ve kopma uzaması % 40 ya da 40 Mn 4 çeliğinde akma sınırı 530 Mpa ve kopma uzaması %45 kadardır. Silisyum (38 CrSi 6) ya da vanadyum (50 CrV 4, 58 CrV 4) ilavesi, sertleşebilirliği daha da artırır. Cr-Si ve Cr-V alaşımlı çeliklerde aynı boyutlarda ve aynı kopma büzülmesi değerleri için yalnız krom içeren çeliklere nazaran daha yüksek akma sınırı değerleri bulunur.

50 CrV 4 çeliğinin 250 mm çapa kadar en düşük akma sınırı 550 Mpa kadardır. Molibden, kroma nazaran daha kuvvetli sertleşebilmeyi artırır. Ayrıca, meneviş dayanımını da artırır ve meneviş kırılma tehlikesini azaltır. Fakat, aynı karbon miktarlarında Cr-Mo çeliklerinin mekanik özellikleri Cr-V çeliklerine nazaran biraz daha düşüktür. Yüksek dayanıma ve aynı zamanda iyi plastik özelliklerine 30 CrMoV çeliğinde ulaşılır. Islah çeliklerinde eskiden daha iyi kullanılan nikel, özellikle sünekliliği çok iyileştirir. Örneğin, 36 CrNiMo 4 çeliğinde 250 mm çapa kadar en düşük akma sınırı değeri 550 Mpa iken, kopma büzülmesi %60 ve hatta daha yüksektir.

Islah çeliklerinin seçiminde, yapılacak parçaların boyutları ve istenilen dayanım değerleri, birinci planda rol oynar. Alaşımsız çelikler, ancak küçük kesitlerde homojen sertleşebilirlik sağlarlar, kalın kesitlerde ise mutlaka alaşımlı çelik kullanılması, hem sertlik dağılımının homojene yakın sağlanması ve hem de belirli dayanım değerlerine ulaşılması için zorunludur. Sertleşebilirliğin belirlenmesi için Jominy alın sertleştirme deneyi yapılabilir. Seçimde göz önünde tutulacak diğer noktalar, Mn-Si ve Cr-Si çeliklerindeki yüksek süneklilik ve Cr-Mo çeliklerinin meneviş kırılma tehlikesine karşı dayanıklılıklarıdır.

Islah çeliklerinin seçiminde, şimdiye kadar açıklanan bileşim ve sertleşebilirliğin yanında, yüzeyde ulaşılan sertlik ve sertleşme derinliği de ölçü olarak alınır. Yüzeyde ulaşılabilecek sertlik, karbon miktarının artmasıyla artar. Sertlik değeri % 0.35 karbonlu (C 35, 37 MnSi 5, 34 Cr 4, 34 CrMo 4) çelikler için, menevişten sonra yüzeyde yaklaşık 51 ila 57 RSD-C kadardır. C 60 ve 58 CrV 5 çeliklerinde bu değer 58 ila 64 RSD-C'ye ulaşır. Alaşımsız çelikler, pek az sertleşebilirliklerinde dolayı yaklaşık 4 mm'ye kadar, alaşımlılar ise 12 mm

derinliğe kadar sertleşebilirler. Çatlama tehlikesi olan parçalarda, C 45 ve C55 çelikleri yerine, mangan miktarı azaltılmış Cf 45 ve Cf 55 çelikleri kullanılır.

Islah çeliklerinde ergitme kaynağı için, çeliğin % 0.35'den daha az karbon içermesi ve ısı etkime bölgesinde sertleşme eğilimi olmaması gereklidir. Bunu için, ön ısıtma ve kaynak sonrası tavlama uygulanır. Talaşlı şekillendirme, alaşımsız çeliklerde % 0.45 C'a kadar ve 40 Mn 4 çeliğinde, normal tavllanmış halde iyidir. Diğerlerinde, daha önceden yumuşak tavlama yapılması gerekir. Pek az talaş kaldırma gerekliyse ya da çok iyi yüzey kalitesi isteniyorsa, talaşlı şekillendirme ıslah işleminden sonra yapılabilir. Ayrıca, talaşlı şekillendirilmesi iyileştirilmiş, standartlara en son giren özel çeliklerin kullanılması da, hem talaşlı şekillendirme hızını ve hem de yüzey kalitesini çok iyileştirir.

Islah işleminden sonra yüzeyi alevle ya da indüksiyonla sertleştirilecek çeliklerin seçiminde, şimdiye kadar açıklanan bileşim ve sertleşebilirliğin yanında, yüzeyde ulaşılacak sertlik ve sertleşme derinliği de ölçü olarak alınır. Yüzeyde ulaşılacak sertlik, karbon miktarının artmasıyla yükselir. Sertlik değeri, % 0.35 karbonlu (C 35, 34 Cr 4, 34 CrMo 4) çelikler için menevişten sonra yüzeyde yaklaşık 51 ila 57 RSD-C kadardır. C 60 ve 58 CrV 4 çeliklerinde bu değer 58 ila 64 RSD-C'ye ulaşır. Alaşımsız çelikte, pek az sertleşebilirliklerinden dolayı yaklaşık olarak 4 mm'ye kadar, alaşımlılar ise 12 mm derinliğe kadar sertleşebilirler. Alevle ya da indüksiyonla yüzeyi ayrıca sertleştirilecek ve çatlama tehlikesi olan parçalarda, C 45 ve C 55 ıslah çelikleri yerine, mangan miktarı azaltılmış alevle-indüksiyonla yüzeyi sertleştirmeye uygun Cf 45 ve Cf 53 çelikleri kullanılmaktadır. Ayrıca, bu çeliklerin çok ince taneli olması da, çatlama riskini çok azaltır.

Yüzeyi ayrıca sertleştirilmiş ıslah çelikleri, taşıtlarda (krank mili, kam mili, v.b.) takım tezgahlarında (torna mili, dişli çark) ve diğer fazla zorlanan parçalar (zincir pimi, sonsuz dişli ve sonsuz dişli mili, taşıma tekniği parçaları) için kullanılır.

Islah çeliklerinin özel bir çeşidi nitrasyon çelikleridir. Bu çelikler, özellikle nitrür teşekkül ettiren Al, Cr, Mo ve V içerirler. Nitrasyon işleminde, yaklaşık 0.5 mm derinliğe kadar ayrılmış özel nitrürlerle sertleşmiş bir tabaka elde edilir. Nitrasyon işlemi ıslah işleminden sonra ve ıslah işleminin uygulandığı sıcaklıktan biraz daha düşük sıcaklıkta yapılır.

Islah işleminden sonra nitrasyon uygulanacak 80 mm çapa kadar parçalarda 34 CrAlMo 5 çeliğinin kullanılması tercih edilir. 34 CrAlMo 5 çeliğinin, molibden içermesinden dolayı, meneviş dayanımı ve sığağa dayanımı yüksektir. Bu çelikte, nitrasyon işleminden sonra 950 VSD yüzey sertliğine ulaşılabilir. Islahtan sonra akma sınırı en azından 600 Mpa kadardır.

Daha yüksek çekme dayanımı istendiğinde veya daha büyük kesitteki parçalar için 39 CrMoV 13 9 çeliği kullanılır. Bu çelikte ıslah işleminden sonra akma sınırı, 80 mm çapa kadar en az 800 Mpa ve 80 ila 150 mm arasındaki çaplarda 750 Mpa kadardır. Kullanım yerlerine örnek olarak, takım tezgahlarında iletme milleri, kayıt rayları, masterlar, sıcak buhar armatürleri ve plastiklerin işlenmesinde fazla zorlanan takımlar söylenebilir.

Islah çeliklerinin özel bir grubu olarak da, büyük dövme parçaları belirtilebilir. Burada, kalınlıklar genellikle 10 mm'nin üzerindedir. Bu tarzdaki büyük kesitlerde, cidar ve çekirdek arasında soğuma esnasında meydana gelen büyük sıcaklık farkları, özelliklerin çok değişik olmasına neden olur. Yapıda kalabilen kaba cüruf kalıntıları ya da arıtılamayan eleman yığılmaları gibi hatalar, çatlamaya sebep olacaklarından, bu tür çelikler itinalı olarak ergitilir ve dökülürler.

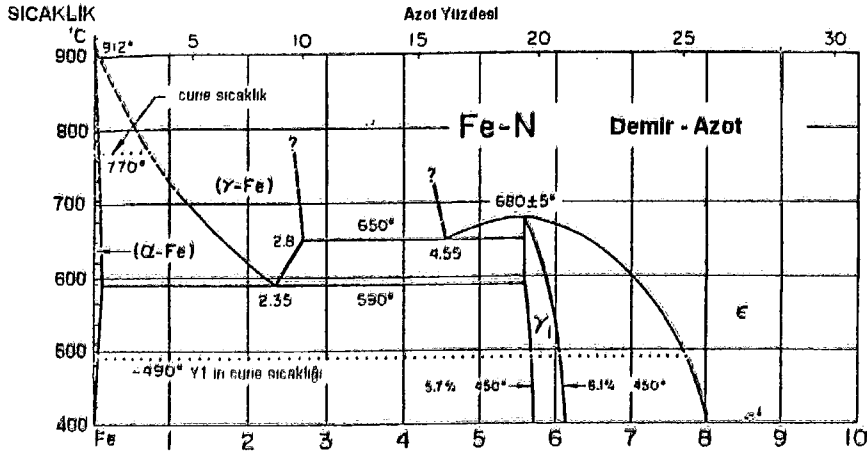
Çelikte çözülen hidrojen de çok tehlikelidir. Büyük kesitlerin soğumasında, çelik içerisinde çözülebilirliğin azalması sonucu, hidrojenin çelik yüzeyine doğru difüzyonla hareket edip, yüzeyi terk etmesi mümkün değildir. Bunlar, çelik içerisinde çok yerde toplanırlar ve özellikle çekme zorlamasıyla malzemenin kopmasında, boşluk (flocken) olarak görülürler. Bunlar, kırılma yüzeyinde açık renk parlaklıkta ve el iğnesi büyüklüğündedir. Büyük kesitli ıslah çelikleri, hidrojen ve metalik olmayan elemanların miktarını azaltmak için ultra arı olarak ergitilirler ve vakumda gazları alınır.

Büyük dövme parçaları için olan ıslah çelikleri, özel talimatlara uygun olarak ısıtma işlemi görürler ve test edilirler. Vakumda işlem görmeyen çeliklerin, boşluksuz olması için uzun süre tavlama ve başta kopma uzaması olmak üzere boyuna, teğetsel ve dikine yönlerde çentik darbe dayanımının belirli bir değerde olması gerekir. Ayrıca, ıslah işleminden önce normal tavlama uygulanarak, yapının homojen ve ince taneli olması sağlanmalıdır.

Kimyasal bileşimlerine göre büyük dövme parçaları için olan çelikler gruplara ayrılırlar. Alaşım elemanının miktarının artmasıyla, kural olarak karbon miktarı düşürülür. Gruplar, örneğin alaşımsız, krom-molibden-vanadyum ve krom-nikel-molibden şeklinde olabilir. Buna göre gerektiğinde yüksek dayanımlı kaynak edilebilir mikro alaşımlı çelikler, sıcağa dayanıklı çelikler ya da ıslah çelikleri kullanılabilir. Alaşımsızlar ve düşük alaşımlılar, yalnızca düşük sıcaklıklar için uygundur ve 550°C gibi yüksek sıcaklıklarda, yüksek alaşımlı çelikler kullanılır. Çelik seçiminde diğer bir ölçü de, çeliğin sertleşebildiği ya da ulaşılabilen ıslah edilebilirliktir. Tipik kullanım yerleri, yüksek basınç kapları, krank mili, buhar türbini için mil, indüktör mili, türbin kanadı, flanş ve yüksek basınç borusu verilebilir.

3. DEMİR – AZOT SİSTEMİ

Fe-N₂ denge diyagramı Şekil 3.1’de görülmektedir.



Şekil 3.1 Fe- N₂ denge diyagramı.

Sistemde oluşan fazlar;

α -Fe’ de azot katı solüsyonu 591°C ötektoit sıcaklığındadır α – fazında azot konsantrasyonu %0.42 ve oda sıcaklığında % 0.015’e kadar düşürülebilir.

γ' fazı, bu faz Fe₄N temelli katı solüsyondur (% 5.5 –5.95 N).

ϵ fazı, %8 –11.2 N içerir, Fe₂N esaslı katı solüsyondur. Maksimum azot miktarı ϵ - fazındadır.

γ - fazı 591°C’nin yukarısında bulunan azotun γ -Fe ’deki katı solüsyonudur. 591 °C’de γ - Fe ötektoit ayrışmaya uğrar. Azot ötektoidi perlitte benzer. %2.35 N içeren bu yapı α ve γ fazlarının karışımından ibarettir.

Jones x ışınlarındaki etütlerinde adi çeliklerin veya kuvvetli alaşımlandırılmış çeliklerin nitrasyonunda meydana gelen yüzeysel tabakanın ϵ fazından oluştuğunu görmüştür. Bu ϵ fazı %9.5 N içermektedir. Azot demir matrisi içinde çok ince dağılmış koyu masif nitrürler halindedir. Bu fazın hemen altında γ' fazı bulunur. Bileşimi Fe₄N olup taneler arasında ince iğneler halinde dağılmış nitrürler halinde olarak kolayca taşınır.

Saf bir demir nitrürlendiği zaman difüzyon olayından dolayı birbirinin ardı sıra şu tabakalar meydana gelir. Yüzeyden içeriye doğru çok ince bir ϵ fazlı zar, bunu takiben ϵ + Fe₄N, Fe₄N+ α bileşimli zarlar. Merkezde değişmeye uğramamış α katı eriyiği (Sönmez,1972; Çetingöz, 1979; Çebin, 1994).

4. DEMİRDE AZOTUN DENGİ ÇÖZÜNÜRLÜĞÜ

Seçilen uygun şartlar altında azot demirle kimyasal bileşikler oluşturur. Bu bileşiklerden Fe_4N ve Fe_8N nitratları özellikle çelikteki yaşlanma olayı ile ilgili olarak teknik önem taşırlar.

Azotun demirdeki demir nitrür veya N_2 ile denge çözünürlüğünü hesaplamak için en doğru metod iç fraksiyonları kullanmaktır. Bu Snoek tarafından bulunan sonuçlara dayanmaktadır. Seçilen uygun frekansta ve sıcaklıkta çözünen azot, hacim merkezli kübik demirde, çözeltideki miktarla doğru orantılı olan iç fraksiyonlara neden olur.

Demir azot sisteminin araştırılmasındaki zorluk yavaşlık sorunudur. Örneğin $900^{\circ}C$ den düşük sıcaklıklarda saf demir saf azot ile ısıtılırsa uzun bir süre metal fark edilir miktarda azot absorlamaz. Yavaşlık, azotun metale yavaş difüzyonu sonucu değil, iç kısımlara difüzyon gerekliliği (yani çözelti hareketi) olan yüzey reaksiyonunun yavaşlığı sonucudur.

$N_2 \rightarrow 2N$ absorbe edilmiş.

Azota küçük bir yüzeyde hidrojen ilave edildiğinde metal ve gaz arasındaki dengenin daha çabuk gerçekleştiği görülmüştür (4.1) ve (4.2) bağıntılarından $1600^{\circ}C$ sıcaklıkta, 1Atm de sıvı demirdeki N_2 erirliği ağırlıkça %0.045'dir. diğer yandan bu bağıntılara göre erirlik sıcaklığının yükselmesiyle doğru orantılı olarak, ancak düşük bir hızla artar.

$$C(N_2 \text{ sıvı}) = 0.0565 \exp. (-860/RT) \quad (4.1)$$

(Ağırlıkça %N)

$$\log C(N_2 \text{ sıvı}) = \frac{188}{T} - 1.248 \quad (4.2)$$

(Ağırlıkça %N)

$$\log C(N_2 \text{ khm}) = - \frac{1575}{T} - 1.009 \quad (4.3)$$

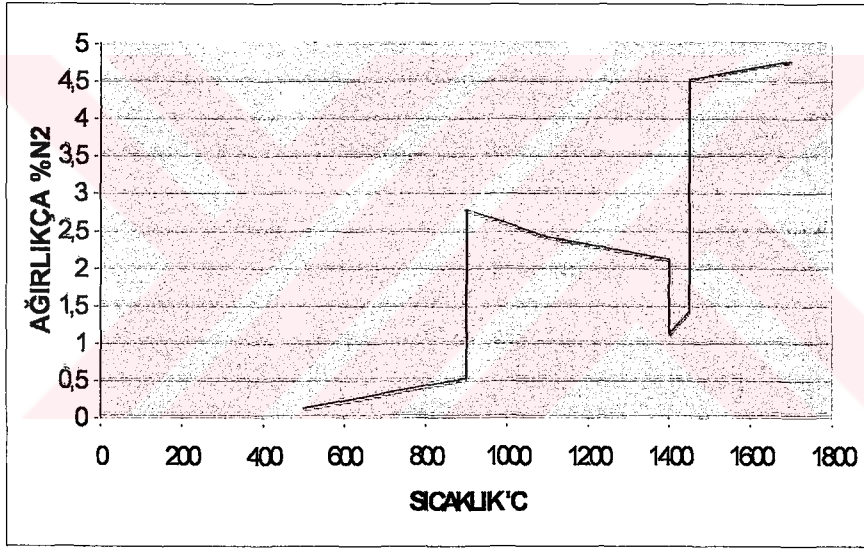
(Ağırlıkça %N)

$$\log C(N_2 \text{ kym}) = - \frac{450}{T} - 1.955 \quad (4.4)$$

(Ağırlıkça %N)

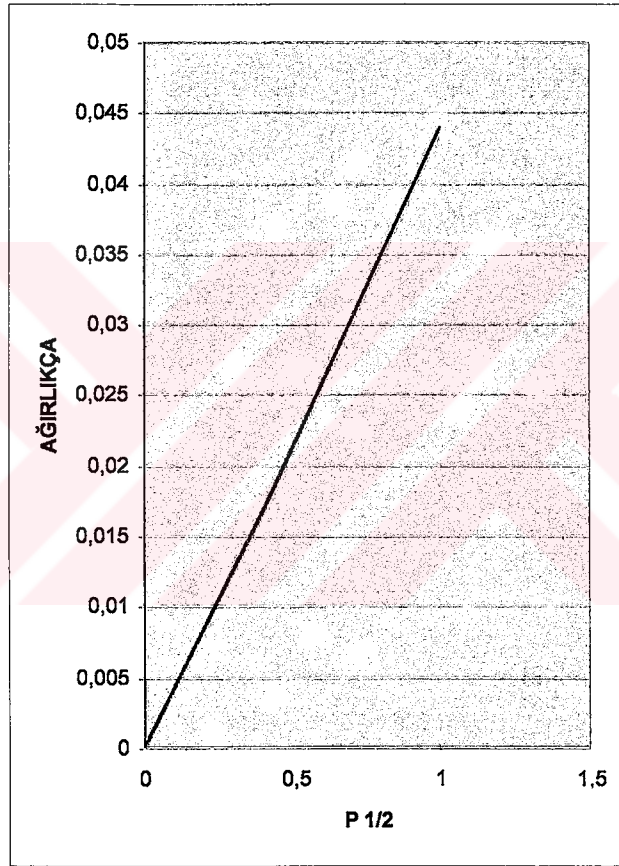
Şekil 3.2; (4.2), (4.3) ve (4.3) eşitliklerine göre demirin çeşitli modifikasyonlarının 1 atm. de azot erirliği görülmektedir. (Çetingöz, 1979; Çebin, 1994). Bu elementin α demiri içinde difüzyon katsayısı eşitlik 4.5 te görülmekte olan bağıntıyla verilir.

$$D = 6.6 \times 10^{-3} \exp. (-8600/RT) \text{ cm}^2/\text{sn} \quad (4.5)$$



Şekil 4.1 Demirin çeşitli modifikasyonlarını 1 Atm azotun sıcaklığının fonksiyonu olarak N_2 'nin ağırlıkça çözünürlüğü.

Bu bağıntıdan görüldüğü gibi 400°C'nin altındaki sıcaklıklarda azotun difüzyon hızı karbondan bir miktar düşüktür. γ demirde azotun difüzyon katsayısı 950°C e $6.5 \times 10 \text{ cm}^2/\text{sn}$ 'dir. Ergimiş metal atmosferde ne kadar yakın bir temasta olursa azotun çelik tarafından absorbe edilme şansı o kadar fazla olur. Örnek olarak Bessemer veya Thomas prosesleri ile üretilen en yüksek azot içerikli çelikler verilebilir. Hidrojen miktarının bu tür prosesler de azaltmanın en basit yolu, ergimiş çelik ile atmosfer arasındaki temasın engellenmesidir. Şekil 4.3 'te azotun sıvı demirdeki erirliği $\sqrt{P}$ hata kuralına uygun olarak gösterilmektedir (Çebin, 1994).



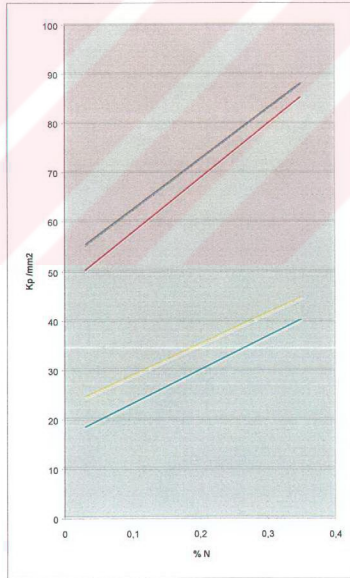
Şekil 4.3 1600°C'de sıvı demirde azot çözünürlüğü ($\sqrt{P}$ kuralına göre).

5. ÇELİKTE AZOT

Molekül halindeki azot kimyasal bakımdan faal olmayan bir gazdır. Metaller içinde erime derecesi genel olarak düşüktür. Normal sıcaklıkta ferrit demir içindeki erime miktarı %0.001'den fazla değildir. Siemens-Martin çeliği % 0.003-0.006 Bessemer çeliği ise %0.015'e kadar azot içerir (Çetingöz, 1979; Çebin, 1994).

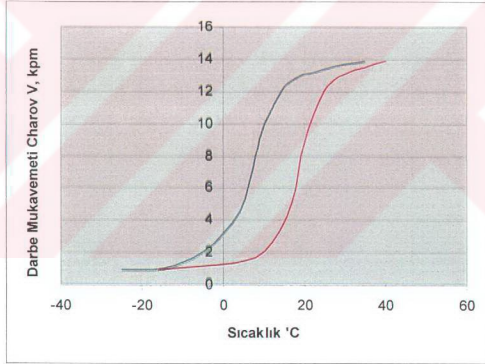
5.1 Azotun Çeliğin Özelliklerine Etkisi

Azotun çeliğin özelliklerine hem yararlı hem de zararlı etkileri vardır. Çeliğin amonyak gazlı ortamda yer alan nitrasyonu sonucu elde edilen özelliklerinde azot yararlı bir etki göstermektedir. Azot, demir ve bazı alaşım elementleri ile birleşerek sert, aşınmaya karşı dayanıklı nitrürler oluşturur. Aşırı derecede yüzey sertliği nitrürlerin kendi sertliklerinden ziyade bunların ince dağılımlarından ileri gelir. Azotun diğer bir yararlı etkisi 18/8 paslanmaz çeliğinin akma noktasını yükseltmesidir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 Azotun östenitik çeliklerin mekanik özelliklerine etkisi. Isıl işlem: 1050°C'de 30 dakika ısıtma sonrası su verme.

Çeliğin Al ile deokside olmaması koşuluyla, azotun çelik içersindeki ağırlıkça oranı %0.009'u geçtiğinde zararlı etki kendini göstermeye başlar. Daha yüksek azot içerikleri, çeliğin özelliklerine kötü etkisi olan deformasyon yaşlanması olayını geliştirir. Çelik önce orijinal akma noktasının üzerinde deforme edilir ve sonra oda sıcaklığı ile 300°C arasında yaşlandırılırsa akma noktasının artış göstermesi deformasyon sertleşmesinin bir sonucu olarak ortaya çıkar. İlk deformasyon sırasında dislokasyonlar azot atomlarından uzaklaşır, ancak çeliğe yaşlanma uygulandığında bu atomlar tekrar kafes hatalarına geçmek için kendilerine yol bulurlar ve yeni yerlerinde tekrar uygulanacak deformasyon sırasında beklenen dislokasyon hareketi için engel oluştururlar. Karbon da azotunkine benzer özellikler gösterir. Ancak düşük sıcaklıklarda azotun difüzyon hızı karbona oranla daha fazla olduğu için (1000°C'de çift katı) deformasyon sertleşmesinin büyük bir kısmı azot tarafından gerçekleştirilmektedir. Deformasyon sertleşmesi, çeliğin oda sıcaklığında gevrek olmasına neden olur ve darbe geçiş sıcaklığı (sünek halden gevrek hale geçiş sıcaklığı) yüksek sıcaklıklara doğru kayar (Şekil 5.2).



Şekil 5.2 Yaşlanma sonrası deney sıcaklığına bağlı olarak darbe mukavemetinin değişimi. düşük azotlu çelik (I), yüksek azotlu çelik (II).

Bu şekilde de açıkça görüldüğü gibi düşük darbeleri bölgede yapılan darbe deneyi testi gevrek bir kırılma testi gösterir. Gemilerde köprülerde aniden meydana gelen kırılmalar, bu tür gevrek kırılmaya tipik bir örnektir.

Azotun zararlı etkisini gidermek için yapılacak en basit iş, çeliğin Al ile söndürülmesidir. Al ile yapılan söndürme işleminde Al, azot ile birleşerek AlN oluşturur. AlN içeren çeliklerin

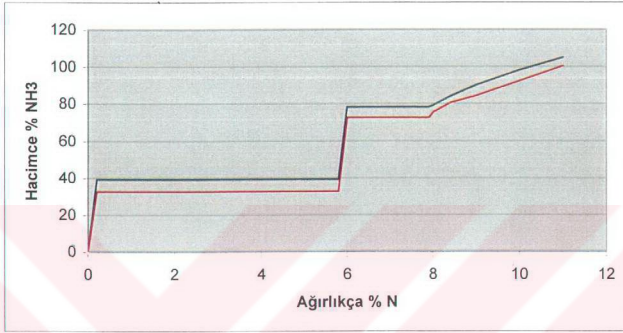
tane büyümesine karşı hassasiyetleri azalır. Bu şekilde bir tane büyümesinin engellenmesi ise darbe geçiş sıcaklığını düşük sıcaklıklara doğru iter. Çeliğin Al ile söndürülmesi durumunda azot oranının kritik olamayacağı ortadadır. Ağırlıkça maksimum % 0.009 N içeriğine izin verilen bir çelik ince taneli olması durumunda % 0.015 N değerine kadar çıkabilir.

%0.010'dan daha fazla azot içeren % 1.2 Cr'lu çeliklerde darbe dayanımında azalma, bununla beraber, temperlenmiş haldeki sertlik değerinde artış söz konusudur (Çebin, 1994).



6. DEMİRİN NH₃ İLE REAKSİYONU

Demir, toplam basıncı 1 atm olan, hidrojen ve amonyak karışımından ibaret gaz akımından 500 °C veya 400°C sıcaklığa ısıtılır. N₂ basıncı arttığında, elde edilen nitrojen miktarı da artar. Şekil 6.1’de iki farklı sıcaklık için maksimum azot içeren bir gaz karışımının reaksiyonu, NH₃’ün fonksiyonu olarak verilmektedir.



Şekil 6.1 Toplam basıncı 1 atm olan H₂ ve NH₃ gaz karışımının 400,444°C de Fe ile reaksiyonu.

Küçük miktarda NH₃ bulunduğunda; α Fe azotu katı solüsyon halinde alır. Çözünen azot karışımının NH₃ miktarı az olduğunda erirlik limiti arttırılabilir. Buna ilaveten α -arayer çözeltisinde yeni γ arayer fazı oluşur (Fe₄N).

Çok yüksek oranda NH₃ bulunduğunda azotça zengin nitritin oluşumu ihtimali doğar (Çebini, 1994). Bu homojenlik aralığının çok yüksek oluşu nedeniyle, basit formüllerle belirlenemez (Çetingöz, 1979).

NH₃’ün nitrasyon etme kapasitesi azottan da büyüktür. α -Fe’de NH₃ etkisiyle Fe₄N oluşumunu, termodinamik denge durumundaki yapıda miktar ve şeklini;





reaksiyonlarıyla belirleriz.

Uygun olmayan ayrışma reaksiyonları 6.2 ve 6.3 dür. Bununla birlikte 600°C nin üzerinde yavaşça ilerlerler. Bunların hızlı gaz akımındaki nitrasyonda yer almadıkları belirlenmiştir. Diğer yandan 6.1 reaksiyonu diğerlerine oranla daha çabuk bir şekilde oluşur. Bu nedenle 6.2'nin NH_3 ortamındaki bir sıcaklık için denge sabitesini çıkarmak mümkündür. Bu formüldeki NH_3 daima uygulanan basınçta o basıncın yüzdesinin bir fonksiyonu olarak teorik N_2 ve H_2 'ye ayrışır. Bu teorik N_2 basıncı Fe_4N 'nin parçalanma basıncına eşittir ve aşağıdaki gibi hesaplanır.

6.1, 6.2 ve 6.3' ün denge sabitlerini veren bağlantılar:

$$K_1 = \frac{P^3 H_2}{P^3 \text{NH}_3} \quad (6.4)$$

$$K_2 = \frac{P^3 H_2 \cdot P N_2}{P^3 \text{NH}_3} \quad (6.5)$$

$$K_3 = P N_2 \quad (6.6)$$

Bu üç bağıntıdan (6.1,6.2,6.3);

$$K_3 = P N_2 = \frac{K_2}{K_1} \quad (6.7)$$

elde edilir.

444°C' deki denge (6.1), Şekil 6'daki N_2 eğrisinin iz dönüşümünün ilk yatay kısmına uygundur. Bu eğri 1 atm 'lik gaz karışımında %30 NH_3 bulunduran eğridir. Bu sıcaklıkta böylece 6.4 eşitliğine göre,

$$K_1 = (0.7)^3 / (0.3)^2 = 3.81$$

elde ederiz.

K_2 denge sabitinin bu sıcaklıkta deneylerden $1,8 \cdot 10^4$ olduğu saptanmıştır. Böylece 6.6 bağıntısından Fe_4N 'nin 444°C 'de 4700 atm'lik parçalanma basıncına sahip olduğu görülür (Çetingöz, 1979; Çebin, 1994).

7. NİTRASYON İŞLEMİ VE SERTLEŞTİRME MEKANİZMASI

Talaş kaldırma veya diğer mekanik işlemlerle kolayca işlenip şekillenebilen çelikler, kullanım alanlarına bağlı olarak çeşitli yüzey sertleştirme işlemlerine tabi tutulmaktadır. Aşınmaya karşı dirençli ve kırılmaya karşı tok bir iç yapı elde edebilmek için mil, dişli, civata ve kalıpların yanı sıra (otomotiv sektöründe, plastik sektöründe) bir çok makina elemanına yüzey sertleştirme işlemleri uygulanabilmektedir. Yüzey sertleştirme işleminde sağladığı üstün özellikler sayesinde en sık kullanılanlardan biri de nitrasyon prosesidir (Demirkaya, 1998)

Uygun bileşimdeki demir alaşımlarının amonyak veya azotlu maddeler atmosferinde ısıtılmasıyla azot absorblayarak ve su verme işlemine gerek duyulmaksızın yüzeyinin sertleştirilmesi işlemine nitrasyon denir (Sönmez,1972; Çetingöz, 1979; Çebin, 1994).

Çelik içinde atom halinde saçılmış bulunan Al veya diğer nitrür elemanları nitrasyon sıcaklığında ($\approx 600^\circ$) difüzyon yapmayıp moleküller halinde kaldıkları kabul edilirse oluşan nitrürlerin kristal halinde değil de molekül halinde bünyeye dağıldığı ve böylece maksimum sertliği sağladığı düşünülebilir. Herhangi bir faz dönüşümü olması söz konusu değildir.

Alaşım çeliklerde büyük plakalar veya iğneler halinde nitrürler elde edilir. Nitrasyona elverişli çeliklerde ince yapıli nitrürler oluşur. Nitrürler bir faz oluşturuyorsa ultramikroskopik bir dağılıma gösterirler. Yüksek sertlik derecesi bu ince nitrür dağılımından meydana gelir (Sönmez,1972; Çetingöz, 1979; Çebin, 1994). Erimeyen nitrürler demir şebekesi içinde ince taneler halinde çökmekte ve bu şebekelerin deformasyonu sonunda sertlik artmaktadır.

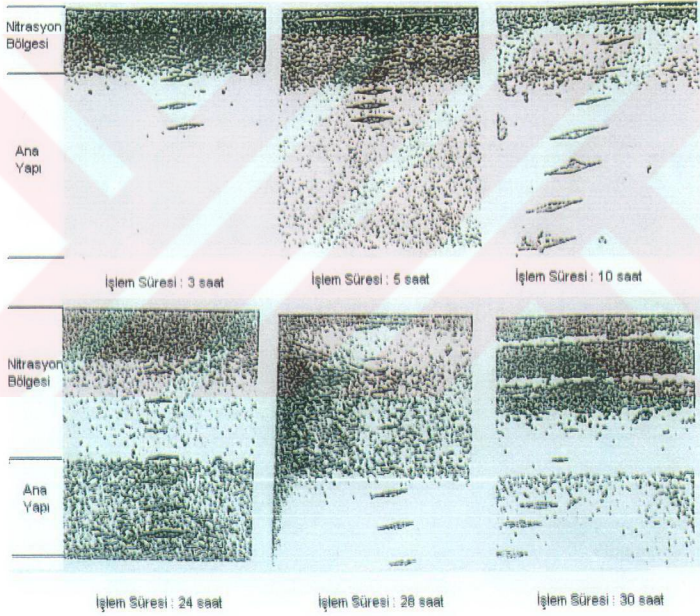
Demir nitrasyon işleminde taşıyıcı bir rol oynamaktadır. Önce çözülebilen demir nitrürler oluşmakta daha sonra erimiş halde alaşım elementleri ile reaksiyona girip alaşım nitrürleri meydana gelmektedir. Bu çözünmeyen alaşım nitrürleri çok ince taneler halinde çökmekte ve bu şebekelerin deformasyonu sonunda sertlik artmaktadır.

Nitrasyon işleminin uygulanmasındaki başlıca amaçlar;

- a) Yüksek yüzey sertliği elde etmek,
- b) Aşınma direnci özelliğini arttırmak,
- c) Yorulma süresini geliştirmek,
- d) Paslanmaya karşı direnci arttırmak,
- e) Nitrürleme derecesindeki sıcaklığın, yumuşatma direnci olan yüzeyi elde etmek olarak

sıralanabilir (Çetingöz, 1979; Çebin, 1994).

Malzemenin aldığı azot oranına bağlı olarak yüzeyde sadece birkaç mikrometre kalınlığında bir tabaka oluşur. Bu tabakayı metalografik incelemede dağlandıktan sonra açık renkte, şekilsiz ve düz olarak gözlemek mümkündür. Beyaz tabaka da denilen söz konusu tabaka (Şekil 7.1) bileşim tabakası adını alır ve nitrürlerden oluşur. Yüzeyde belirgin olarak bulunan bileşim tabakası, hemen altındaki difüzyon kesimiyle birleşir ve her iki kısım birden nitrürlenmiş tabaka (kabuk) adını alır. Alt kısımdaki difüzyon tabakasında doymuş nitrür bileşimleri istenmez. Çünkü bunlar öncelikle nitrür iğneleri olarak tane sınırlarında toplanır ve malzemeyi gevrekleştirir. Çelik kalitesine göre yüzey sertliği 1400 VSD'ye kadar çıkabilir (Toptaş, 1991; Çebin, 1994).



Şekil 7.1 H13 çeliğinde zamanla nitrasyon tabaka derinliğinin değişimini gösteren mikroyapı fotoğrafları.200x

8. NİTRASYON YÖNTEMLERİ

Gaz nitasyonu, tuz banyosunda nitasyonu ve toz nitasyonu olmak üzere üç çeşit nitasyonu yöntemi mevcuttur. Bu üç yöntem içinde mevcut değişimler olup aşağıdaki başlıklar altında toplanmıştır.

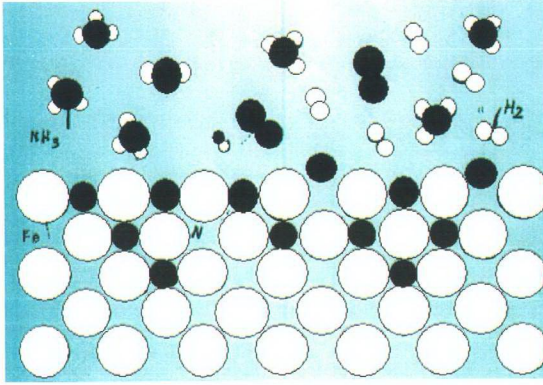
8.1 Amonyakla Gaz Nitasyonu

Amonyakla gaz nitasyonu yönteminde azot kaynağı olarak amonyak kullanılır. 510°C'de sertleştirilecek yüzey üzerinden amonyak aşağıdaki denklemlere uygun olarak parçalanır.



(8.1) reaksiyonu sonucu atomik olarak ayrılan azot çelik tarafından absorbe edilir. Şekil 8.1 amonyakın ayrışma reaksiyonu ve azotun çelik tarafından bünyeye alınışını şematik olarak göstermektedir.

Amonyak gazı ile nitasyonu tek veya çift aşamada yapılabilir. Tek aşamadan oluşan nitasyonu işleminde 540 °C -560°C sıcaklığa ihtiyaç vardır. Ayrışma oranının %15-30 arası olması gerekir.



Şekil 8.1 Gaz nitasyonu sırasında amonyak ayrışması ve azotun çeliğin bünyesine alınmasının şematik gösterimi.

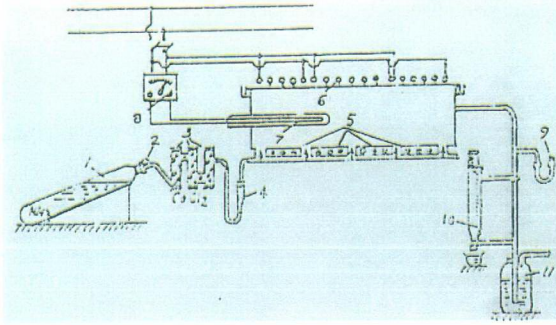
Çift aşamalı nitasyon yönteminin beyaz nitrat tabakasının derinliğini azaltıcı etkisi vardır. Bu işlem önceleri alüminyum içeren çeliklerle sınırlıydı. Çift aşamalı yöntemin birinci kısmı, zaman hariç tek aşamalı işlemin aynısıdır. İkinci aşamada amonyak parçalanması %80-85'e ve sıcaklıkta genellikle 600-620°C'ye çıkarılır. Çift aşamalı nitasyonda amaç maddenin yüzeyinde meydana gelen beyaz tabakanın derinliği azaltmaktır (Çetingöz, 1979; Çebin, 1994).

Gaz nitasyonu 0.2 ve 0.7 mm arasında bir sertleşme derinliği gerektiren parçalar için kullanılır. Nitasyon, hassas sıcaklık kontrollü bir elektrik fırınında uygulanır. Büyük çapta nitasyon için çok iyi sızdırmaz kapaklı yer ocakları kullanılır. Küçük çapta nitasyon işlemleri için ayrı bir nitasyon kutusu olan Mufl Fırınları kullanılır (Toptaş, 1991; Çebin, 1994).

Nitasyon için kullanılan kutular gazla reaksiyona girmeyecek malzemeden yapılır. %25 Cr, %20 Ni'li ısıya karşı dirençli çelikler buralarda kullanılabilir. Eğer sadece birkaç adet nitasyon işlemi uygulanacaksa, nitasyon kutuları çelik saçtan yapılabilir.

İşlemin başlıca maliyeti amonyak tüketimidir. Çelikten yapılan kutular gazla reaksiyona girdiği için bir kısım gaz nitasyon kutusunun iç yüzeylerinde tüketilmiş olacağından hem amonyak gazı sarfiyatı artacak hem de nitasyon kutusundaki ilk nitasyon işlemleri sırasında yer alacak işlemi kontrol etmek zorlaşacaktır (Çetingöz, 1979; Çebin, 1994).

Şekil 8.2' de tipik bir nitrasyon tesisi şematik olarak görülmektedir.



Şekil 8.2 Bir nitrasyon tesisinin şematik gösterilişi. 1) Amonyak tüpü, 2) Vana, 3) Amonyak gaz kurutucusu, 4) Gazometre, 5) Fırına gaz veren delikler, 6) Fırın, 7) Termokupel, 8) Galvanometre, 9) Manometre, 10) Ayrışma oranını ölçen aygıt, 11) İçinde su bulunan kap.

Gaz daima çok az miktarda su buharı (nem) içerir. Gazın neminin nitrasyon kutusuna girmeden önce alınması gerekir (3). Aksi halde su buharı nitrülenmiş parça oksidasyonuna neden olur. En iyi nem giderme gazın sönmemiş kireç filtresinden geçirilmesinden önce 1100°C 'ye ısıtılarak tekrar kullanılır hale getirilmesi veya değiştirilmesidir.

Nitrasyon kutusundaki amonyak gazının nitrasyon işleminin gereksinimlerine uygun olarak ayrıştığını kontrol etmek için, çıkış gazının kimyasal bileşimi ayrışma oranını ölçen pipetle (10) tespit edilir.

Nitrülenecek parçalar, çok iyi temizlenmeli ve yağdan arındırılmalıdır. Parçaların üzerinde kesinlikle herhangi bir toz veya tufal belirtisi olmamalıdır. Parçanın bazı kısımlarının yumuşak kalması isteniyor ise, buralara elektrolitik kaplama yapılır (örneğin Cu, Sn veya Ni kaplama). Bu kaplama tabakası azotun çeliğe girmesini engeller. Bu reaksiyon durdurucuları kalay içeren tipleri de mevcuttur ve bunlar korunacak yüzeylere boyanırlar. Kalay tabakası nitrüleme sıcaklıklarında erdiği için, kaplamanın çok ince kalınlıkta (0.01 mm yi aşmamalı) olması çok önemlidir. Aksi halde, kalın tabakanın nitrüleme yapılacak yüzeylere doğru yayılması söz konusudur.

Parçalar tüm yüzeyleri gaz ile temasa gelecek şekilde nitrasyon kutusu içerisine yerleştirilir. Kutu kapatıldıktan sonra, kutunun içindeki havanın tümü dışarı atılınca kadar kutunun içi amonyakla yıkanır ve sonra amonyak kutu içine bırakılır. Çıkış gazının kimyasal bileşimi

düzenli bir şekilde ayrışma pipetleri yardımıyla tespit edilir ve ilk 5-10 saat için %15-20 artık gazda tutulur. Tespitler bu değerden daha düşük bir değeri gösterirse, gaz hızı çok fazla demektir ve düşürülmesi gerekir. Bunun aksi durumda ise gazın hızı arttırılmalıdır. Ayarlamadan sonra sistem artık kararlı hale geçmiştir ve bu durumda %50 artık gaz miktarı uygun kabul edilerek gazın bileşimini günde 2 veya 3 defa kontrol etmek yeterlidir. 9 m² lik çelik yüzeyine 1 saat nitrasyon için 0.540- 0.850 m³ lük gaza ihtiyaç vardır (Toptaş, 1991; Çebin, 1994).

Nitrasyon tamamlandığında kutu, gazın akışı durdurulmaksızın fırından çıkarılır. Şarj 200°C'ye soğutulduktan sonra gaz akışı kesilir. Kutu içinde kalan gaz kutu açılmadan önce kompresörle uygun bir şekilde dışarı atılır. Nitrülenmiş parçalar bu anda normal olarak mat gri bir renktedirler. Parlak görünüş uygun bir şekilde nitrasyon yapılmadığına işarettir. Kahverengi, mavi gibi renkler bir hava kaçağı olduğunu gösterir. Genellikle soğutma esnasında pozitif bir basıncın olmamasından ileri gelir (Çetingöz, 1979; Çebin, 1994).

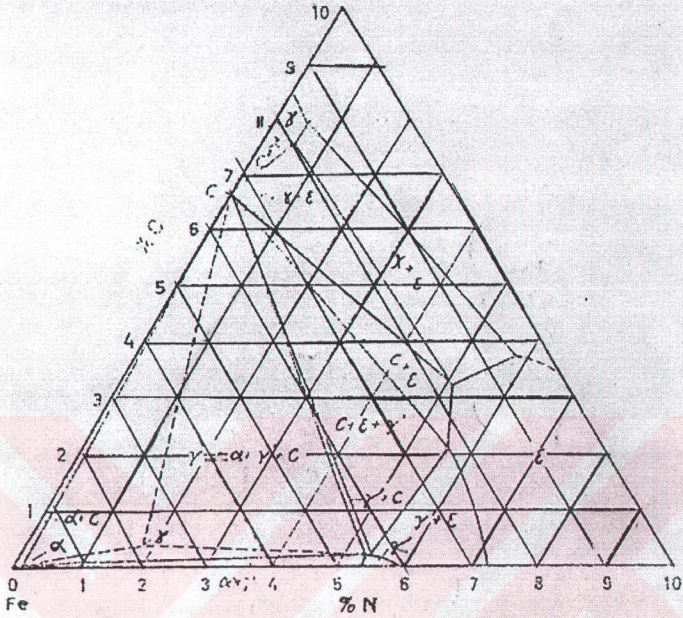
8.2 Amonyak, Azot veya Hidrojenle Gaz Nitrasyonu

Çok ender kullanılan bir yöntemdir. %20 amonyak ve %80 azot içeren bir gaz karışımı nitrasyon işleminde kullanılır. Düşük amonyak miktarı düşük bir amonyak aktivitesi verir ve daha tok özellikte bir tabaka sağlar. Bununla beraber sadece amonyakla veya hidrojen ilave edilerek nitrasyon yapıldığında , amonyağın ayrışma miktarını arttırarak benzer sonuçlar alınabilir (Toptaş, 1991; Çebin, 1994).

Amonyak, azot, hidrojen gazlarının patlamasını önlemek için bazı önlemler alınmalıdır. Fırına hava kaçması ihtimali karşı, fırın içerisinde daima pozitif bir basıncın bulundurulması gerekir. Amonyak civa ile bazı şartlar altında patlayıcı bir reaksiyon oluşturur. Bu sebeple civa, amonyakla temasa gelebilecek yerlerde ve ölçü aletlerinde kullanılmamalıdır (Çetingöz, 1979; Çebin, 1994).

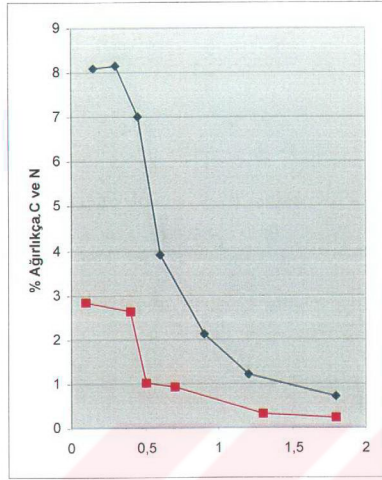
8.3 Amonyak veya Hidrokarbonla Gaz Nitrasyonu

Amonyakla gaz nitrasyonunda, propan veya havadan oluşan saf propan veya endo gaz şeklinde hidrokarbonlar da ilave edilebilir. Nitrasyon, yaklaşık, 570°C sıcaklıkta yapılır. İşlem sırasında karbon ile azot aynı anda çeliğe yayınırlar. Şekil 8.3'den de görüldüğü gibi karbon ve azot beraberce ε tipi karbür oluştururlar.

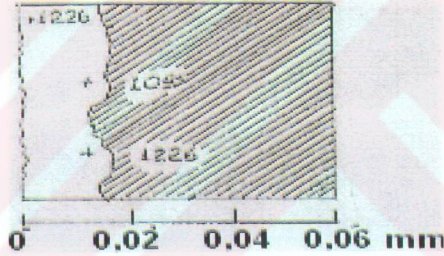


Şekil 8.3 Fe-C-N denge diyagramının 565°C de izotermal kesiti.

Şekil 8.4'de %50 amonyak ve %50 propan ortamında 580°C de 4 saat nitrasyona tabi tutulmuş arı demirin yüzey tabakasının bileşimini ve mikrosertliğindeki değişimleri göstermektedir.



Mikro Sertlik (Hm)



Şekil 8.4 %50 amonyak ve %50 propan karışımında 580°C de ve 4 saat süreyle nitritlenmiş arı demirin bileşimi ve mikrosertliği , amonyakın ayrışma derecesi %20.

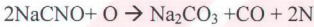
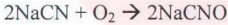
Yüzeydeki yüksek karbon miktarı aşınmaya karşı direnci artırır ve böylece yüzey tabakasının parçalanıp dökülme tehlikesini azaltır (Toptaş, 1991; Çebin, 1994).

Gazla nitrasyon süreçlerinin hızlandırılması için, çeşitli elektrofiziksel yöntemler kullanılmaktadır. Elektrostatik, manyetik ve ultrasonik alanların uygulanması, indüksiyonla ısıtma, ortamın vakumda veya yüksek basınçlarda tutulması, titreşimi akışkan yatak içinde yapılan nitrasyon daha hızlı süreçlerin geliştirilmesi yönünde yapılan çalışmalara örnek gösterilebilir. (Yüksel ve Uzun, 1986)

8.4 Tuz Banyosunda Nitrasyon

Çeliğin bir tuz banyosunda nitrasyonu hemen hemen orijinal gaz nitrasyon yöntemi kadar eskidir. Kurulması, uygulanması kolay ve ucuzdur, kirliliğe neden olmaz. (Çelik ve Karadeniz, 1993) İlk önceleri yalnızca nitrasyon çeliklerine uygulanan bu yöntem, daha sonra geliştirilen tuz banyosu teknolojisiyle kendisine birçok kullanım sahası yaratmıştır. Bu yöntem çelik, sinter ve dökme demirden mamul her parçaya uygulanarak, aşınma direnci ve korozyon mukavemetini arttırmaktadır. (Göknil, 1992) Başlangıçta kullanılan tuz karışımı genellikle (ağırlıkça) %60-70 NaCN ve (ağırlıkça) %30-40 KCN içerir. İlave olarak % birkaç karbonat (Na_2CO_3) ve siyanat (NaCNO) bulunmaktadır. Banyoyu 572°C 'de 12 sat yaşlandırmayla siyanat miktarı istenilen seviyeye (yaklaşık %45) çıkarılabilir. Çelik parçalar yaşlandırma kademesinde banyoya daldırılmalıdır. Tuz banyosu nitrasyon için normal çalışma sıcaklıkları yaklaşık $550\text{-}570^\circ\text{C}$ 'dir ve tutma süresi ender olarak 2 saati aşar. Eğer derin olmayan bir cidar sertliği isteniyorsa veya üretim az ve parçalar küçük ise tuz banyoları daha avantajlıdır (Akgül, 1989; Çebin, 1994).

Tuz banyosu nitrasyonunda tipik reaksiyonlar şunlardır.

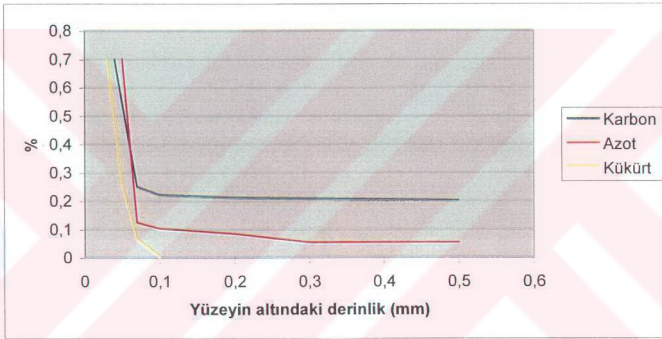


Gaz nitrasyonunda olduğu gibi, oluşan aktif azotun bir kısmı çelik tarafından emilecektir. Aynı zamanda meydana gelen sodyum karbonat %5 yoğunluğa ulaşınca banyodan dondurularak alınabilir. Aktif nitrasyon işleminin sıvı içindeki bileşimlerini sabit tutmak için zaman-zaman siyanür tuzları banyoya ilave edilir (Sönmez, 1972; Çetingöz, 1979). Banyoda oluşan ve potanın dibine oturan çökelek toplanmalı ve çapa vasıtasıyla giderilmelidir. Banyonun tümü düzenli aralıklarla yenilenmelidir.

1950'lerin ortalarına kadar nitrürleyici tuz banyoları sadece sınırlı bir ölçüde, 10-30 dakika gibi kısa sürelerde burğu matkaplarının nitrasyonunda kullanılmıştır. Daha uzun nitrasyon sürelerinin kullanılması, çelik yüzeylerinde çukurlar (oyuklar) oluşmasına ve nitrasyon sonucu yüzeyin düzensiz bir şekle dönmesine neden olmaktaydı. Bu her iki olay banyodaki farklı seviyelerdeki siyanat miktarındaki değişimlerden ve çelik parçaların yüzeylerinin oksidasyonuna neden olan demirin potadan çözünmesinden ileri gelirdi. Son on yılda tuz banyosunda nitrasyon yöntemi banyonun içerisinde hava enjeksiyonu uygulamakla çok popüler bir hale gelmiştir. Çünkü bu şekildeki bir uygulamayla siyanat miktarının kontrolünü

çok daha iyi sağlamak mümkün olmuştur. Daha ileri bir gelişme; titanyum potanın kullanılmasıyla sağlanmış ve böylece demir pota ile temas sonucu oluşan toz ayrışması önlenmiştir .DEGUSSA (Batı Almanya firması) tarafından gerçekleştirilen bu yönteme “Tuffride Prosesi” adı verilir. (Toptaş, 1991; Çebin,1994)

Tuz banyosunda nitrasyonun diğer bir çeşidi ise “sulfünüz” işlemidir. Bu işlemde banyodaki NaCN ve NaClO'den başka aktif olarak sodyum sülfür (Na_2S) bulunmaktadır. Alışagelmış tuz banyosu nitrasyonu sırasında azot ve karbon çeliğin yüzeyi tarafından absorblanır. Sulfünüz işleminde ise kükürdün olması, nitrürlenmiş tabakanın sürtünmeye karşı mükemmel olan özelliklerini daha da geliştirir. Şekil 8.5’de % 0.20 C içeren karbonlu çeliğin 570°C de 2 saat sulfünüz işleminden sonraki yüzey bileşimi gösterilmektedir.



Şekil 8.5 Yumuşak çeliğin 570°C de 2 saat sulfünüz işleminden sonra yüzey tabakasındaki kükürt, azot ve karbon miktarları.

Bazı durumlarda, sulfünüz işlemiyle çeliğin yüzeyinde hafif bir korozyon oluşması söz konusu olabilir. Bundan başka çelik parçaların dış kısımlarında çok ince yüksek kükürtlü tabaka oluşabilir. Boyutsal kararlılık için eğer bu tabakanın giderilmesi istenirse, bu giderme işlemi en uygun çelik yönü ile yapılabilir. Tuz banyosunda nitrasyon sonrası taşlama işlemi yapılmamalıdır. (Akgül, 1986)

Tuffride ve Sulfünüz işlemi sonrası en iyi yüzey çelik parçaların ılık suda soğutulması halinde elde edilir. Sade karbonlu ve düşük alaşımlı çelikler eğer 200°C de temperlenirlerse oluşan nitrür çökmesi yorulma mukavemetini azaltır ve tokluğu artırır. Gaz nitrasyonunda olduğu gibi yavaş soğuma sırasında bu tür çökme kendiliğinden elde edilir (Toptaş, 1991; Çebin,1994).

8.4.1 Gaz ve Tuz Banyolarında Nitrasyonun Karşılaştırılması

- 1) Gaz nitrasyonunun 12-120 saatlik nitrüleme zamanına karşılık, tuz banyosunda nitrasyon için 1-4 saatlik bir süre gereklidir.
- 2) Gaz nitrasyonu çeliği gevrek yaptığı halde, tuz banyosu nitrasyonunda böyle bir durum söz konusu değildir.
- 3) Gaz nitrasyonu sırasında çeliğin gevrek olmasının nedeni γ_1^1 - nitrür gibi gevrek bir partikülün varlığıdır. Bu partikül tuz banyosunda nitrasyon sonrası görülmemektedir.

8.4.2 Avantajlar ve Dezavantajlar

a- İşlem Süresi

Bu konuda tuz banyosunda nitrasyon; alışılagelmiş gaz nitrasyonla karşılaştırıldığında daha avantajlıdır.

b- Temizlik

Gaz nitrasyonunda çalışma sahasının veya nitrülenmiş parçaların kirlenmesi söz konusu değildir. Oysaki, tuz banyosunda nitrasyonda, fırının üst kısmına ve etrafına tuz dökülmesi çok kolaydır. Bundan başka, tuz banyosunda işleme tabi tutulan parçalar sıcak su ile yıkanmalıdır. Siyanür tuzu zehirlidir, ancak işlem doğru uygulandığı sürece zehirlenme olayı ile nadiren karşılaşılır. Yıkama suyu, artık tuzlarla beraber kolaylıkla atılabilir.

c- Nitrasyon derinliği

Tuz banyosunda nitrasyon sırasında, nitrasyon süresinin artmasıyla artış gösteren boşlukların oluşmasının sonucu olarak, nitrasyon süresi maksimum 4 saat olarak sınırlandırılmıştır. Gaz nitrasyonunda bu konuda herhangi bir kısıtlama konulmamış, ancak pratik nedenlerden ötürü, 90 saatlik sürenin aşılması öngörülmektedir. Tuz banyosunda nitrasyonla elde edilebilen nitrasyon derinlikleri çoğu kez yetersiz kalmakta, gaz nitrasyonu ile istenen derinlikler elde edilebilmektedir.

d- Aşınma Direnci

Tuz banyosunda nitrasyon sonucu oluşan ϵ karbonitrür miktarı, alışılagelmiş gaz nitrasyonuna oranla daha fazladır. Kritik olaylarda bu yüksek oranda ϵ karbonitrür aşınma direncinde artış sağlar. Gaz nitrasyonu sırasında hidrokarbonların ilavesiyle ϵ karbonitrür miktarı tuz banyosuna nitrasyon sırasında elde edilen değerine kadar yükselebilir.

e- Tokluk

Gaz nitrasyonu sırasında hızla yayınma sonucu elde edilen nitrürlenmiş tabakanın tokluğu, soğumanın yavaşça yer aldığı gaz nitrasyonu ile elde edilene oranla daha düşüktür. Bu durumun pratik sonuçları, su verilmiş ve temperlenmiş çelikten yapılmış gaz ve tuz banyosu nitrasyon kalıplarının karşılaştırılmasında gözlenmiştir. Tuz banyosu nitrasyonunda, birkaç pul pul dökülme olayı görülmüştür.

f- Nitrasyon sonucu Oluşan Boyutsal Değişimler

Nitrasyon süresince çelikte oluşturulan basma gerilmelerinden ileri gelen boyutlardaki değişim, çarpılma (distorsiyon) olarak kabul edilirse, aynı nitrasyon derinliği için her iki yöntemde de aynı miktar çarpılma (distorsiyon) oluşur.

Gaz nitrasyonundan sonra nitrürlenmiş parçaları içeren kutu fırından çıkarılır ve havada serbestçe soğutmaya terk edilir. Tuz banyosunda nitrürlenmiş parçalarda ise soğutma ya su ya da yağda yapılır. Su verme sonucu ısı (termal) gerilmeler oluşur ve bunlar şekil değişimine neden olur.

Nitrasyon en az boyutsal değişime neden olan ve en yüksek sertliği veren bir işlemdir. 550° C sıcaklıklarda uygulandığı için ana malzemede hiçbir faz dönüşümü olmaz. Yüzeyde azotun emilmesi genellikle yüzeyin şişmesi şeklinde oluşan hacimsel bir artış ve bunun yanı sıra yüzey tabakası ile çekirdek arasında gerilime neden olur. 0.005 mm den 0.02 mm ye kadar olan şişme miktarları nitrürlenme işleminin süre uzunluğuna bağlıdır. 50 mm den daha büyük kesitli parçalar için şişme miktarı yukarıda verilen değerlerle sınırlanabilir. Kesit büyüklüğü nitrürlenmiş tabakanın kalınlığı ile karşılaştırıldığında boyutsal değişim küçülür. Büyüklük, nitrürlenmiş tabakanın ve çekirdeğin kesit alanlarının oranları ile saptanır.

Uzunluktaki artışı hesaplamak için aşağıdaki yaklaşık eşitlik kullanılabilir.

$$\Delta l = \kappa \frac{N}{K} \%$$

Δl : Uzunluktaki % artış

N : Nitrürlenmiş tabakanın kesit alanı

K : Çekirdeğin kesit alanı

κ : Malzemenin cinsine ve kesitine bağlı sabit.

Yukarıda anlatılanlar, kısa işlem süresi ve bunun sonucu olan düşük maliyetin, tuz banyosunun gaz nitrasyonuna olan yegane üstünlüğünü göstermektedir. Bu nedenle, ısıtma işlemcinin nitrülenmiş malzemeyi kullananlar kadar, hangi yöntemin kendisi veya genel durum için en uygun olacağını seçmesi gerekir (Akgül,1986; Toptaş, 1991).

8.5 Toz Nitrasyonu

Toz nitrasyonunda parçalar bir kutu içerisine yerleştirilir. Kutuya ilk olarak ağırlıkça yaklaşık %15 oranında nitrasyonu hızlandırıcı malzeme konulur. Daha sonra nitrülenecek parçalar yerleştirilir. Nitrasyon tozları bir tabaka halinde bu parçaların üzerine konur. Daha fazla nitrüleme tozu ilave edilerek parçalar yerleştirilmeye devam edilir. Kutular sıkıca kapatıldıktan sonra sıcaklığı 520-570°C olan bir muffle fırınının içersine yerleştirilir. Nitrasyon işleminin 12 saati geçmemesi tavsiye edilir (Toptaş, 1991; Çebini,1994).

BS905M39 (En413), BS817M40 (En24) ve H13 çelikleri üzerinde yapılan nitrasyon deneyleri aynı zaman ve sıcaklıkta yapılan gaz nitrasyonu ile aynı sertlik ve nitrasyon derinliği vermiştir.

Toz nitrasyonundan sonra çelik yüzeyleri oyuklaşma ve kabarıp pul pul dökülme gösterebilirler (Çebini, 1994).

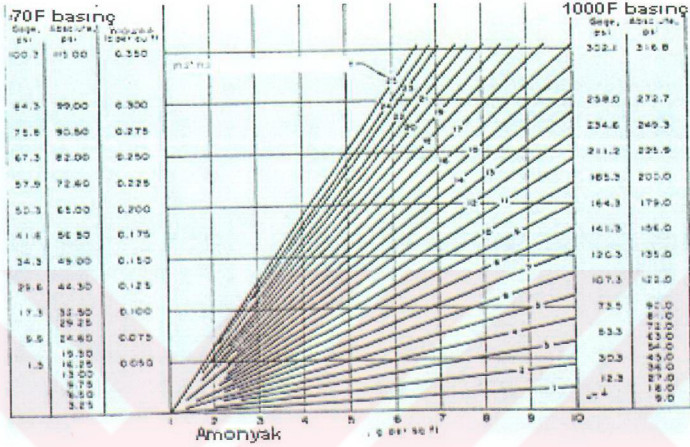
8.6 Basınç Nitrasyonu

Basınç nitrasyonu klasik gaz nitrasyonundan farklıdır. Nitrasyon parçalarını içine alabilecek ve yüksek basınca dayanıklı kapalı bir damıtma kabına ihtiyaç vardır. Buna rağmen, pratik sınırlar içinde, basınç nitrasyonunda elde edilen derinlik ve kalitenin basınçtan daha çok nitrasyon edilecek kısmın gaza olan reaksiyonuna ve verilen amonyak oranına bağlıdır (Çetingöz, 1979; Toptaş, 1991; Çebini, 1994)

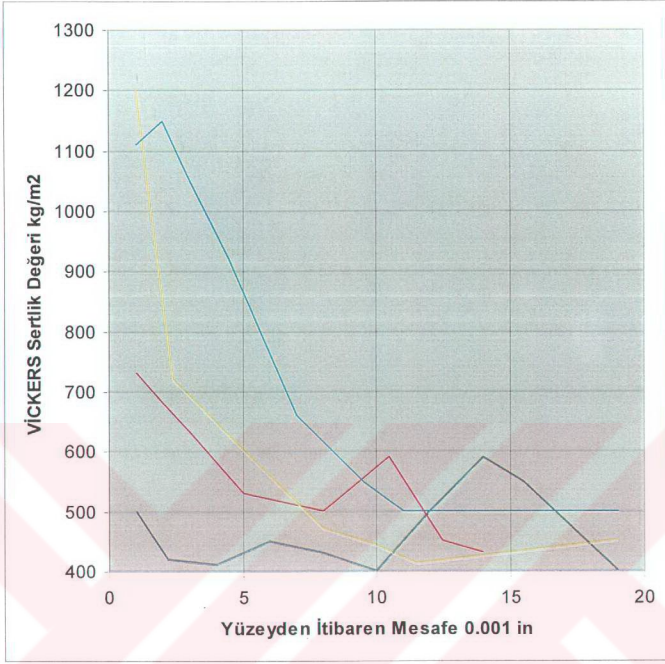
Nitrülenecek yüzeyler temizlenir. Karbon çeliğinden damıtma kabına konur ve bu kabın önce havası boşaltılır. Daha sonra önceden belirlenen basınçla amonyak verilir ve amonyakın teması sağlanır.(Şekil 8.6) (Çetingöz, 1979; Çebini, 1994)

Bu hesapta, yeni damıtma yüzeyi (düşük karbon çeliği damıtma kapları) %20 tesirli saha olarak bulunmuştur. Bu işlemten sonra tesirli saha %10'a düşer. Bir tüpün iç yüzeyi sertleştirileceği zaman, tüpün kendisi, kendinin damıtma kabı görevini görür. Bu damıtma kabı istenilen ısıda olan ve ısı sirkülasyonu kontrol edilebilir bir fırında ısıtılır. Sonra havada

soğutulur ve açılır. Şekil 8.7'de görüldüğü gibi ısı kontrolü kritik değildir. Şekilde yüzey derinliği ve sertliği üzerinde basınç nitrasyonu ısısının tesiri görülmektedir. 425°C de hiç nitrasyon olmaz. 650°C'de daha yumuşak bir hal görülmektedir. (Çetingöz, 1979; Toptaş, 1991; Çebin, 1994)



Şekil 8.6 Basınç nitrasyonu, parça yüzeyi ile amonyak miktarı arasındaki bağıntı



Şekil 8.7 Basınç nitrasyonunda sıcaklığın sertlik gradyanına etkisi

8.6.1 Basınç Nitrasyonunun Avantajları

Basınç nitrasyonunun avantajları arasında yüksek sertliği ve yüksek derecede güç ve buna bağlı olarak beyaz tabaka kontrolünün sağlanmasını sayabiliriz (Çetingöz, 1979; Toptaş, 1991; Çebin, 1994).

8.6.2 Basınç Nitrasyonunun Dezavantajları

Damıtma kaplanması daima kolay olmaz, 45 saat sonunda amonyak oranı %50 düşer. Bundan sonra proses çok yavaş seyreder. Beyaz tabaka derinliği 0.0001-0.0002 inç de tutmak için, yüzeyin derinliği 0.020-0.025 inç'i geçmemelidir. Lehimlenmiş damıtma kabını amonyakla doldurmak bir miktar amonyağın birikmesine neden olursa, tehlikeli basınç oluşmasına neden olur. Bu tehlike damıtma kabının amonyak tankından daha sıcak tutulması ile önlenabilir,

fakat bir emniyet diski de konmalıdır (Çetingöz, 1979; Çebin, 1994).

8.7 Plazma (İyon) Nitrasyonu

Çeliklere uygulanan ileri yüzey işlemleri arasında geniş bir kullanım alanına sahip olanı iyon yada plazma nitrasyon işlemidir. Son yıllarda sadece plazma teknikleri üzerine çok sayıda konferans düzenlenmiş olup, dünyada günümüzde 1500'den fazla plazma nitrasyon işlemi uygulayan tesis olduğu tahmin edilmektedir. Sanayide büyük yer tutmasının sebebi diğer yöntemlere göre pek çok özelliklere sahip olmasıdır. Bunları şöyle sıralayabiliriz;

- İşlem zamanının kısa olması,
- İhmal edilebilir derecede distorsiyon,
- Nitrasyon işleminden sonra ek bir ısıtma işlemi gerektirmemesi,
- Kirlilik probleminin olmaması, düşük elektrik ve gaz sarfiyatı,
- İç yapıda meydana gelen yapıların kontrolünün yapılabilmesi,
- Her türlü çeliğe uygulanabilmesi,
- Üstün ve özellikleri kolayca artırılabilen sert tabakaların elde edilebilmesi,
- Çeşitli maskeleme metodlarının uygulanabilmesi,
- Karışık geometrili parçalarda üniform yüzey sertliği sağlanabilmesi ve
- Ekonomik olması (Çelik ve Karadeniz, 1993).

Plazma nitrasyon işlemi NH_3 atmosferinde gerçekleştirilen geleneksel nitrürlemeye benzer termokimyasal bir yüzey işlemidir. Azot ferritik, östenitik yada temperlenmiş martenzit iç yapılara yayınmayla girerek, yüzeyde çok ince nitrür bileşkelerinin çökmesiyle yüzeyde önemli oranda dayanım artışı meydana getirir. Bu yöntem azot ve hidrojen gaz karışımı bulunan yaklaşık 100-1000 Pa basınç altındaki bir vakum kabındaki elektrik gerilimi ile iyonlaşan gazların katot durumundaki malzeme yüzeyine bombardıman ettirilmesiyle gerçekleşmektedir (Yalabaçoğlu ve Çetinkaya, 2001).

Plazma nitrasyonunda vakum sağlayan bir kap içine iş parçası katot olacak şekilde (negatif kutup) yerleştirilir ve iş parçası ile anot arasına 1000V mertebelerinde doğru akım uygulanır. Bu sayede plazma oluşur. Hidrojen ve azot gazları vakum kabına verildiğinde parça yüzeylerinde (glow- discharge) denilen ve elektronlarla iyonlaşan gaz moleküllerinin parçaya hızla çarpmaları sonucu oluşan mor renkli bir ışıma görülür (Jones vd.,1973). İyonlar çarpması sonucu kinetik enerjilerinin parçaya aktarılması sonucu yüzeyin ısınmasına ve

sıcaklığın düzgün bir şekilde yükselmesine sebep olur. Bu sırada parçanın üzerinden geçen plazma akımı parçayı ısıtmaya yeterlidir ve çoğu kez dıştan ısıtma gerekmemektedir.(Toshkov ve Tonchev,1995) Plazma nitrasyonunun en önemli üstünlüğü, serbest azot atomlarının çelik yüzeylerinden içeri yayınması için, işlem sırasında yüksek azot iyon ve moleküllerinin yüzeye olan kütle transferini arttırmasıdır. Bu sayede yüzey kısa sürede ısınır ve yüzeyden içeriye yayınma daha etkili bir biçimde gerçekleşir. Plazma nitrasyon işleminden sonra parçada iki farklı bölge oluşturmaktadır. En dış kısım beyaz tabaka olarak adlandırılan ϵ (Fe_{2-3}N) ve γ (Fe_4N) den meydana gelen sert ve kırılgan bir yapıdır. Aşınmaya karşı dayanımı arttırıcı ancak gevrek olan bu tabakanın oluşması istenmez. Beyaz tabakanın altında, demirnitür ve alaşım nitrürlerinden oluşan difüzyon tabakası mevcuttur. Bu tabakanın kalınlığı gaz basıncına ve sıcaklığına bağlı olarak kontrol edilebilmektedir (Çelik ve Karadeniz, 1993).

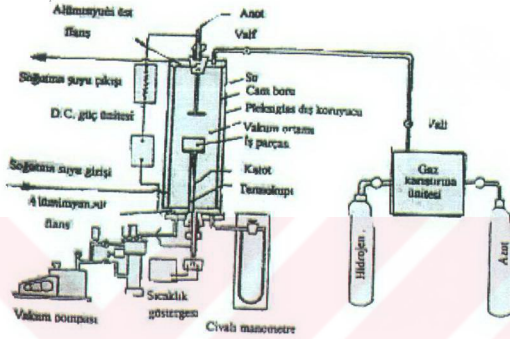
Azotun eriyik halde nitrür bileşikleri olarak bulunduğu difüzyon tabakası elemanın yorulma dayanımına önemli bir katkıda bulunurken, demir esaslı malzemelerde karışık nitrürlerden (Fe_{2-3}N ve Fe_4N) oluşan bileşik tabaka aşınma ve korozyon karakteristiklerine etki eder (Karaoğlu vd.,1997).

Ayrıca azotun seyreltilmesi için kullanılan hidrojen gazının yüzeyi temizleme ve azotun etkinliğini arttırma etkisi işlemin verimini yükseltir. İyon nitrasyonunda metal yüzeyinin azot yayınmasını engelleyen oksit filmlerinden, temizlenmesi özellikle paslanmaz çelik gibi yüksek alaşımlı çeliklerin nitrürlenmesini mümkün hale getirmiştir. İyon nitrasyonunda azotun etkili bir biçimde yüzeyden içeri yayınması iki farklı yaklaşımla açıklanmaya çalışılmaktadır. Bunların ilkinde, yüzeyden sıçratılan Fe atomları ile plazmada var olan azot iyonlarının reaksiyonu sonucu oluşan FeN ve Fe_2N gibi yüksek dereceli nitrürlerin oluştuğu öngörülmekte, daha sonra bunların parça yüzeylerine çökeliş, daha düşük dereceli nitrürlere dönüştükleri ve serbest bıraktıkları azotun malzeme içine doğru yayındığı ileri sürülmektedir. İkinci modelde ise metal yüzeylerinde meydana gelen iyonik bombardıman sonucunda yüzeyde birçok kafes boşlukları ve kafes hataları meydana geldiği ve bu yüzden azotun yayınmasının arttığı iddia edilmektedir (Yalabaçoğlu ve Çetinkaya, 2001).

Nitrasyon yöntemi , teknik açıdan günümüzde bulunan en gelişmiş yöntem olarak ifade edilebilir. Çünkü bu yöntemle nitrür tabakasının büyümesi kontrol altında tutulabilmektedir (Toptaş, 1991; Çebin, 1994).

8.7.1 Plazma Nitrasyon Donanımı

Plazma nitrasyon işleminin gerçekleştirilebileceği donanımın şematik görüntüsü Şekil 8.8'de gösterilmiştir.



Şekil 8.8 Laboratuvar tipi plazma nitrasyon cihazı.

Temel bir plazma nitrasyon sistemi vakumlu kurutma dolabı, güç beslemesi, gaz karışım paneli ve diğer kütle akış kontrollerini içeren bir gaz prosesi sisteminden oluşur. İşletme parçası ve vakum kazanı arasındaki elektriksel izolasyonu sağlamak için izole fırın veya destekli sabitlenmiş parçalar da gereklidir. Dönme zamanını kısaltmak için yardımcı ısıtıcı sistem ve seri soğutma sistemi de eklenebilir.

Karışıklığına göre plazma nitrasyon kontrol sistemleri farklı şekillerde olabilir. Mikro işleyici sistemler genelde bazı parametreleri kontrol etmek amacıyla kullanılır. Bunlara çalışma sıcaklığı, kazanın duvar sıcaklığı, vakum (mutlak basınç) seviyesi, ısıtılı boşalım voltaj ve akımı, yardımcı ısıtma kaynağının voltaj ve akımı ile gaz karışımının bileşimi de dahildir. Vana ve motorları çalıştırmak, durdurmak ve sıralamak için çeşitli giriş ve çıkışları da mikro işleyici kontrol etmektedir (Yalabaçoğlu ve Çetinkaya, 2001).

8.7.2 Plazma Nitrasyonunda Kullanılan Gaz Karışımları

Üç tip gaz çeşidi kullanılmaktadır.

8.7.2.1 Beyaz Tabakanın Oluşmadığı Gaz

%5 veya daha az azot geri kalanı soygaz (Ar) olan karışımdır. Bu bileşimde oluşan bileşik tabaka nital ile dağlandıktan sonra demir nitrürler gözlemlenir. Yüzeyde ise nitrür çökeltilerinin (Cr- Mo- Al- V- Ti) difüze hali gözlenir. Bu gaz bileşimi takım çeliklerinde kullanılır.

8.7.2.2 Gamma Primegas (γ^I)

%15-30 azot ve diğer kısım %70-85 hidrojen olan bileşik gazdır. Bu gaz bileşimi, ince bir monofaz gamma prime (γ^I) tabakası ve Fe_4N kristal yapısı oluşturur. Burada gamma prime kristal yapısı çok ince bir tabakadır (0,0001- 0,0004"). Süre uzun tutulduğu ve yüksek sıcaklıklara çıkıldığında tabakaların kalınlığında artış gözlenecektir. Örneğin nitrasyon uygulanmış çelikler de (Nitr alloy 135-4140) bu tabaka gözlenmektedir.

8.7.2.3 Epsilon Gaz (ϵ)

%60-70 azot, %1-3 CH_4 ve dengeleyici soygazın kullanıldığı bileşik gazdır. Bu gaz bileşimi, monofaz (ϵ) ve ($Fe_{2,3}N$) halinde kristal yapıda yer alır. Fırında parça uzun süre tutulursa tabakada kalınlaşma görülür ve tabaka kalınlığı 0.0001-0,0012" arasında değişim gösterir.

Yüksek sıcaklıklarda istenen kalınlığa çok kısa zamanda geçilir. Bu gaz bileşimi, alaşım elementi içermeyen (Cr, Mo, V, Al, Ti) çeliklere uygulanarak nitrasyon işlemi gerçekleştirilir.

Tabakanın kristal yapı formasyonunun gazın veya banyonun bileşimine bağlı olduğu saptanmıştır. Bu yapılar ne kadar metalurjik açıdan fakirseler de tek fazlı yapıya sahip oldukları için yüzeyi %100 istenen bileşimde tutmakta veya beyaz tabakayı oluşturmaktadırlar.

Bazı gaz karışımları ile yüzey özelliklerinde artış sağlanmaktadır. Plazma nitrasyonuna uğrayan yüzeyler gözeneksizdir. Böylece parça hem aşınmaya hem de korozyona dayanıklı hale gelmektedir (Yalabaçoğlu ve Çetinkaya, 2001).

9. PLAZMA (İYON) NİTRASYONUNUN ENDÜSTRİYEL UYGULAMALARI

9.1 Plazma Nitrasyonunun Endüstriyel Uygulama Örnekleri

Yüzey özelliklerini iyileştirmek amacıyla plazma nitrasyon her malzemeye uygulanmaz. Nitrülenmiş malzemelere işlem sonrası su verme uygulanmadığından malzeme sert nitrür yapıcı elementler içermek zorundadır. Nitrasyon bugün bütün üretim kademelerinde yeterli nitrür yapıcı elementler içeren çelik ve dökme demir malzemelerle sinterlenmiş demir alaşımlarına uygulanabilmektedir (Yalabaçoğlu ve Çetinkaya, 2001). Ayrıca, Ti gibi hafif metaller ancak çok ince sertleştirilmiş tabaka oluşturan nitrasyon malzemesi olabilir (Brading vd.,1992).

Almanya, Fransa, Avusturya ve Japonya'da üretilen plastik işleme makinelerinin silindirleri ve helezonları plazma nitrasyon ile sertleştirilmektedir. Bu parçaların yapımında kullanılan çelikler 31CrMo12, 34CrAlMo5 veya X35CrMo17 gibi plazma nitrasyon çelikleri veya paslanmaz çeliklerdir. 530°C'de 24 saat plazma nitrasyon ile bahsedilen helezonların ömrü, gaz atmosferinde yapılarına göre dikkate değer bir şekilde, çelik tipine bağlı olarak 3-10 kere uzatılmıştır.

Yine 31CrMo12 (En40B) çeliğinden yapılmış toz karıştırma helezonlarının 500°C'de 30 saat iyon nitrasyonu ile yüzey sertliği 890 HV₃₀'a ulaşmış ve tozların sebep olduğu abradisif aşınmaya karşı ömrü artırılmıştır.

Plazma nitrasyon ile tükenmez kalem uç bilyeleri gibi 0,75 mm çapında çok küçük parçalardan tonlarca ağırlığında uzun millere kadar her boyuttaki parçalar nitrürlenebilmektedir. Bir Japon motor fabrikası her ay 50000 küçük dişli ve her ay 60000'den fazla vites çatalını nitrürlemektedir.

Yüksek alaşımlı, paslanmaz ve aside dayanıklı çelikler de plazma nitrasyon için uygundur. Plazma nitrasyon sonrası alaşımsız ve küçük alaşımlı çeliklerin korozyon direnci iyileşirken yüksek alaşımlı çeliklerinki hafifçe azalır. Yüksek hız çeliklerinden yapılmış takımlarda nitrürlenebilir. Nitekim, yüksek hız kobalt çeliğinden (S18-1-2-3) yapılmış modül freze çıkışı bir saat plazma nitrasyonuna tabi tutulduğunda ömrü 4-5 kat artmıştır.

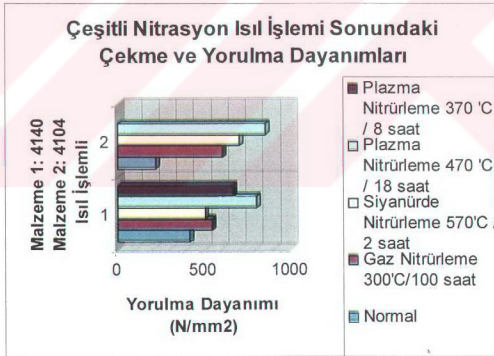
Birçok motor firması, demir veya çelikten mamul dişli, valf, külbitör mili, itici, kam ve krank mili gibi parçaları plazma nitrasyon ile sertleştirmektedir. Ck45 (En8) karbonlu çelikten imal edilen otomobil krank milleri gaz ortamında nitrürlendiklerinde yağda veya suda su vermek

gerekmektedir. Su vermenin sebep olduğu distorsiyondan dolayı bu millerin yorulma dayanımları %10-30 oranında düşmektedir.

Otomobil kardan kavraması üretimi için AISI M2 ve ASP23 yüksek hız çeliğinden yapılan şekillendirme kalıplarının 750HV₁₀ dolayına sertleştirilip temperlendikten sonra 1 saat hidrojen ortamında (temiz bir yüzey sağlamak için) ve sonra 2 saat %25N₂ + %75H₂ karışım gazı altında 510°C'de plazma nitrasyon uygulaması ile 0,12 mm derinliğinde 1200HV₁₀ dolayında yüzey sertliği elde edilmiştir. Gaz ortamında nitrülenen aynı kalıplarla 4000 parça üretilirken plazma nitrasyonda aynı kalıpla 30000 parça üretilmiştir.

Plazma nitrasyon işlemi, küçük elektrik motorlarının rotorları üzerindeki alüminyum parçaların şekillendirilmesinde kullanılan sıcak iş takım çeliğinden mamul kalıplara (X40CrMoV51)(H13), derin çekme, ekstrizyon, eğme, zımbalama, işleminde kullanılan AISD serisi soğuk iş takım çeliğinden mamul parçalara (X155CrVMo12), özel amaçlı takım çelikleri olan Maraging çeliklerine başarılı bir şekilde uygulanmaktadır.

Şekil 9.1'de çeşitli nitrasyon ısıt işlemleri sonundaki çekme ve yorulma dayanımları verilmektedir.



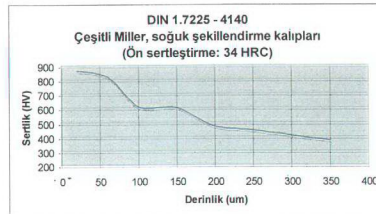
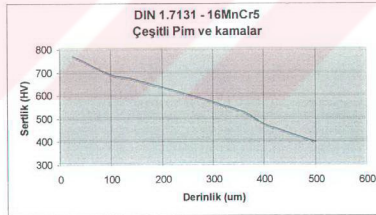
Şekil 9.1 Çeşitli Nitrasyon Isıl İşlemi Sonundaki Çekme Ve Yorulma Dayanımları

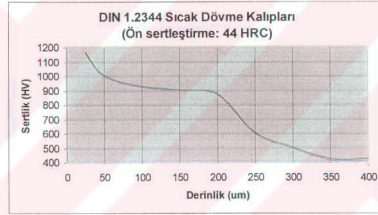
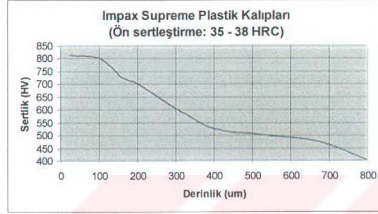
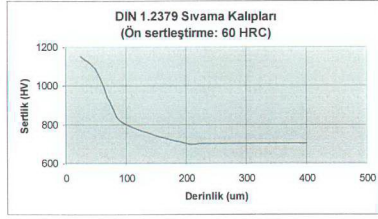
Nitrülenmemiş H13 çeliğinden imal edilen sıcak dövme kalıpları ile yapılan ömür deneylerinde dövme sayısı 2000 civarında iken 460-480°C sıcaklıkta, 10 Torr basınç altında, %20 N₂ + %80H₂ gaz karışımında, 10 saat plazma nitrüleme yapılan kalıplarda aynı şartlarda ömür 18000 civarına çıkmıştır. Bu, plazma nitrülemenin kalıp ömrünü 9-10 kat artırdığını göstermektedir.

Enjeksiyon kalıp makinesi endüstrisinde distribütör (4140), plastik kalıp endüstrisinde sıkıştırma kalıbı ve büyük enjeksiyon kalıbı (P20), basma endüstrisinde büyük çekme kalıpları (D2), dövme endüstrisinde sıcak iş kalıpları ve alüminyum ekstrüzyon endüstrisinde ekstrüder kalıbı (H13) yapımında kullanılır.

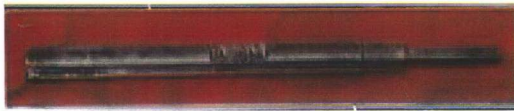
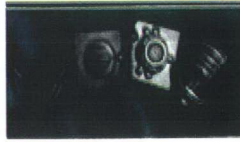
Plastik endüstrisinde (yüksek aşınma, doldurulmuş plastik uygulamaları) kalıpların krom kaplanması yerine, vida ve gömleklerin biyometal sert yüzeylerinin yerine, pelet kalıpları; otomotiv endüstrisinde valf, krank mili, dişli, dövme kalıpları; savunma endüstrisinde silah namlusu, top kuyruk kaması, roket atış rayı; kağıt endüstrisinde kesme ve ayırma bıçağı, doktor bıçağı, kıvrım haddeleri yapımında kullanılır.

Dingil başlığının geleneksel nitrokarbürleme işlemi %28'in üzerinde ıskarta oranına sebep olmaktadır. Otomotiv transmisyonunda birlikte çalışan komponent parçalarda boyut toleranslarının çok küçük olması problemidir. Yüksek ıskarta oranı distorsiyon sonucudur. İndüksiyonda sertleştirilen parça deney sonuçları çok iyidir ama parçanın işlemi için satın alınan gerçek üretim ekipmanı ıskarta oranını %40 kadar yüksek olmasına sebep olur. Plazma nitrasyon deneyleri sonucunda ise, distorsiyonun sebep olduğu %2 ıskartadan daha küçük bir değerlendirme aşınma önlenir. Burada yaklaşık 0,005 mm kalınlığında bir $\epsilon\text{-Fe}_{2-3}\text{N}$ tabakası oluşmaktadır (Yalabaçoğlu ve Çetinkaya, 2001). Şekil 9.2'de plazma nitrasyon işleminin çeşitli uygulamalardaki sonuçları verilmektedir.





Şekil 9.2 Plazma nitrasyon işleminin çeşitli uygulamalardaki sonuçları (Keneş,2003).





Şekil 9.3 Plazma nitrürlenmiş endüstriyel malzeme örnekleri (Otomotiv, hassas döküm, takım ve metal kalıp endüstrileri) (İstanbul Isıl İşlem A.Ş.)

9.2 Plazma Nitrasyonunun Geleneksel Nitrasyon Yöntemleri İle Karşılaştırılması

Parçalar, karakteristik olarak aşınmaya dayanımı için nitrürlenir. Geleneksel nitrasyon yöntemleri ile karşılaştırıldığında plazma nitrasyonun avantajları ve dezavantajları aşağıda verilmektedir.

9.2.1 Plazma Nitrasyonunun Avantajları

- a) İşlem zamanının azalması,
- b) Distorsiyon azalması,
- c) Son bitirme işlemini en aza indirme veya ortadan kaldırma,
- d) Düşük maliyetli malzemelerde metalurjik özellikleri daha fazla artırma,
- e) Aşırı aşınma dayanımı yeteneği,
- f) Karışık geometrilerde üniform tabaka sağlama yeteneği,
- g) İşletme maliyetinin azalması,
- h) Çevre kirliliğinin olmaması,
- i) Sadece iş parçası ısıtıldığında önemli oranda enerji tasarrufu sağlanması,
- j) Reaksiyon fırınında hareketli parçalar olmadığından bakım masraflarının düşüklüğü,
- k) Parça boyut ve ağırlığı bakımından sorun olmaması.

Gaz ortamından nitrürlenmede parça yüzeyinde 25µm kalınlıkta γ' ve ϵ fazlarının bir karışımından oluşan beyaz tabaka elde edilir. Bu tür çok fazlı tabaka farklı kafes yapısı

arasındaki geçiş bölgesinde yüksek iç gerilmelere sebep olduğundan kırılmalıdır. Ancak plazma nitrasyon ile elde edilen beyaz tabaka genellikle tek fazlı (γ') olup daha sünektir. Üstelik bu beyaz tabakanın kalınlığı arttıkça sünekliliği de artmaktadır. Bundan dolayı, plazma nitrasyon ile elde edilen yüzeylerin korozyon ve aşınma dayanımları daha yüksek olmaktadır .

Bu avantajlar, plazma nitrasyon diğer yüzey sertleştirme teknikleri kadar iyi olan geleneksel nitrasyon yöntemlerine karşı üstün kılar. Bu avantajlar, beyaz tabaka bileşiminin kontrol edilebilmesiyle elde edilmiştir. Geleneksel sıvı ve gaz nitrasyondan farklı olarak, plazma nitrasyon şekillenen beyaz tabaka kristal yapısını basit olarak kontrol etmek mümkündür. Bu, gaz karışımı bileşimini ayarlayarak yapılır (Rollinsky vd.,2000).

9.2.2 Plazma Nitrasyonunun Dezavantajları

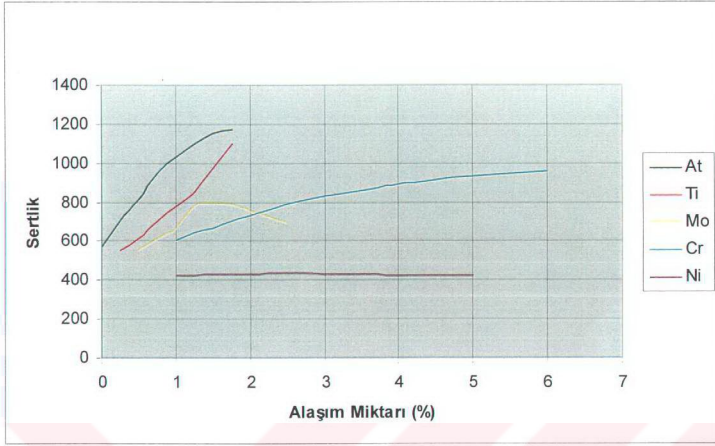
- a) İlk yatırım masrafının büyüklüğü,
- b) Isıtma sırasında akım boşalmasını önlemek için parçaların kesinlikle temiz ve yağsız olması,
- c) Çok farklı kesitlerin homojen nitrülenememesi (Topbaş, 1993; Yalabaçoğlu ve Çetinkaya, 2001).
- d) Plazma nitrasyon uygulanmış paslanmaz çelikler erozif ve abrazif aşınmaya karşı direnç gösterirken korozyon direnci kötüleşmektedir (Sarı ve Tülbentçi, 1997)

10. NİTRÜRLENEBİLİRLİK

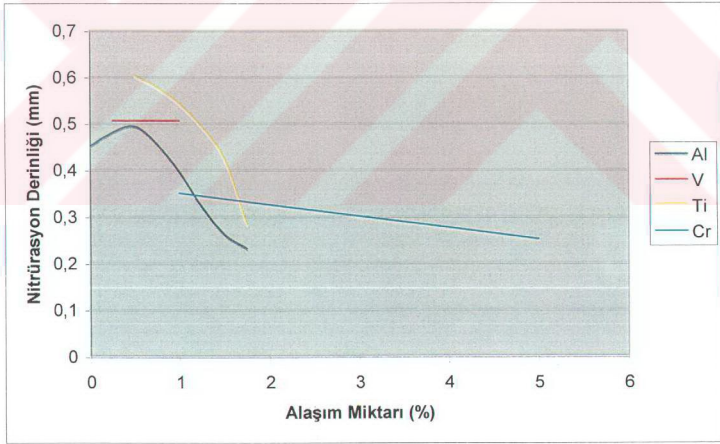
Nitrürlenebilirlik kavramı, bir taraftan çeliğin azotu absorbe edebilme, diğer taraftan ise azotun sağladığı sertlik artışı içerir (Çebin, 1994). Çeliklerde nitrürlenebilirlik kavramı en çok içerdikleri alaşım elementleri ile ilgilidir (Akgül, 1990). Yüksek yüzey sertliği istenen nitrürlenecek bir çeliğin bileşimi üzerinde karar verilebileceği zaman, seçim genellikle Al, Cr, Mo gibi nitrür oluşturan elementler üzerinde yapılır. Şekil 10.1 bu elementlerin diğer elementlerle beraber nitrasyon sonrası yüzey sertliğine nasıl etki ettiklerini göstermektedir. En büyük etkiye sahip Al'i çok yakın olarak Ti takip eder ve sonra Cr, Mo ve V gelir. Ni'li çeliklerde sade karbonlu çeliklerde olduğu gibi aynı yüzey sertliği (400HV) elde edilmiştir. Çeşitli alaşım elementlerini içeren çeliklerde alaşım elementlerinin ayrı olarak kullanılmaları halinde yüksek sertlik değerleri elde edilir.

Nitrasyon derinliği Şekil 10.2'den görüldüğü gibi alaşım elementleri miktarındaki artışla azalır. Sertlik artışında en büyük etkiye sahip iki element Al ve Ti aynı zamanda azotun difüzyonuna en fazla geciktirici etkiyi gösterir. Bu elementlerin miktarı arttıkça, azotun çeliğin bünyesine alınması zorlaşır. Optimum sertlik ve nitrasyon derinliği sağlamak için önerilen Al içeriği %1 civarındadır ve bu Al ile alaşımlandırılmış nitrasyon çeliklerinde normal olarak kullanılan bir değerdir. Alaşım elementlerinin azotun difüzyonunu engelleyici etki göstermelerinin nedeni, azotla beraber nitrürler oluşturmalarıdır. Karbonun da azotun difüzyonuna kuvvetli bir engelleyici etkisi vardır.

Mikroyapı, çeliğin nitrürlenebilirliğine aşağıdaki iki yolla etki eder. Yüksek oranda serbest ferritli mikroyapı azotun difüzyonu için, düşük karbür içerikli bir mikroyapı ise hem azotun difüzyonu hem de sertlik için uygundur. Alaşımlı çeliklere genellikle, ısıtım işlemi uygulanabilir halde, yani su verilmiş ve 550-560°C'de temperlenmiş koşulda nitrasyon uygulanır. Bu sıcaklık aralığında, çökelme ve aynı zamanda karbürlerin birleşmesi söz konusudur. Karbür çökmesi tercihen tane sınırlarında başlar. Buralarda, difüzyonu engelleyici etki ortaya çıkar, çünkü difüzyon tane sınırlarında daha hızlı yer alan tane sınırlarında nitrürler ve karbonitrürler tarafından engellenmektedirler. En 29 B çeliğinin ısıtım işlemi sırasında kullanılan temperleme sıcaklığının bu çeliğin nitrasyon derinliğine ve sertliğine etkisi Şekil 10.3'de gösterilmektedir.

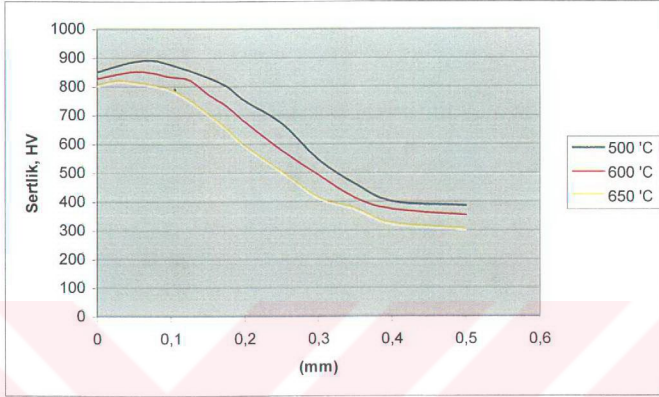


Şekil 10.1 Alaşım elementlerinin %0.35 C, %0.30 Si, %0.70 Mn çeliğinin nitrasyonu sonrası sertliğine etkisi.

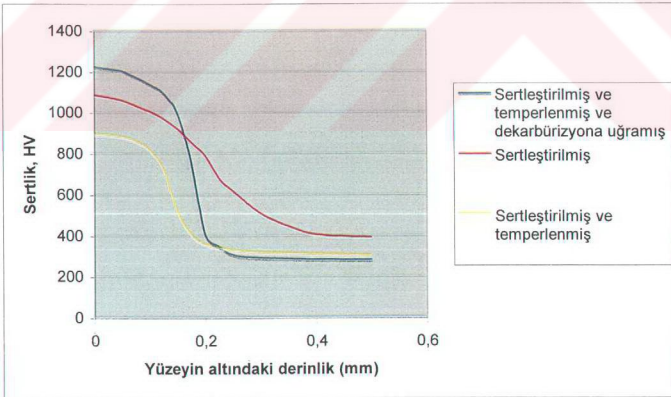


Şekil 10.2 Alaşım elementlerinin 400HV sertlik değerinde ölçülen nitrasyon derinliğine etkisi. Nitrasyon işlemi 520°C'de 8 saat.

Yapılan deneyler bu çeliğin , (a) indüksiyonla sertleştirme ve 180°C de temperlemeden ve (b) yüzey dekarbürizasyonundan sonraki nitrülenebilirliğinin su verme ve temperleme işlemi sonrasına oranla daha iyi olduğunu göstermiştir (Şekil 10.4).



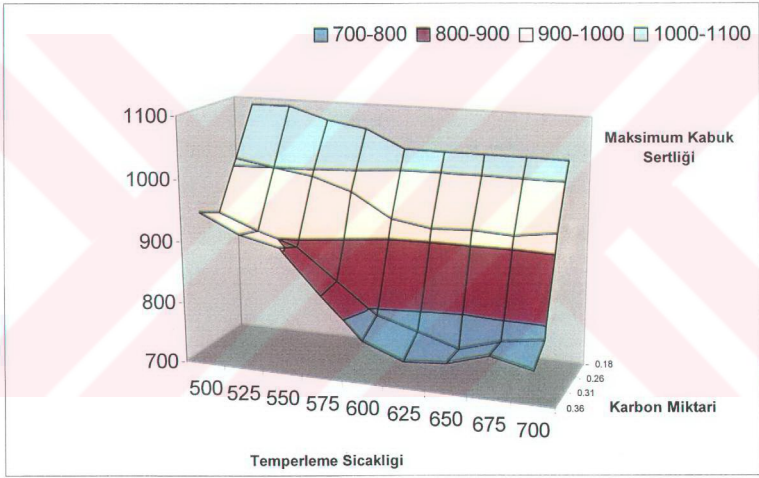
Şekil 10.3 Temperleme sıcaklığının 510°C'de 60 saat nitrileme işlemine tabi tutulan En 29B çeliğinin sertlik ve nitasyon derinliğine etkisi.



Şekil 10.4 En 29 B çeliğinin 520°C'de 8 saat iyon nitasyonundan sonraki mikroyapısının yüzey sertliği ve nitasyon derinliğine etkisi.

% 3 Cr, % 0.50 Mn içeren ϵ karbon oranları % 0.20 ile % 0.37 arası değişen ısıtma işlemi uygulanabilir çeliklerin nitrasyonuna ve çeşitli sıcaklıklarda temperleme ilişkileri Şekil 10.5'de özetlenmiştir. Bu şekilden açıkça görüldüğü gibi çeliğin yüksek temperleme sıcaklıklarındaki davranışı karbon miktarına bağlıdır.

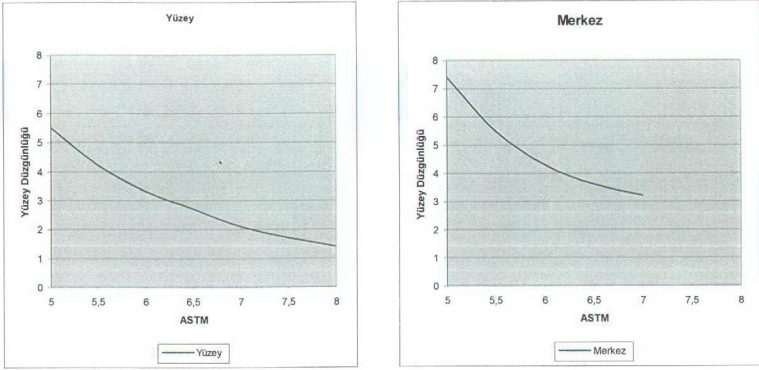
Tane boyutu ve karbon dağılımı, nitrasyondan sonra elde edilen yüzey düzgünlüğüne etki eder. Tane boyutunu arttırmakla nitrürler bantlar halinde tane sınırları boyunca çökerler. Karbürler tane sınırlarında önceden çökelmişlerse azot atomları karbürlerle karbonitrür teşkil ederek boyutça artış gösterirler. Sonuç olarak karbonitrürler yüzey tabakasındaki her bir tek tanenin yer değiştirmesine ve buna bağlı olarak beyaz tabakanın deforme olmasına veya çatlamasına neden olurlar.



Şekil 10.5 Nitrasyon öncesi temperleme sıcaklığı karbon miktarı ve nitrasyon sonrası sertlik arasındaki ilişki. Temperleme süresi 100 saat. Çelik bileşim (baz olarak) %3 Cr ve %0.5 Mo.

Nitrasyon uygulanmış SIS 2940 (150 çelik No:3) çelik numunelerinin yüzey düzgünlüklerinin ölçümü göstermiştir ki, tane boyutu ve yüzey düzgünlüğü arasında bir ilişki vardır. Şekil 10.6'da gösterildiği gibi merkezden alınan nitrürlenmiş numunelerin yüzey düzgünlüğü yüzeyden alınan oranla daha kötüdür, çünkü merkez bölgesi sertleşme sırasında yavaşça soğuduğu için yüzeye yakın bölgelere oranla çok fazla sayıda tane sınırı çökelti partikülü içermektedir. Nitrasyon sonrası merkezi kısımlarda çok iyi yüzey düzgünlüğü istenirse,

sertleşme ve temperlemeyi kaba talaş kaldırmadan sonra uygulamak bir getiri sağlayabilir.



Şekil 10.6 Nitrürlenmiş SIS 2940 çeliğinin yüzey merkezinden alınmış numunelerinde yüzey düzgünlüğünün tane boyutunun fonksiyonu olarak değişimi.

Çeliğin ısıtılması veya sıcak işlemi sırasında, yüzey tabakası karbonsuzlaşma olabilir. Bu durumda tane büyümesi söz konusudur. Nitrasyon işleminde böyle bir olayın gerçekleşmesi, yukarıda anlatılan sorunları doğurur. Talaş kaldırma toleransı yetersiz ise, nitrasyon sırasında yüzeyin kabarıp pul pul dökülmesi söz konusudur.

Gerilim giderme çok yüksek sıcaklıklarda yapılırsa, yüzey tabakasında kolonsal tanelerin oluşmasıyla beraber yeniden kristalleşme meydana gelebilir. Bu tür tane büyümesi de yüzeyin kaba olmasına ve pul pul dökülmesine neden olur.

Az alaşımlı çeliklerde nitrasyon süresinin nitrasyon derinliğine etkisi, aşağıdaki basit difüzyon bağıntısından çıkarılabilir.

$$DN = k.t$$

Burada,

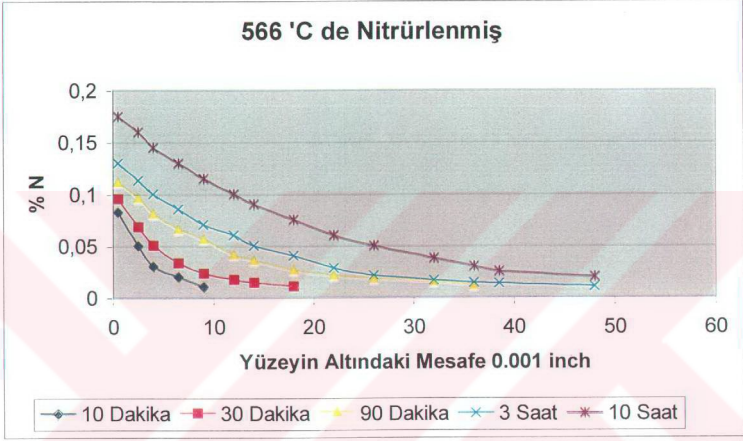
DN : Nitrasyon derinliği

K : Bir sabit (sıcaklık ve malzemenin bir fonksiyonu)

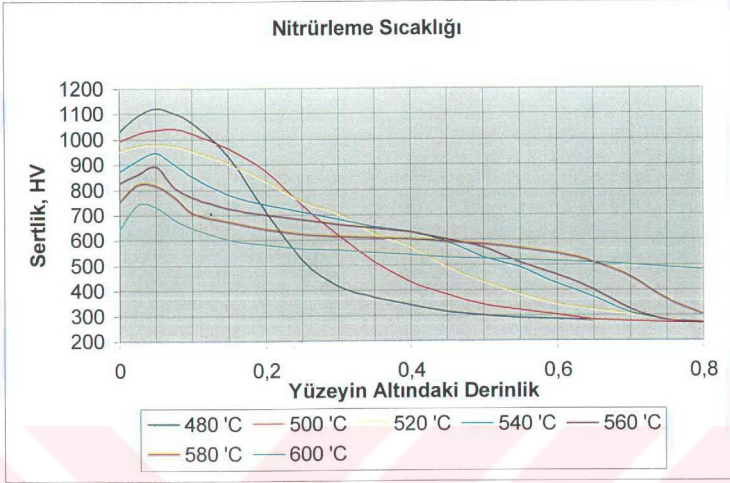
t : Saat olarak zaman

%0.15 C'lu bir çeliğin tuz banyosunda nitrasyonundan sonra yüzeyin altında farklı

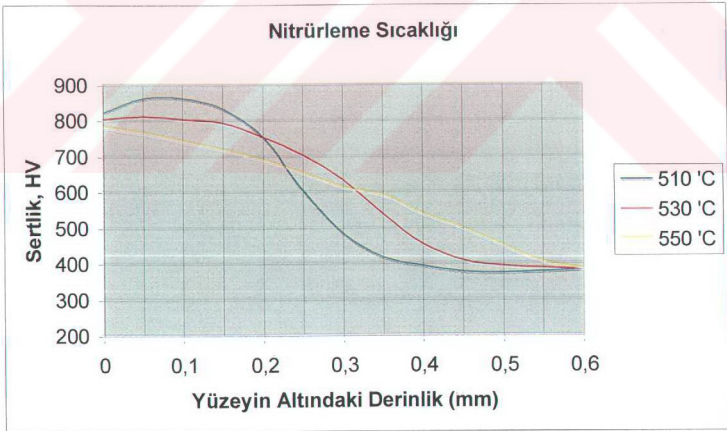
derinliklerde elde edilen azot miktarı değerleri Şekil 10.7’de verilmektedir. Hesaplamalar sabit bir azot miktarını varsayarsa, bu değer yukarıdaki eşitliğin geçerliliğini kanıtlamaktadır. Esas olarak, nitrasyon sıcaklığının etkisi çok önemlidir. Sıcaklık ne kadar düşük ise, yüzeyin sertliği o denli yüksek ancak, aynı zamanda nitrasyon derinliği de o kadar düşüktür. Bu özellikler, özellikle alaşımlı çelikler için geçerli olup Şekil 10.8 ve 10.9’da En 41 B ve En 29 B çeliklerine ait örneklerde gösterilmektedir.



Şekil 10.7 Karbon asidi yöntemini kullanarak 566°C’de nitrülenmiş 1015 çeliğinde nitrasyon süresinin fonksiyonu olarak azot gradyanı.



Şekil 10.8 Nitasyon sıcaklığının Bs905M39, EN41Bçeliğinin nitasyon derinliğine ve sertliğine etkisi. Nitasyon süresi 60 saat.



Şekil 10.9 Nitasyon sıcaklığının En 29 B çeliğinin nitasyon derinliğine ve sertliğine etkisi. Nitasyon süresi 60 saat.

Nitrasyon sırasında işlemi kontrol eden diğer bir faktör azot aktivasyonudur. Difüzyon kanunlarına göre, yüzeyin altında yayılan azot miktarı sıcaklık ve çeliğin dış tabakalarında oluşturulan azot miktarıyla kontrol edilir. Tuz banyosunda nitrasyon işlemindeki azot aktivasyonu ise, daha önce bahsedildiği gibi %45 civarında tutulması gereken siyanür miktarı sayesinde kontrol edilebilir. Gaz nitrasyonu sırasındaki azot aktivitesinin kontrolü, gazın ayrışma ve akış hızı ile kontrol edilir. Bu konuda aşağıdaki bağıntı kullanılabilir. Sonuç olarak azot aktivasyonunun birim zamanda çelik yüzeyinde ayrışan çok sayıda amonyak moleküllerinin bir fonksiyonu olduğu ileri sürülebilir. Sabit bir basınç ve sıcaklıktaki ayrışma derecesi akış hızı arttıkça azalır, ancak ürün artar. Bu nedenle uygulamalarda, azot miktarının ön mukayesesi gazın ayrışma derecesiyle, kontrolü ise akış hızıyla yapılır. Böylece düşük bir ayrışma derecesi veren yüksek akış hızlarıyla yüksek değerlerde azot aktivitesi elde edilir.

$$A_N = a.v$$

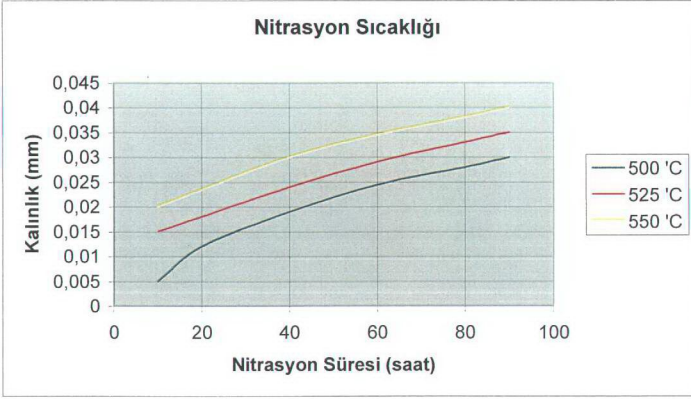
A_N : Atomit azotun aktivitesi

a : Ayrışma derecesi

v : Akış hızı

Akış hızı çok düşük ise, kutuya bir fan ilave edilmediği sürece, nitrasyon kutusundaki türbülans yetersizdir. Bu durum kutu içindeki farklı bölgelerde kaba bir nitrasyona neden olur. Ayrışma derecesi sıcaklık arttıkça artar. Yani sıcaklığın yükselmesiyle sabit yüksek akış hızı ile yüksek bir ayrışma derecesi elde edilir.

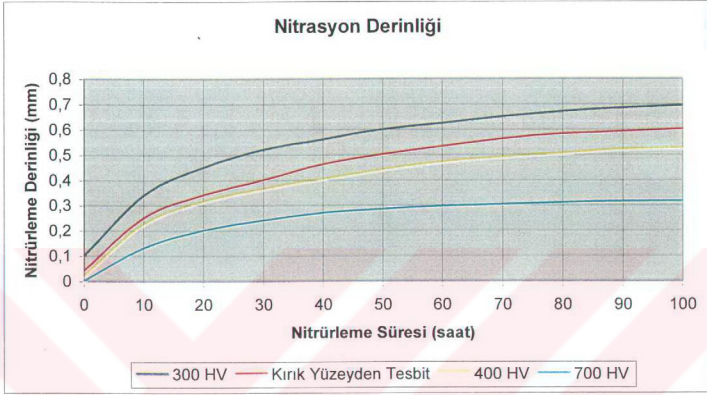
İşlemin başında düşük bir ayrışma derecesi (yüksek gaz akış hızı) uygulanır ve nitrasyon yapılacak parça çok hızlı bir şekilde mevcut havayla temas ettirilerek yüzey tabakasında yüksek bir azot miktarı sağlanır. %30'luk bir ayrışma derecesiyle beyaz tabakanın kalınlığı Şekil 10.10'da gösterildiği gibi artış gösterir. 0.02 mm. veya daha fazla tabaka kalınlıkları, kabarık pul pul dökülme tehlikesi yüzünden istenmez. Bu nedenle tabaka kalınlığının uygun olup olmadığı kontrol edilmelidir. Fan içermeyen fırınlarda bile kabaca %50 ayrışma derecesi ile nitrasyon işlemi yapılabilir. En yüksek ayrışma gerekli ise, fan içeren fırınlar kullanılmalı veya nitrasyon sıcaklığı artırılmalıdır. 510°C de ayrışma derecesinde %30'dan %50'ye bir artış olması amonyak miktarının %25 azalmasını ifade eder. Ayrışma derecesi %50-60 a kadar arttırılırsa gaz nitrasyonu uygulanmış parçaların ömürlerinde büyük bir artış sağlanabilir (Çebin,1994).



Şekil 10.10 BS905M39, En 41 B çeliğinde beyaz tabakanın kalınlığının, nitrasyon süresinin ve sıcaklığın fonksiyonu olarak değişimi.

11. NİTRASYON DERİNLİĞİNİN SAPTANMASI

DN şeklinde gösterilen nitrasyon derinliği SIS 117009'a göre nitrasyona uğramış yüzeyin enine kesiti üzerinde sertlik (HV) ölçümleri alınarak saptanır. Setliğin sınırı yaklaşık 400 HV'dir.



Şekil 11.1 BS905M39, En 41 B çeliğinin nitrasyon derinliğinin 510°C'de nitrasyon süresinin fonksiyonu olarak değişimi

Nitrasyon derinliği yüzey sertleştirme uygulanan çeliklerde kırılmış bir yüzeyin yardımıyla saptanabilir. Şekil 11.1 BS905M39 (En 41 B) çeliği için tayin edilen değerler ile 400 HV de saptanan değerler arasındaki uyumluluğu göstermektedir (Çebini, 1994).

ISO/R 683/x-1970 standardına göre Çizelge 12.3, 12.4 ve 12.5 nitrasyon için düşünülen çelik tiplerini göstermektedir.

Çizelge 12.2 Endüstriyel nitrasyon çelikleri

TİP	SINIF	KOMPOZİSYON							
		C	Si	Mn	Ni	Cr	Al	Mo	V
LK	1	0,50	0,35	0,65	0,00	1,60	1,10	0,20	0,00
	3	0,40	0,35	0,65	0,00	1,60	1,10	0,20	0,00
	5	0,30	0,35	0,65	0,00	1,60	1,10	0,20	0,00
	7	0,20	0,35	0,65	0,00	1,60	1,10	0,20	0,00
GK	3	0,35	0,30	0,50	0,00	2,00	0,00	0,25	0,15
	5	0,25	0,30	0,50	0,00	2,00	0,00	0,25	0,15
	7	0,18	0,30	0,50	0,00	2,00	0,00	0,25	0,15
CM	5	0,30	0,30	0,60	0,60	1,00	0,00	1,20	0,00
HCM	5	0,30	0,30	0,45	0,50	3,00	0,00	0,40	0,00
	7	0,20	0,30	0,45	0,50	3,00	0,00	0,40	0,00

Çizelge 12.3 ISO/R 683/x-1970 Standardına göre nitrasyon çelikleri

Çelik tipi	%C	%Si	%Mn	%P max	%S max	%Al	%Cr	%Mo	%Ni max	%V
1	0,29-0,35	0,15-0,40	0,40-0,70	0,03	0,035	-	2,8-3,3	0,3-0,5	0,3	-
2	0,35-0,42	0,15-0,40	0,40-0,70	0,03	0,035	-	3,0-3,5	0,8-1,1	-	0,15-0,25
3	0,30-0,37	0,20-0,50	0,50-0,80	0,03	0,035	0,8-1-2	1,0-1,3	0,15-0,25	-	-
4	0,38-0,45	0,20-0,50	0,50-0,80	0,03	0,035	0,8-1-2	1,5-1,8	0,25-0,4	-	-

Çizelge 12.4 Standartlaştırılmış nitrasyon çelikleri

ISO	Nitr alloy	B5	En	DIN	SIS
1	-	722M24	29B	32CrMoV12	2240
2	-	897M39	40C	32CrMoV1210	-
3	G	-	-	34CrAlMo5	2940
4	135M	905M39	41B	-	2940

Çizelge 12.5 ISO'ya göre nitrasyon çeliklerinin mekanik özellikleri

Çelik Tipi	Çap mm	Re min kgf/mm ²	Rm min kgf/mm ²	A min	KCU kgf/cm ²	Nitrürlenmiş Yüzey Sertliği	
						HV min	HR15N
1	<16	90	110-130	10	5	800	92
	>16,≤40	85	105-125	10	6	800	92
	>40,≤40	80	100-120	11	6	800	92
	>100,≤160	75	95-115	12	6	800	92
	>160,≤250	70	90-110	12	6	800	92
2	≤70	110	130-150	8	3	800	92
3	≤70	60	80-95	14	5	950	93,5
4	≤100	75	95-115	12	4	950	93,5
	>100,≤160	65	85-100	14	5	950	93,5

Re : Akma gerilmesi (%0.20)

Rm : Çekme dayanımı

A : Kırılma sonrası % uzama

KCU : Darbe dayanımı (U. Çentikli)

HV : Vickers sertlik numarası

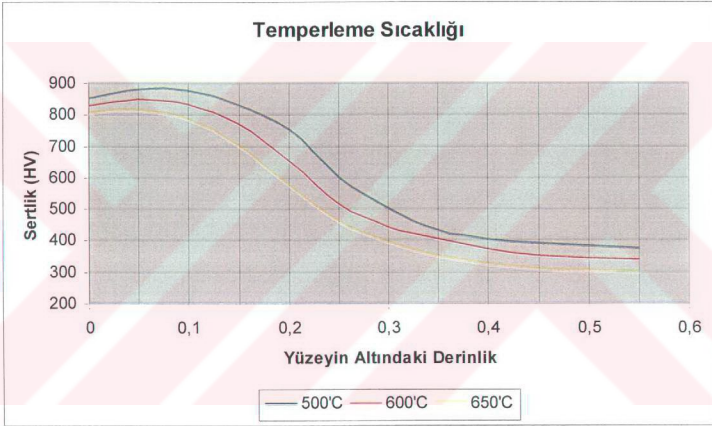
HR15N : 15 kg'lık yüzde Rockwell yüzey (N skalası) sertliği (Çebin,1994).

13. NİTRASYONA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

13.1 ALAŞIM ELEMENTLERİNİN NİTRASYONA ETKİLERİ

13.1.1 Cr, Mo'li Çelikler

Bunlar yaklaşık %3 Cr, %5 Mo içerirler ve karbon oranları %0.20 ile %0.40 arasında değişir. En yaygın olarak kullanılanlarından biri Şekil 13.1 'de sertlik dağılımı gösterilen En 29 B (150 çelik no.1) çeliğidir. Bu çelik esas olarak şaftlar ve dişli çarklar gibi büyük parçalarda kullanılmaktadır. Molibden nitrat oluşumundaki katkısına ek olarak, nitrürleme sırasındaki kırılma riskini de azaltır.



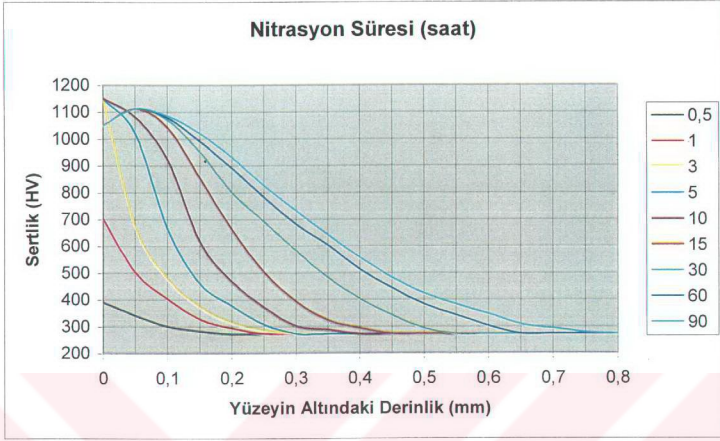
Şekil 13.1 Temperleme sıcaklığının En 29 B çeliğinin sertlik ve sertleşme derinliğine etkisi
510°C'de 60 saat nitrürleme

13.1.2 Al ile Alaşımlandırılmış Çelikler

Bu çeliklerde, çok yüksek derecede sertlik ve çok iyi aşınma direnci olan nitratlanma meydana gelir. En yaygın tiplerinden biri olan BS905M39 (En 41 B) çeliğinin nitrasyon işlemiyle, 1100 HV'lık bir yüzey sertliği sağlanabilmektedir. Eğer çok yüksek bir yüzey sertliği gerekli ise 5 saatten daha kısa bir nitrasyon süresi tavsiye edilmektedir. (Şekil 13.2)

Nitrasyon edilmiş malzemelerde haddeden çekilme özelliği çok düşüktür. Al içeren çelikler

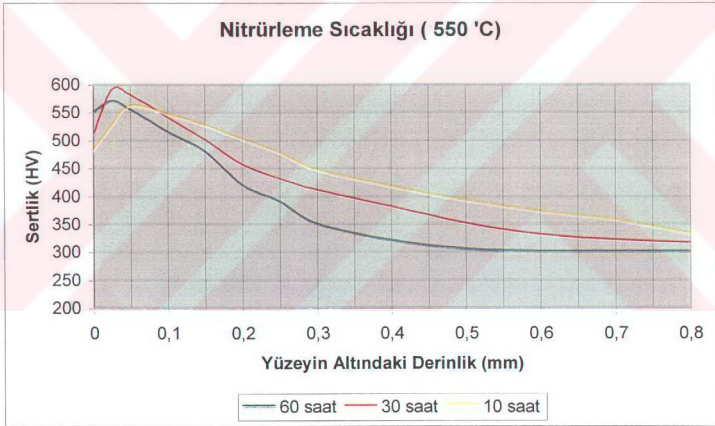
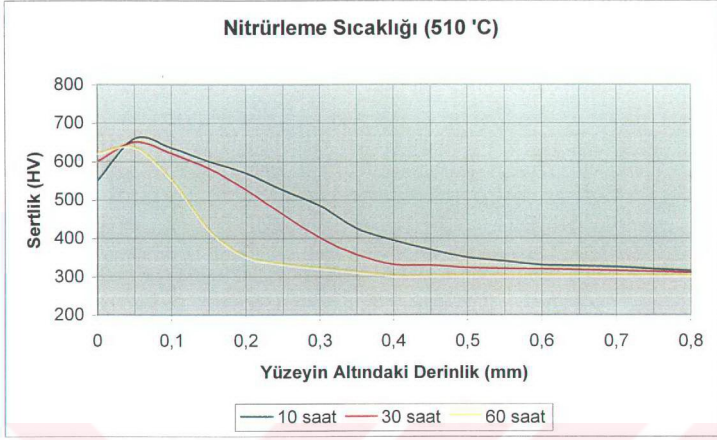
seçilirken bu sakıncayı da göz önünde bulundurmak gerekir.



Şekil 13.2 BS905M39 çeliğinin 510°C'de 0.5-90 saat nitrülenmesi sonrası yüzey tabakasındaki sertlik dağılımı

13.1.3 Isıl İşlem Uygulanabilen Çelikler

Isıl işlem uygulanabilen BS708A37 (En 148) ve BS817M40 (En 24) çeliklerinin ilk hali sertleştirilmiş ve temperlenmiş ise nitrasyondan sonra 650 HV'lık bir yüzey sertliği elde edilmektedir. Eğer nitrasyon sıcaklığı 550°C'ye yükseltirirse sertlik 550 HV'ye düşer. Şekil 13.3'deki grafikte BS768A37 için nitrüleme sonrası yüzey tabakasındaki sertlik dağılımı görülmektedir.



Şekil 13.3 BS768A37 Çeliğinin gaz nitrasyonu

13.1.4 Alaşımsız Yüzey Sertleştirme İşlemi Uygulanan Çelikler ve Yalın Karbonlu Çelikler

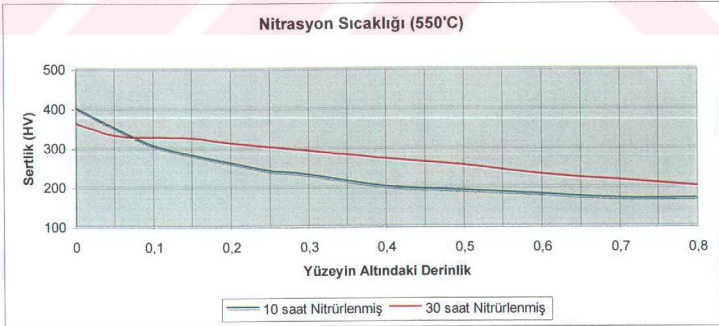
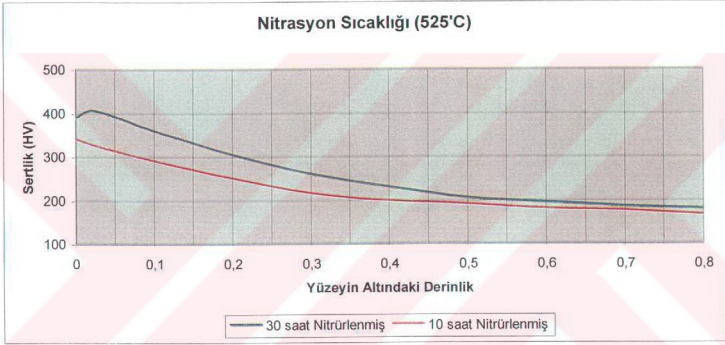
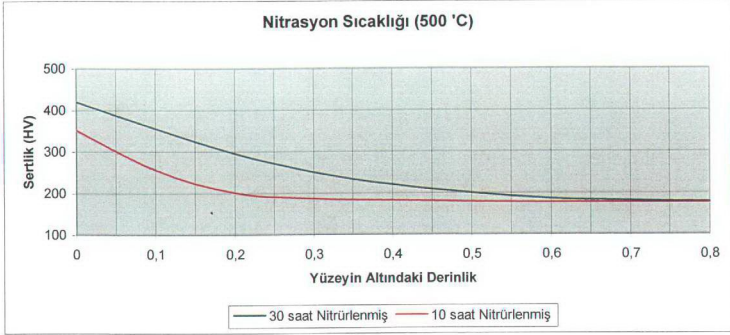
Bu tür çelikler gaz nitrasyonundan sonra Şekil 13.4'de görülen bir sertlik eğrisi gösterirler.

Tuz banyosunda nitrasyondan veya ilave hidrokarbonlu gaz nitrasyonundan sonra elde edilen sertlik eğrileri kabaca aynıdır. Ancak yüzeyin en dış tabakasındaki sertlik bir miktar düşüktür.

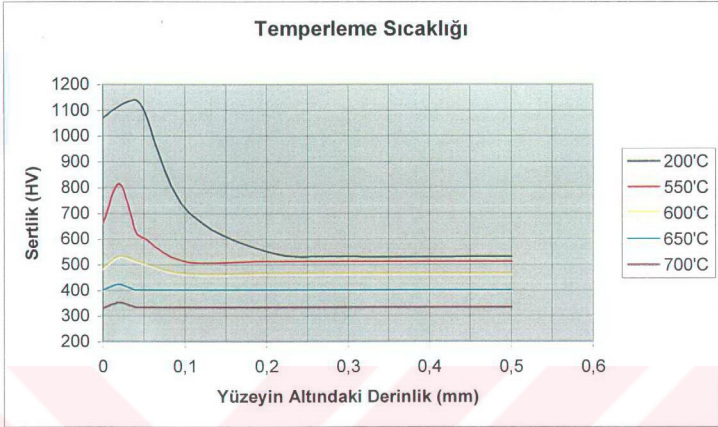
13.1.5 Takım Çelikleri

%5-15 Cr içeren düşük alaşımlı takım çeliklerinde (A_2 , D_2 ve D_6 tipleri) sertleştirme sonrası çeliğin sadece 200°C 'de temperlenmesi koşuluyla en yüksek sertlik sağlanabilmektedir. Bunların yüzey sertlikleri Şekil 13.5 ve 13.6'da görüldüğü gibi 1200 HV'dir.

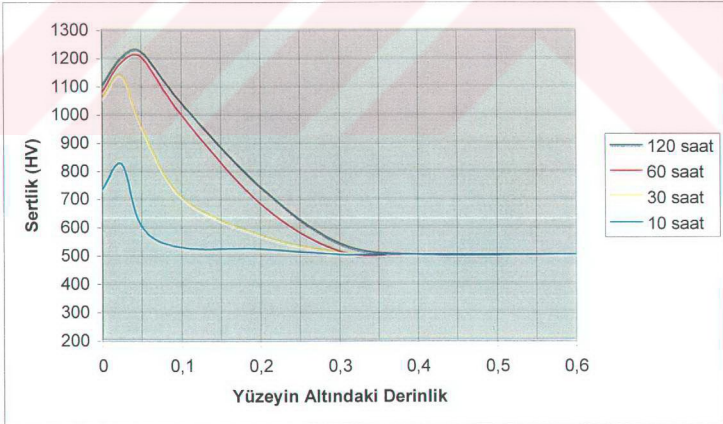
Örneğin, eğer sertleştirme sıcaklığı 1500°C 'ye yükseltirirse nitrasyon sırasında ikinci sertleşme meydana gelir. Bu durumda çekirdek sertliğinin, artan nitrasyonla düşmesi söz konusudur. (Şekil 13.7'ye bakınız) Nitrasyon öncesi 510°C 'de uygulanacak bir temperleme işlemi, nitrasyon derinliğini veya yüzey sertliğini etkilemektedir. D_6 çeliği 1050°C 'de sertleştirme sonrası, D_2 çeliğinin nitrasyon sonrasındaki davranışını aynen göstermektedir.



Şekil 13.4 Nitrasyon sıcaklığının SIS1370 (%0.15 C'lu) çeliğinin sertlik ve nitrasyon derinliğine etkisi



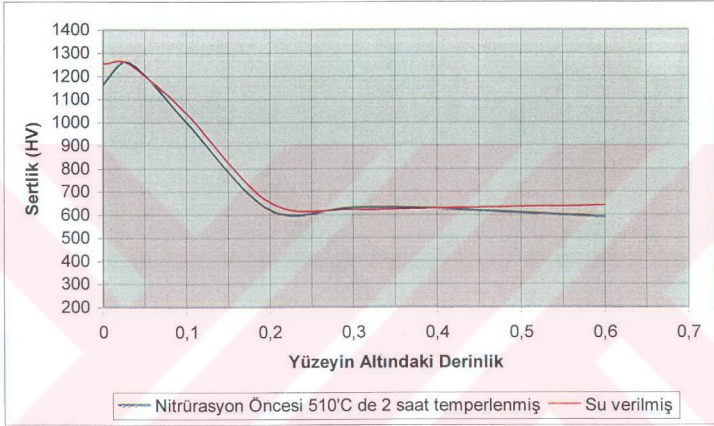
Şekil 13.5 D₆ çeliğinin 980°C’de sertleştirme ve sonrasında farklı sıcaklıklarda temperlenme sonrası 510°C’de 10 saat süreli gaz nitrasyonu



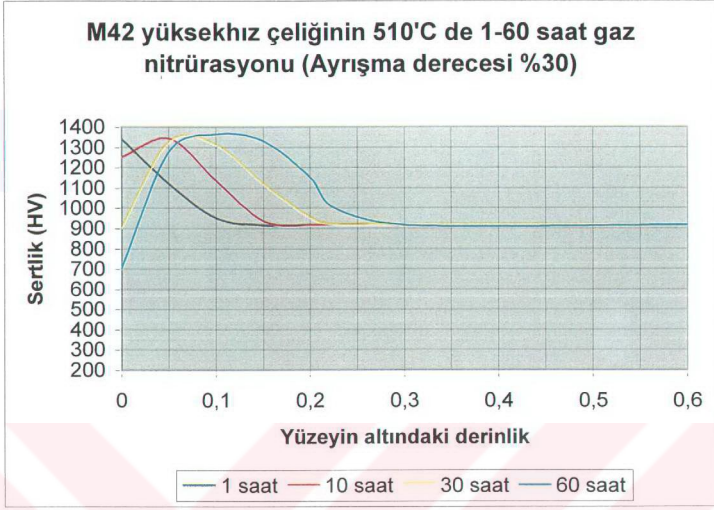
Şekil 13.6 D₆ çeliğini 980°C’de sertleştirme ve takiben 550°C’de temperlenme sonrası 590°C’de 10-120 saat gaz nitrasyonu

13.1.6 Yüksek Hız Takım Çelikleri

Yüksek hız çeliklerinden yapılmış takımalar da normal olarak 10-60 dakika tuz banyosunda nitrasyona tabi tutulurlar. Gaz nitrasyonunun uygulanması durumunda bu süre 10 saati geçmemelidir. Bundan daha uzun bir süre uygulanırsa en dış tabaka yumuşak olur. (Şekil 13.7) 1300 HV'den daha yüksek elde edilen sertlik değeri, bir çok amaç için çok yüksek olabilir. Takımlara böyle hallerde nitrasyon sonrası 550-600°C sıcaklık aralığında temperleme uygulayarak toklukta artış sağlanabilir.



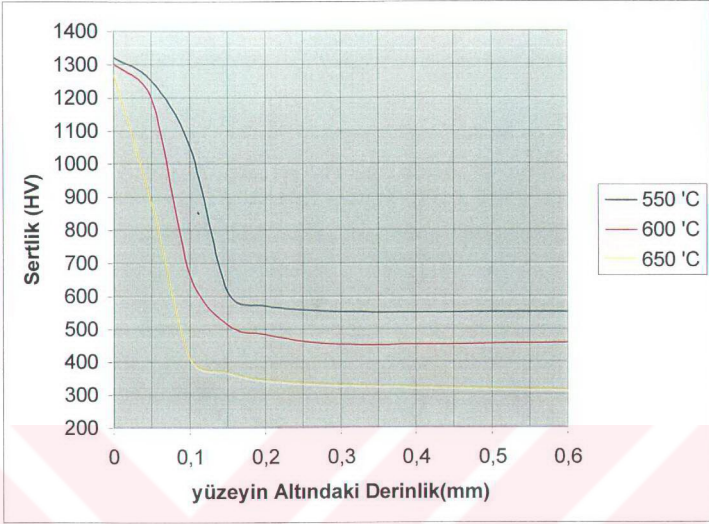
Şekil 13.7 510°C'de 2 saat temperleme işlemi uygulamalı ve uygulamasız D2 çeliğinin 510°C'de 30 saat süreli gaz nitrasyonu. Numunelere ilk önce 1050°C'de yağda su verilmiştir.



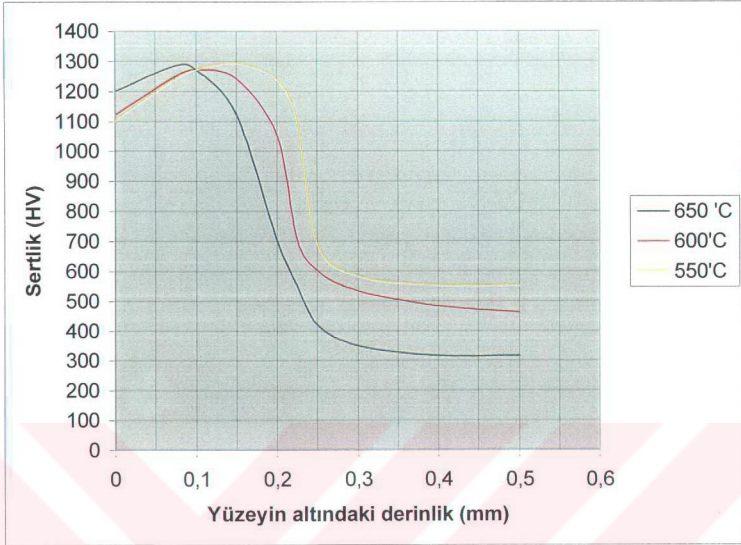
Şekil 13.8 M42 yüksek hız çeliğinin 510°C'de 1-60 gaz nitrasyonu. Ayrışma derecesi %30

13.1.7 Sıcak İş Takım Çelikleri

Bu tip çeliklerin nitrasyon sonrası yüzey sertlikleri normal olarak 1100 ve 1300 HV olacak şekilde nitrasyon işlemi uygulanır. Yüksek alaşım miktarından ötürü bu çeliklerin nitrasyon derinliği krom çeliklerinde olduğu gibi oldukça düşüktür. Çelikler normal olarak nitrasyon sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklarda temperlendikleri için çekirdeğin sertliği nitrasyon sırasında azalma göstermez. Şekil 13.8 ve 13.9'da gösterildiği gibi temperleme sıcaklığının H13 çeliğinin nitrasyon 510°C ve 525°C'de yüzey sertliğini düşürmeden uygulanabilir. Bu çelikten yapılan takımlar, hem soğuk, hem de sıcak iş kullanımı için büyük ölçüde nitrasyona tabi tutulurlar.



Şekil 13.9 H13 çeliğinin sertleştirilmesi ve bunu takiben farklı sıcaklıklarda temperlenmesinden sonra gaz nitrasyonu



Şekil 13.10 H13 çeliğini sertleştirme ve takiben farklı sıcaklıklarda temperlenmesinden sonra 525°C'de 30 saat gaz nitrasyonu

13.1.8 Paslanmaz Çelikler

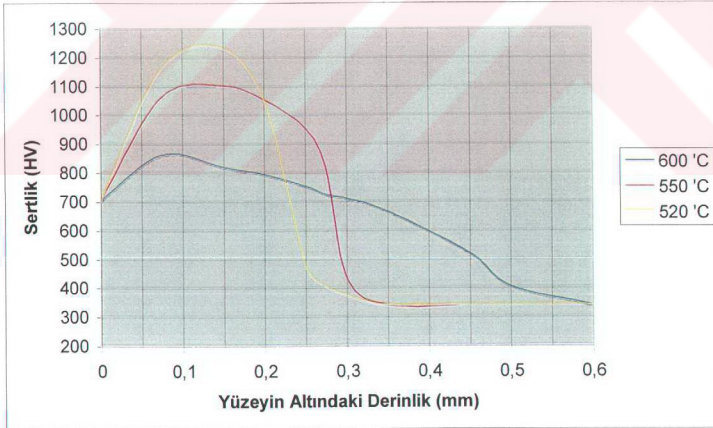
Paslanmaz çeliklere özel ön işlem olmaksızın nitrürleme işlemi uygulanamaz. Çünkü çeliğin atmosferdeki oksijen ile teması sonucu oluşan kromoksit tabakası, azotun çeliğin yüzeyinden içeri doğru difüzyonunu engeller. Martenzitik türde paslanmaz çeliklerde bu oksit filmi ortadan kaldırılabılır veya nitrasyon işleminden hemen önce hafif bir kum taşlamayla inceltilir.

Aynı işlem 18/8 tipi paslanmaz çelikler ve benzerlerinde bir dereceye kadar uygulanabilir. Eğer bu çeliklerde daha iyi bir sonuç alınmak istenirse aşağıdaki yöntemlerden herhangi biri uygulanmalıdır.

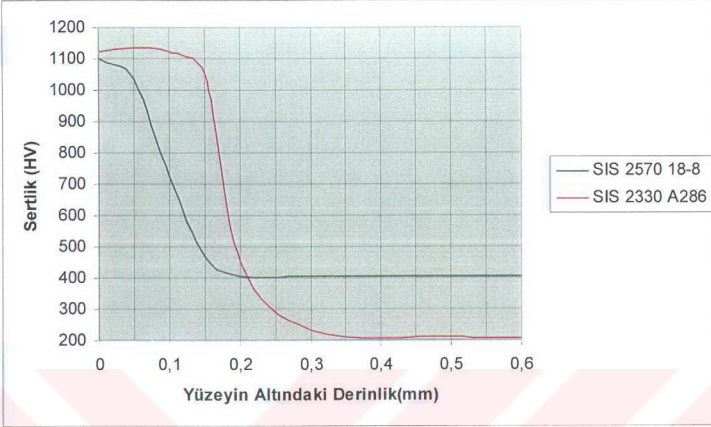
1. 70°C'deki %70'lik HCl (hacimce) içinde temizleme ve sonra su ile yıkamak.
2. 70°C'deki %0.7 primer çinkofosfat içeren ortofosforik asit (hacimce) içinde temizlemek.
Su ile yıkamaya gerek yoktur.
3. %10'luk sıcak sülfürik asit içinde temizleme, suda yıkama ve 0.3 µ'lik kaplama kalınlığı verecek bir bakır-siyanür banyosunda bakır kaplama işlemi yapmak.

Paslanmaz çeliklere diğer çelikler için kullanılanlardan daha yüksek sıcaklıklarda nitrasyon uygulanır. Martenzitik paslanmaz çelikler için bu sıcaklıklar 520-550°C, austenitik paslanmaz çelikler için ise 570-620°C'dir. Bu işlemlerde fırın ısıtılmasından önce fırının içindeki havanın boşaltılması gerekmektedir.

Şekil 13.11 sürtünmeye dayanıklı %13 Cr'lu çeliğin 520-600°C arasında 60 saat süren nitrasyon deneylerinden elde edilen sonuçları göstermektedir. Şekil 13.12 18/8 tipi ve A286 çeliğinin 600°C'de 60 saat nitrasyon sonrası sertlik eğrilerini göstermektedir.



Şekil 13.11 18/8 ve A286 çeliklerinin 600°C de 60 saat gaz nitrasyonu

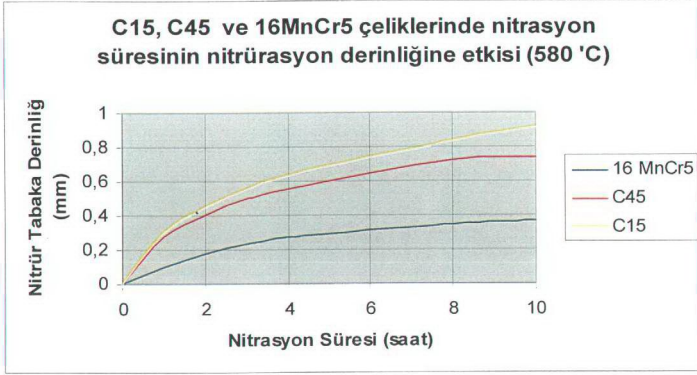


Şekil 13.12 18/8 ve A286 çeliklerinin 600°C’de 60 saat gaz nitrasyonu

Nitrasyon sonucu paslanmaya karşı dirençte büyük ölçüde düşme görülür. Dolayısıyla, korozyon direnci özellikleri için seçilmiş bir paslanmaz çeliğe, nitrasyon uygulanıp uygulanmaması konusu şüphelidir. Bununla beraber sürünmeye karşı dayanıklı bir çelik olarak kullanılan A286 çeliği nitrasyon için uygundur. Nitrasyon işlemi sonucu ostenitik çeliklerin nitrasyon tabakası hafifçe manyetik hale gelebilir. Bunun nedeni, demir nitrürün (Fe_4N) ferromanyetik olması ve nitrasyon tabakasındaki ostenitin ferrite dönüşmesidir (Çebin, 1994).

13.2 Zamanın Etkisi

Nitrasyon kalınlığının, nitrasyon süresi ve alaşım miktarına bağlılık gösterdiği bilinen bir durumdur. Nitrür oluşumunda bir hacim artışı meydana geldiği için kristal kafesi zorlamakta ve difüzyona engel olmaktadır. Böylece nitrasyon tabakası belli bir sınıra ulaşmaktadır. Diğer şartları sabit tutarak, nitrasyon tabakası için belli bir derinlik elde etmenin işlem süresine bağlı olduğu söylenebilir.



Şekil 13.13 C15, C45 ve 16MnCr5 çeliklerinde nitrasyon süresinin nitrasyon derinliğine etkisi (580° C de)

Şekil 12.13'de 16MnCr5, C15 ve C45 çeliklerindeki işlem süresiyle nitrasyon tabakasının kalınlığının değişimi görülmektedir. Tabakanın kalınlığı belli bir sınıra doğru gitmektedir. Bu sınırın alaşımlı çeliklerde daha ince bir derinlik olduğu ve kısa sürede bu değere erişildiği açıkça görülmüştür. Alaşımsız çeliklerde daha derin olan nüfuziyete daha uzun zaman sonra ulaşılmaktadır.

13.3 Banyo Bileşimi

Siyanür banyosunu havalandırılmasıyla siyanat oluşturulabilir.



Denklemden görülen CN aslında çelik yüzeyine yayınmaya hazır durumdaki C ve N atomlarıdır. Şu halde, banyoyu havalandırarak siyanat oluşturmak, difüzyona hazır, aktif N ve C elde etmek demektir. Fakat düzensiz sonuçlar verebileceği için, siyanat miktarını sınırlamak gerekmektedir. Çünkü, çok aktif olduğundan olay aniden ve şiddetli bir şekilde meydana gelebilir. Bu amaçla, küçük miktarlarda siyanür ilave etmek mümkündür. Sıvı nitrasyonda özellikle Na, K siyanürleri kullanılır ve siyanat oranının %42-48 olması istenir.

13.4 Sıcaklığın Etkisi

Göz önüne alınması gereken ikinci bir nokta ise, sıcaklığın difüzyona olan etkisidir.

Difüzyonun artması ile yüksek sıcaklıklar sert nitrür içeren elemanlarında çözünmesine neden olurlar. Bu durumda eskisi kadar çok nitrit olmadığı için artık difüzyonu da fazla etki etmezler ve artmasına sebep olurlar. O halde nitrasyon zonunun daha kalın olması beklenen bir sonuçtur. Bu durum daha çok gaz nitrasyonu için geçerlidir, çünkü sıvı nitrasyon ancak 570°C ve daha aşağı sıcaklıklarda yapılır.

Sıcaklığın yükselmesiyle AlN gibi sağlam nitritler çözünmeye başlar. Bu nedenle nitrasyon nüfuziyeti artmaktadır. Fakat bu durumun sertliği düşürmesi de beklenebilir, çünkü sertliği sağlayan en önemli unsurlardan biri olan nitrürlerin etkisi azalmaktadır. Şu halde, yüksek sıcaklıklarda da, daha derin tabaka elde edilmesine karşılık sertlikte bir azalma meydana gelmektedir (Bal, 1992).



14. BİR PARÇANIN NİTRASYON İŞLEMİNE HAZIRLANMASI

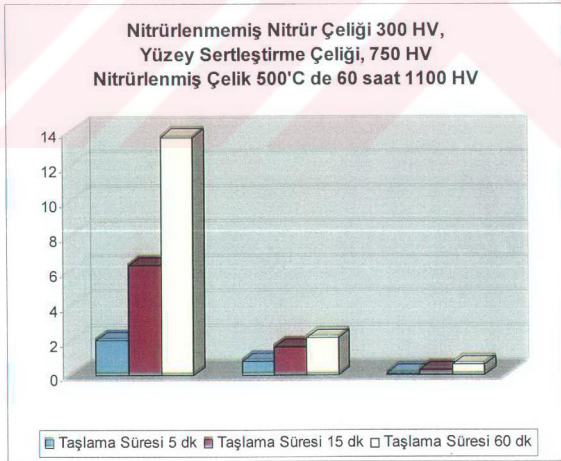
- a. Parça sıcak dövülmüş ya da tornada işlenerek yapılmışsa, yüzey düzgünlüğünün önemszenmesi gereklidir. Düzgün olmayan bir yüzey, nitrüleme işlemi sonrası bir takım sorunlara neden olmaktadır (beyaz tabakanın pul pul dökülmesi ve çatlaması gibi) .
- b. Isıl işlem, sertleştirme ve temperleme işlemleri istenilen dayanım değerlerini sağlamalıdır. Isıl işlem sırasında tane boyutunun büyümemesine özel bir önem gösterilmelidir, yoksa işlem sonrası (nitrasyon) çok pürüzlü ve çatlamaya hazır bir yapı elde edilir. Bunun için minimum sertleştirme sıcaklığı ve süre önerilmektedir.
- c. Isıl işlem sonrası parçaya nihai şekli verilir ve yüzey pürüzlülüğü en aza indirilir.
- d. Nitrülenecek parçalar çok iyi temizlenmeli ve yağdan arındırılmalıdır. Parça üzerinde herhangi bir toz ya da tufal belirtisi olmamalıdır.

Nitrülenmeyecek tüm yüzeyler elektrolitik bir kalay filmiyle korunur. Bu koruyucu yüzey tabaka işlem sıcaklığında eridiğinde, yüzey gerilimi nedeniyle yüzeyde kalır. Bu film azotun çelik yüzeyine yayınmasına engel olur. Kalay film kalınlığı 0.01-0.015 mm olmalıdır. Tersı durumda, ergiyen kalay nitrülenecek bölgelere yayılabilir.

15. NİTRASYON UYGULANMIŞ ÇELİKLERİN ÖZELLİKLERİ

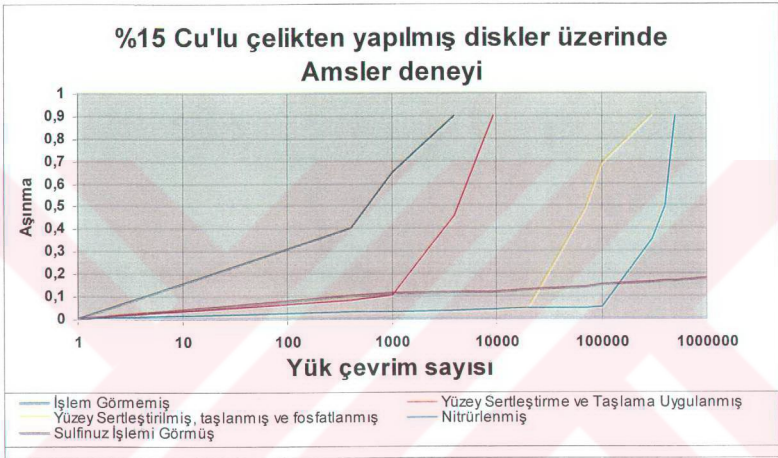
15.1 Aşınma Direnci

Çeliklerin aşınma direnci sertlik artışıyla beraber artma gösterir. Nitrasyondaki aşınma direnci beyaz tabakayla birlikte artmaktadır. Burada asıl önemli olan faktör beyaz tabakanın bir tür yağlayıcı etkisi göstererek sürtünme katsayısını düşürmesidir. Nitrasyon uygulanmış çeliklerin dış yüzeyinde oluşan beyaz tabaka yüzeydeki azot konsantrasyonuna bağlı olarak nitrürlerden ibaret bir tabakadır metal nitrürler bu tabakanın altında çok ince dağılmış olarak bulunurlar (Demirkaya,1998). ‘Aşınma Direnci’ kavramını tanımlamak zor olduğu için, bu konuda herhangi bir genellemeye karşı bir ikaz gerekir. Bir kesici kenarın sertliği belli bir değeri aşarsa, kenarın küçük parçaları kopar ve işleme (talaş kaldırma) sürdükçe kenar körlenerek aşınma meydana gelir. Nitrürlenmiş tabaka bu şekilde çok kolay parçalanma eğilimi gösterir. Çizikler aşınmaya karşı nitrasyon işleminin uzun sürede herhangi bir gelişme sağlayacağı konusu belirgin değildir. Taşlama şeklinde aşınmaya karşı nitrasyon tavsiye edilmemektedir. Şekil 15.1’te farklı sertliklerdeki çelikler üzerinde iri çelik parçalarıyla yapılan kum taşlama sonucu elde edilen aşınma değerleri verilmektedir. Bu şekilden açıkça görüldüğü gibi en düşük aşınma nitrürlenmiş çelikte görülmektedir.



Şekil 15.1 Nitrülenmemiş, yüzeyi sertleştirilmiş ve nitrürlenmiş deney numunelerinin çelik parçalarla taşlanması sırasındaki aşınma kaybı.

Nitrürleme işlemiyle meydana gelen esas avantajlar sürtünme aşınmasını azaltıcı yöndedir. Çünkü nitrürleme sayesinde sürtünme katsayısı düşürülür, böylece nitrürlenmiş tabakanın dökülmesi önlenmiş olur (Karamış,1991). Bu konuda daha ileri bir gelişme, pratik deneyler ve laboratuvar çalışmalarından kanıtlandığı gibi, sulfünüz işlemiyle sağlanabilir. % 0,15 C'dan yapılmış ve birbirlerine karşı 440 ve 400 rpm hızda dönen iki diskli içeren bir Amsler makinasında yapılan aşınma deneyleri sürecinde elde edilen değerler Şekil 15.2'de verilmektedir.



Şekil 15.2 Farklı işlemlere tabi tutulan %15 C'lu çelikten yapılmış diskler üzerinde Amsler deneyi. Yükleme 20kp

Sulfünüz işlemine tabi tutulan numuneler, hem yüzey sertleştirme işlemi, hem de nitrürleme uygulanmış numunelere oranla, çok iyi özellik göstermektedirler. Tabakanın dökülmesi, Şekil 15.2'de görüldüğü gibi eğrilerin eğimlerinin belirgin biçimde değiştirdikleri noktada başlamaktadır. Sulfünüz işlemi görmüş numuneler, başlangıç kademelerinde, siyah yüzey kaplamanın sürekli aşınması yüzünden yüzey sertleştirme veya nitrasyon uygulanmış çeliklere oranla daha fazla aşınma göstermişlerdir.

Nitrürlenmiş çelikler, belli koşullar altında yağlamaya gerek kalmadan çalışabilirler. Bu özellik, özellikle sulfünüz işlemi görmüş çeliklerde kendini göstermektedir. Bu tür karakteristik, iki deney çubuğunun iki adet sertleştirilmiş V çeneleri arasında 300 rpm hızlarında döndürüldüğü bir Faville-Levally makinasında denenmiştir. Bu deneyde basınç,

yüzeyin parçalanıp dökülmesine dek ağır ağır arttırılır. Deneyler 0,15 C çeliğinde yapılmış ve yağlanmış numunelerle yapıldığında, işlem görmemiş çubuğun 380 kp'lik bir yükte aşındığı görülmüştür. Sulfünüz işlemine tabi tutulmuş çubuk ise, makinanın maksimum yükleme kapasitesinde, örneğin 1140 kp'da bu tür bir özellik göstermemiştir. Yağlanmamış numunelerde uygun deneyler yapıldığında, işlem görmemiş numuneler 250 kp'lik yükte aşınmıştır. Sulfünüz işlemi görmüş çubukla yapılan deney 630 kp'lik bir yüklemde kesilme durmadan kalmıştır, çünkü numune sürünme sonucu uzamıştır.

Aşınarak parçalanma eğilimi gösteren yüzey sertleştirme işlemi uygulanmış çelik parçalarda deneyler yapılmıştır. Örnek olarak 400 rpm hızda 7 dakikalık bir süre dönmeden sonra shafta karşı aşınma yapmaya başlayan Cr-Ni çeliğinden yapılmış bir hadde çemberinden bahsedilebilir. 550°C'de 20 saat sulfünüz işleminden sonra hadde çemberi aşınma olmaksızın 2 saat çalışılabilir. Oluşturulan sürtünme ısısı yüzünden makina daha sonra ağır olarak çalışmaya başlamıştır. Oda sıcaklığına soğutma sonrası hareketli deneye tekrar başlanmıştır (Toptaş, 1991).

15.2 Temperlemeye Karşı Yüksek Direnç ve Yüksek Sıcaklıklarda Yüksek Sertlik

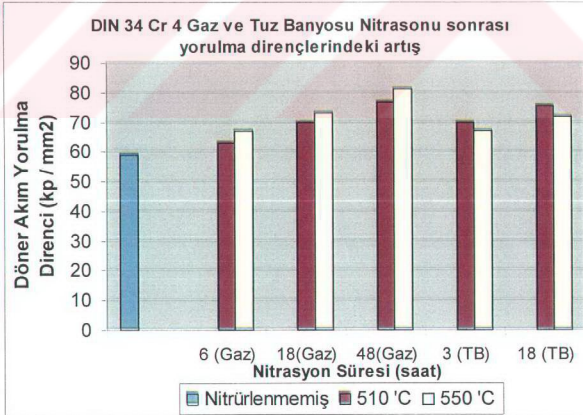
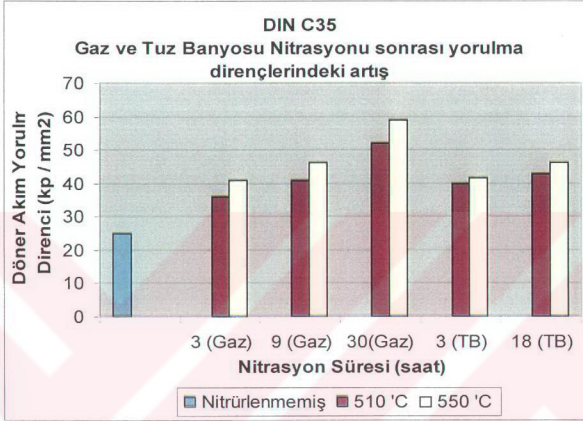
Temperlemeye karşı yüksek direnç ve yüksek sıcaklıklarda yüksek sertlik, nitrasyon çeliklerinin önemli özellikleridir. Çelik, nitrasyondan sonra oda sıcaklığında herhangi bir sertlik kaybı söz konusu olmaksızın, nitrürleme yapılan sıcaklığa ve bazı hallerde ise daha yüksek sıcaklığa kadar ısıtılabilir. İzleyen şekillerde sertliğin yüksek sıcaklıklarda da oldukça yüksek olduğunu göstermektedir. Mükemmel aşınma direnci ve yüksek sıcaklıkta sertlik kombinasyonu gösteren nitrürlenmiş çelikler, sıcak iş kalıpları olarak kullanıldıklarında, iyi sonuçlar vermektedirler. Ancak, çeliğin seçiminin ve nitrürleme süresinin çalışma koşullarına uyacak şekilde iyi ayarlanması gerekir (Toptaş, 1991).

15.3 Yüksek Yorulma Mukavemeti ve Düşük Çentik Hassasiyeti

Nitrasyon çelikleri, yüksek yorulma dayanımı ve düşük çentik hassasiyetiyle karakterize edilirler. Yorulma dayanımında artış sade karbonlu çelik ve düşük alaşımlı çelikler için çok yüksektir ve bu genellikle ve bu genellikle nitrürleme süresinin artmasıyla artar. Maksimum çekme dayanımı 90 kp/mm² olan standartlaştırılmış nitrasyon çelikleri yaklaşık 45 kp/mm² lik bir yorulma dayanımına sahiptirler. Bu değer 10 mm çapında çok iyi taşlanmış deney çubukları üzerinde eğilme deneyleri sırasında saptanmıştır. 510°C'de 20 saat gaz nitrasyonu ile yorulma dayanımı kabaca 56 kp/mm² değerine çıkar. 60 saat süren nitrasyon

sonucu 10^7 yük çevrimlerinde 62 kp/mm^2 lik bir yorulma dayanımı elde edilir.

DIN35 ve 34Cr4 çeliğinden yapılmış düz yüzeyli deney çubuklarının tuz banyosu ve gaz nitrasyonlarına ilişkin deneyler, eğilmedeki yorulma dayanımı bakımından gaz nitrasyonunun ise ikinci çelik için bir miktar daha iyi olduğunu göstermiştir. Bununla beraber, aralarındaki fark o kadar azdır ki, hangi nitrasyon yönteminin uygulanması gerektiğinin pek önemi yoktur.

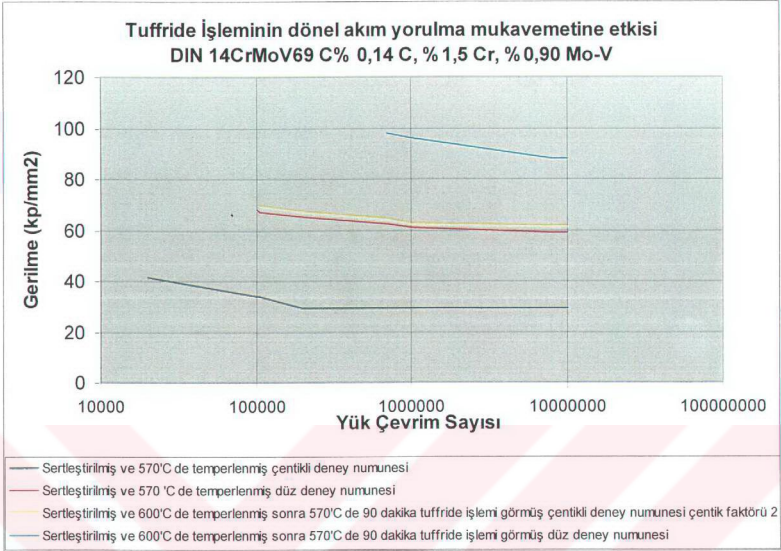


Şekil 15.3 Sertleştirilmiş ve temperlenmiş çelikten yapılmış 5,9 mm çaplı deney numunelerinin, 510°C ve 550°C de gaz nitrasyonu ve tuz banyosunda nitrasyondan sonraki yorulma dayanımlarındaki artış

Yorulma dayanımı üzerinde çentğin aşırı derecede etkisi vardır. Bu tip etki çelikte nitrasyon sırasında oluşturulan basma gerilmeleriyle azaltılır. Bu nedenle, örneğin, cıvatalar gibi çok yaygın uygulamaları yüzünden çentiklenmeleri söz konusu olan makina parçalarının yorulma dayanımlarının artırılması amaçlandığında, nitrasyon işlemi bu konuda çok yararlı olabilir. Şekil 15.4’de sertleştirilmiş ve temperlenmiş DIN 14CrMoV69 çeliğinden yapılmış deney çubuklarında, çentik etkisinin sonucu olarak yorulma dayanımı yarı yarıya azaldığını göstermektedir. 570°C’de 90 dakikalık bir ‘Tufride’ işlemiyle, yorulma dayanımı hem çentiksiz hem de çentikli çubuklar için artış gösterir. Bu durumda nitrülenmiş çentikli çubukların yorulma dayanım değerleri, nitrülenmiş çentiksiz çubuklarda elde edilen aynı değerlere ulaşmaktadır.

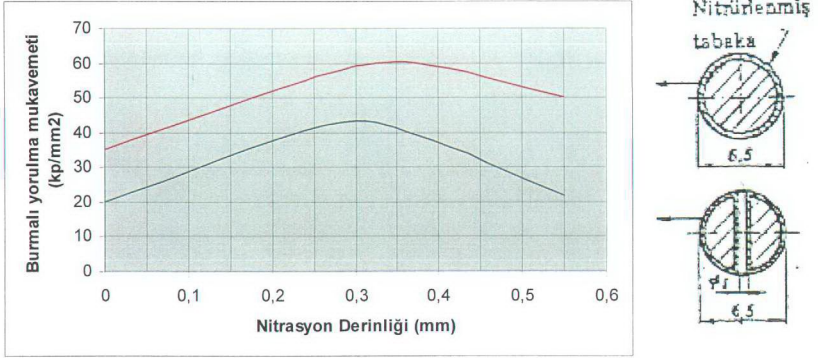
Maksimum yorulma dayanımı veren nitrasyon derinliği, malzemenin kalınlığına ve şekline bağlıdır. Bu durum 6,5 mm çaplı deney çubuklarının gaz nitrasyonu sonrası burmalı yorulma dayanımı nitrasyon derinliğinin fonksiyonu olarak verildiği Şekil 15.5’de gösterilmektedir.

Yorulma dayanımını azaltan 1 mm çaplı enine bir deliğe sahip bir çubukta 0,3 mm’lik bir nitrasyon derinliği ile maksimum yorulma dayanımı elde edilmektedir. Delik açılmamış bir çubukta ise, maksimum yorulma dayanımı 0,4 mm’lik bir nitrasyon derinliği ile sağlanmaktadır. İnce kenarlı parçalarda, tuz banyosunda nitrasyon, gaz nitrasyonuna oranla tercih edilir. Çünkü çok küçük nitrasyon derinlikleri gerekli olduğunda, tuz banyosundaki nitrasyon sırasında nitrasyon derinliği kontrol etmek çok kolaydır.



Şekil 15.4 Tuffride işleminin dönel akım yorulma dayanımına etkisi. Çelik, DIN 14CrMoV69 (%0,14 C, %1,5Cr, %0,90 Mo-V)

- A. Sertleştirilmiş ve 570°C'de temperlenmiş düz deney numunesi
- B. Sertleştirilmiş ve 600°C'de temperlenmiş sonra 570°C'de 90 dakika tuffride işlemi görmüş düz deney numunesi
- C. Sertleştirilmiş ve 570°C'de temperlenmiş çentikli deney numunesi
- D. Sertleştirilmiş ve 600°C'de temperlenmiş sonra 570°C'de 90 dakika tuffride işlemi görmüş çentikli deney numunesi çentik faktörü $\alpha_k = 2$



Şekil 15.5 %0,3 C, %2,5 Cr, %0,2 Mo, %0,25 V bileşiminde Cr-Mo-V çeliğinden ($\alpha B = 110$ kp/mm²) yapılmış düzgün bir deney numunesinin nitrasyon derinliğinin fonksiyonu olarak burmalı yorulma (Toptaş, 1991)

15.4 Korozyon Direnci

Nitrasyon sonucu, paslanmaz olmayan çeliklerin korozyon dirençleri artış gösterir. Korozyon bakımından beyaz tabaka %13 Martenzitik krom çeliğine eşdeğerdir. Nitrürlenmiş paslanmaz çeliklerin korozyon direnci, Cr'un nitrürler halinde bağlı olmasından dolayı azalma gösterir (Toptaş, 1991; Demirkaya, 1998). Nitrasyon sırasındaki sıcaklık artışı, kararlı halde olmayan 18/8 tipi paslanmaz çeliklerde taneler arası korozyona da neden olur. Korozyon direnci nitrürlenmiş ve parlatılmış yüzeyler için çok büyüktür, örneğin, 0,03 mm'lik bir taşlamayla beyaz tabakanın kaldırılması ve dolayısıyla korozyon direncinin azaltılması mümkündür. BS 905 M 39 çeliği, 0,03-0,06 mm taşlama sonrası alışılagelmiş ısıtılabilir çeliklerinden ve BS 420 S 37 çeliğinden daha iyi korozyon direncine sahiptir. Tuzlu su püskürtmeyle deney yapıldığında, en son bahsedilen iki çeliğin nitrasyon tabakaları aynı korozyon direncini göstermiştir.

Tropikal atmosfer deney odalarında uygulanan korozyon deneyleri sırasında elde edilmiştir. Burada kullanılan deney numunelerinin çapı 15 mm ve boyları 50 mm olup, bunlar normal halde sulfünüz işleminden sonra 510°C'de gaz nitrasyonundan sonra çaplarından 0,05 mm taşlamayla alınmış olarak test yapılmıştır. Nitrürlenmiş numuneler yüzeyindeki mat görünümler sadece nitrasyon sırasında oluşan ve korozyon direncini bir miktar azaltan oksit

filmi yüzünden ileri gelmektedir. Nitrasyondan sonra parlatma yapılırsa en iyi sonuç elde edilir.

Nitrasyon işlemiyle çelikte kısaca şu özellikler geliştirilir.

- 1) Menevişleme tehlikesinin azaltılmasıyla beraber yüksek yüzey sertliği ve aşınma mukavemeti
 - 2) Temperlemeye karşı yüksek direnç ve yüksek sıcaklık sertliği
 - 3) Yüksek yorulma mukavemeti ve düşük yorulma çentik hassasiyeti
 - 4) Paslanmaz olmayan çelikler için iyileşmiş korozyon direnci
 - 5) Yüksek boyutsal kararlılık (Toptaş, 1991).
- 

16. NİTRASYON FIRINLARI

Gaz nitrasyonunda değişik dizaynlı fırınlar kullanılır. Çoğu fırınlar için kullanılan fırınlardır ve hepsinde aşağıdaki ortak yönler bulunur.

- a) Kontrollü atmosfer basınçlı olduğunda hava akımının ve diğer gazların kaçışını önlemek için şarj kontrolü
- b) Gaz girişini ve kullanılan gazların çıkışını sağlamak için ayrı delikler
- c) Isıtma ve uygun ısı kontrolü
- d) Herhangi bir yolla, mesela vantilatör ile, atmosferi sirküle etme ve böylece şarj esnasında ısıyı ve gazları homojen tutma

Nitrasyon fırınlarının inşasındaki diğer önemli bir husus da kutu ve aletler için uygun malzemenin seçimidir. Amonyak parçalanmasını katalize edecek ve bu yüzden maliyeti arttıracak parçalar kullanılmamalıdır.

Fırın seçimi üretime uygun düşecek bir şekilde yapılmalıdır. Genellikle kullanılan fırın çeşitleri, dik imbik fırını, çan tipi seyyar fırın, kutu fırınlar ve tüp imbiklerdir (Çebin, 1994).

17. GENEL NİTRASYON PROBLEMLERİ VE NEDENLERİ

Nitrasyon işleminde sık sık karşılaşılan sorunları şöyle sıralayabiliriz.

- Düşük yüzey sertliği ve yeterli olmayan nitrasyon tabakası kalınlığı
- İşlenen parçaların renk değiştirmesi
- Aşırı ölçü değişmesi
- Nitrülenmiş yüzeyde çatlama ve parçalanma
- Amonyak parçalanmasındaki yüzde farklılığı
- İstenenden fazla beyaz tabaka
- Pipet yolunun tıkanması

Bu sorunların nedenlerini bilmek bunların ortadan kaldırılmasına veya önlenmesine yardımcı olur.

17.1 Düşük Yüzey Sertliği ve Derin Olmayan Nitrasyon Tabakasının Nedenleri

a) Çeliğin özellikleri ile ilgili sebepler

- 1) Nitrasyon için uygun olmayan bileşim seçimi
- 2) Uygun olmayan mikroyapı
- 3) Düşük çekirdek sertliği
- 4) Uygun olmayan temizleme veya yabancı madde varlığından kaynaklanan yüzeyde pasiflik

b) Yanlış işleme tabi tutma

- 1) Çok yüksek veya düşük nitrasyon sıcaklığı
- 2) Yetersiz amonyak akımı
- 3) Fırın parçalarının veya iş sepetlerinin ayrılmış amonyakla fazla teması
- 4) Isınmada yetersiz zaman

Diğer taraftan bu sorun sadece testte yapılan hatalardan ileri gelebilir. Bunlar aletin yanlış ayarlanması veya test örneğinin yanlış hazırlanması gibi hatalardır.

17.2 Parçanın Renksizleşmesinin Nedenleri

- a) Yüzeyin yıkanması, yağdan arınması ve fosfatla cilalanması gibi ön işlemleri yanlış ve yetersiz yapılması
- b) İmbikteki nemin sebep olduğu durum

- 1) Soğutma odasından sızıntı
- 2) Hızlı soğutmada, su deposundan yetersiz ve yanlış gaz akımı sebebi ile su emilmesi
- c) İmbikteki yağın sebep olduğu durum
 - 1) Derin delikleri olan ve kademeli parçaların yanlış temizlenmesi
 - 2) Kapaktan basınç kaybı veya kapağın fazla ısınması
 - 3) Fırının taban veya başka yerlerinden olan sızıntı
- d) İmbikteki havanın sebep olduğu durum
 - 1) Kapağın iyi kapanmaması
 - 2) Borular etrafındaki keçelerin yetersizliğinden kaynaklanan sızıntı

17.3 Aşırı Ölçü Değişiminin Nedenleri

- a) Nitrasyon işleminden önce yanlış gerilim giderilmesi
- b) Nitrasyon esnasında parçaların yanlış yerleştirilmesi
- c) Parçaların yanlış dizaynı, asimetrik çizimleri gibi

17.4 Nitrülenmiş Yüzeyde Çatlama ve Parçalanmaların Nedenleri

- a) Dizayn; burada bilhassa sert köşeler söz konusudur.
- b) Beyaz tabaka
- c) Ön ısıtmada, yüzeyde meydana gelen karbonsuzlaşma
- d) Uygun olmayan ön ısıtma işlemi

17.5 Amonyak Parçalanmasındaki Yüzde Farklılığın Nedenleri

- a) Fırının yüzde ölçümüne göre verilen şarjın az olması
- b) Fazla aktif fırın parçaları
- c) Tüpte meydana gelen sızıntı

- d) Fırında oluşan basınçtan meydana gelen gaz akımı değişikliği

17.6 İstenilenden Fazla Beyaz Tabakanın Nedenleri

- a) Nitrasyon sıcaklığının çok düşük olması
- b) Öngörülen minimum %15 ayrışma oranından daha düşük ayrışma oranları
- c) 900F'da yavaş soğutmada, parçalanmış amonyak yerine, ham amonyakla hızlı boşaltma

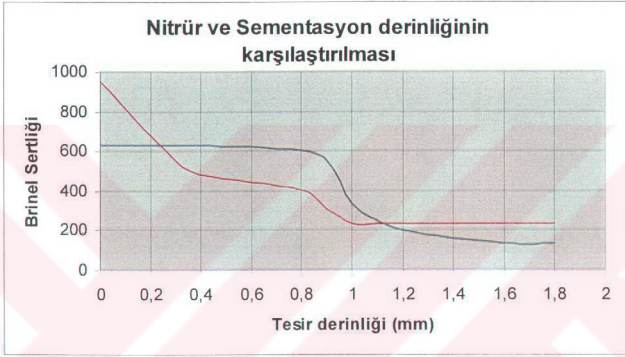
17.7 Boşaltma ve Pipet Borularının Tıkanmasının Nedenleri

Boşaltma ve pipet boruların tıkanmasıyla oluşan hal, kullanılan suyun içindeki kimyevi maddelerin amonyakla reaksiyonundandır. Oluşan tortu boruları tıkar. Boşaltma borusunun tıkanması fırında basınca neden olur ve subap çıkışlarını da tıkar. Boruları genişletmek , dilute asit çözeltisi ile zaman zaman temizlemek yararlıdır (ASM Handbook).

18. NİTRASYON VE SEMENTASYONUN KARŞILAŞTIRILMASI

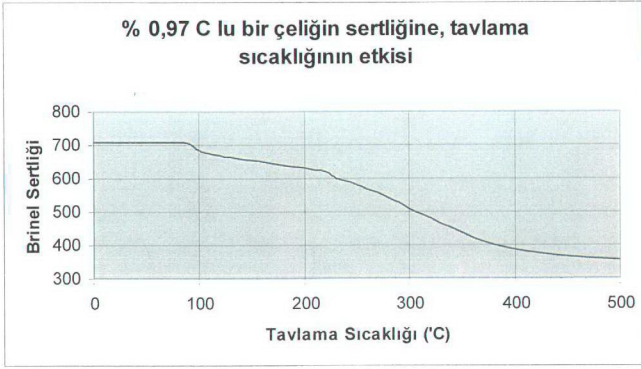
Nitrasyon yönteminde de, sementasyon ile elde edildiği kadar derin tabakalar elde edilebilseydi, ideal bir durum ortaya çıkardı. Fakat tabaka ender olarak 0,8-0,9 mm kalınlığına sahip olabilir. Bu da ancak çok uzun bir zamanda oluşur. Nitrür tabakasının inceliğinin doğal bir sonucu olarak, bu yüzeyler ağır yükler kaldıramazlar.

Buna karşılık, nitrülenmiş tabakanın sertliği, sementasyon yapılmış, su verilmiş tabakanın sertliğine göre çok yüksektir. (Şekil 18.1)



Şekil 18.1 Nitrasyon ve sementasyon sertliğinin karşılaştırılması

Nitrülenmiş tabakaların en önemli üstünlükleri; tavlama karşı dayanıklı olmalarıdır. (Şekil 18.2) Sementit tabakanın sertliği tavlama neticesinde düştüğü halde nitrülenmiş tabakaların sertliği 500°C kadar hemen hemen değişmez.



Şekil 18.2 %0,97 C lu bir çeliğin sertliğine, tavlama sıcaklığının etkisi (Sönmez, 1972).

19. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalarda üç ayrı bileşime sahip çelik kullanılmıştır. Kullanılan numuneler İstanbul Isıl İşlem San. Ltd. şirketinden temin edilmiştir. Bu numuneler, üç farklı sıcaklıkta ve üç farklı işlem süresinde plazma nitrasyon ısıl işlemine tabi tutulmuştur. Isıl işlem deneyleride yine İstanbul Isıl İşlem San. Ltd. şirketinde gerçekleştirilmiştir.

Değişen koşulların malzemenin mikroyapısına ve mekanik özelliklerine etkileri, numunelerin metalografik etüdleri, sertlik ölçümleri ve SEM incelemeleri ile Yıldız Teknik Üniversitesi laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

19.1 Malzeme

Deneylerde üç farklı bileşime sahip, İstanbul Isıl İşlem San. Ltd. şirketinden temin edilmiş çelik numuneler kullanılmıştır. Bu malzemelerin özellikleri Çizelge 19.1, Çizelge 19.2 ve Çizelge 19.3' te verilmektedir.

Çizelge 19.1 1 No'lu çelik malzemenin özellikleri.

THYROPLAST 2738

DIN-Malzeme-No 1.2738

Kodu 40 CrMnNiMo 8 6 4

Diğer Standartlar AISI: P20 + Ni

Kimyasal Bileşimi

C	Mn	S	Cr	Mo	Ni	Ca
0.40	1.5	≤ 0.005	1.9	0.2	1.0	+

Çeliğin Özellikleri

Sertleştirilmiş ve menevişlenmiş plastik kalıp çeliğidir. 400 mm'yi geçen kalınlıklardaki plastik kalıplarda tavsiye edilir. Teslim edildiği haldeki sertliği 280-325HB'dir. THYROPLAST 2738 vakum altında gazı giderilmiş, mikroalaşımli bir çeliktir. İlave Ca işlemi nedeni ile çok iyi işlenebilirliği ve desenleme özelliği vardır.

Fiziksel Özellikleri

Isıl genişmesi

10^{-6} m (m.K)	20-100	20-200	20-300	20-400	20-500	20-600
-------------------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

11.1	12.9	13.4	13.8	14.2	14.6
------	------	------	------	------	------

Isıl İletkenliği	W/(m.K)	20	350	700°C
------------------	---------	----	-----	-------

31.5	33.5	32.0
------	------	------

Uygulamaları

Plastik kalıpları ve basınçlı döküm hamilleri, ekstrüzyon pres kovanları.

Isıl İşlem	Teslim Sertliği		280 – 325 HB						
	Yumuşatma Tavlamaşı 'C	Soğutma	Sertlik HB						
	710 – 740	Fırında	Max. 235						
	Sertleştirme Sıcaklık 'C	Soğutma Ortamı	Su ermeden sonraki sertlik veya çekme dayanımı						
			RC		N/mm ²				
	840 – 870	Yağ veya sıcak banyo 180 – 220 'C	51		1730				
Menevişleme	'C	100	200	300	400	500	600	700	
	RC	51	50	48	46	42	36	28	
	N/mm ²	1730	1670	1570	1480	1330	1140	920	

Çizelge 19.3 3 No'lu çelik malzemenin özellikleri.

THRODERM 2344 EFS

THRODERM 2344 EFS SURRA (ESR)

DIN-Malzeme-No	1.2344							
Kodu	X 40 CrMoV 5 1							
Diğer Standartlar	AISI: H13 BS: BH 13 JIS: SKD 61							
Kimyasal Bileşimi	C	Si	Cr	Mo	V			
	0.40	1.00	5.30	1.40	1.00			
Çeliğin Özellikleri	Yüksek sıcaklıkta iletkenliğini, sertliğini ve aşınmaya dayanımını yitirmeyen, tokluğu yüksek olan bir çeliktir. Isıl iletkenliği iyidir ve yüzeysel çatlamalara dayanıklıdır. Bir dereceye kadar su ile soğutulabilir. İlave bir Ca işleminden geçirildiği için, mükemmel bir talaş kaldırma özelliği vardır.							
Fiziksel Özellikleri	Isıl genişemesi							
	$10^{-6} \times m$	20-100	20-200	20-300	20-400	20-500	20-600	20-700°C
	mx°C	10.9	119	12.3	12.7	13.0	13.3	13.5
	Isıl iletkenliği	J		20	350	700°C		
		cm x S x °C		0.245	0.268	0.288		
Uygulamaları	Genellikle sıcak iş çeliği olarak bir çok işlerde kullanılır. Hafif metallerin basınçlı dökümü ve metal ekstrüzyon preslerinde kalıp, piston, yolluk, matris, zımba, gömlek vs. olarak kullanıldığı gibi plastik enjeksiyon makinalarında salyangoz, silindir ve gömlek olarak nitrasyon yapılarak kullanılır. Çok aşındırıcı plastik kalıpların							

yapımında kullanılır. Ayrıca küçük dövme kalıplarında kullanılır. Daha üstün mekanik ve mikroyapı özelliklerinin istendiği durumlarda THROTERM 2344 EFS SUPRA tavsiye ederiz. Curuf altı ergitme (ESR – Elektro Slag Remelting) işleminden geçirildiği için yüksek sıcaklıklarda tane sınırlarına yerleşerek çeliği zayıflatan S ve P gibi elementler en az seviyededir.

Isıl İşlem	Yumuşatma Tavlaması °C				Soğutma				Sertlik HB				
	750 – 800				Fırında				Max. 230				
	Sertleştirme °C				Soğutma Ortamı				Sertleştikten sonraki Sertliği RC Çekme mukavemeti N/mm ²				
	1000-1050				Hava, yağ, sıcak banyo 500 – 550 °C				54		1910		
	Menevişleme				°C	100	200	300	400	500	550	600	650
	RC				53	52	52	54	56	54	50	42	32
	N/mm ²				1850	1790	1790	1910	2050	1910	1670	1330	1020

19.2 Numunelere Uygulanan Plazma Nitrasyon Isıl İşlemi

Plazma nitrasyon işlemi, İstanbul Isıl İşlem Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti. Yenibosna- İstanbul tesislerinde AN50 Marka, Ø 720-800 mm, tabandan yüklemeli fırın içerisinde gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan numuneler, 2, 4 ve 16 saat zaman sürelerinde aşağıda verilen işlem parametrelerinde plazma nitrasyonuna tabi tutulmuştur. Şekil 19. 1 de deneysel çalışmalarda kullanılan plazma nitrasyon fırını görülmektedir.



Şekil 19.1 Deneysel çalışmalarda kullanılan plazma nitrasyon fırını

Numunelere Uygulanan Isıl İşlem Koşulları

Plazma Nitrasyon ısıt işlemleri uygulanan üç ayrı bileşime sahip numunelere ayrı ayrı uygulanan ısıt işlem koşulları Çizelge 19.4 te görölmektedir.

Çizelge 19.4 DIN 1.2738, DIN 1.2379 ve DIN 1.2344 alaşımına sahip numunelere uygulanan ısıt işlem koşulları

Numune	Isıl İşlem Sıcaklığı	Isıl işlem Süresi (saat)	Numune	Isıl İşlem Sıcaklığı	Isıl işlem Süresi (saat)	Numune	Isıl İşlem Sıcaklığı	Isıl işlem Süresi (saat)
DIN 1.2738	480°C	2	DIN 1.2379	480°C	2	DIN 1.2344	480°C	2
		4			4			4
		16			16			16
	520°C	2		520°C	2		520°C	2
		4			4			4
		16			16			16
	550°C	2		550°C	2		550°C	2
		4			4			4
		16			16			16

19.3 Plazma Nitrasyon Isıl İşlemi Sonrasında Değişik İşlem Koşullarının Numunelerin Mikroyapılarına Etkilerinin Metalografik Olarak İncelenmesi

Çelik alaşımlarının metalografik inceleme için hazırlanması esnasında zımparalama işleminde kolaylık sağlamak için sıcak ve soğuk olarak monte işlemi uygulanmıştır. Sıcak monte edilmiş numuneler ışık metal mikroskobunda, soğuk monte işlemine tabi tutulanlar ise JEOL LV 5600 tarama elektron mikroskobunda (SEM) incelenmiştir.

Numunelerin tüm metalografik uygulamaları sırasında zımpara işlemi elle yapılmıştır ve zımparalama işlemi sırasında numuneden kopan parçacıkların kolaylıkla uzaklaştırılabilmesi için sulu zımpara tercih edilmiştir.

Zımparalama işlemine sulu ortamda 120 meşlik zımpara ile başlanmıştır daha sonra zımpara giderek 180, 240, 320, 400, 600 ve 800'lük meşlere kadar inceltilmiştir. Zımparalama işlemi sona erdikten sonra parlatma işlemine geçilmiştir. Bu parlatma işlemi otomatik parlatma makinasında yapılmıştır ve parlatma için iki farklı parlatma diskinde Al_2O_3 alumina ve elmas pasta kullanılmıştır. İlk önce alumina ile parlatılan numuneler daha sonra 15 μm lik elmas pasta ile otomatik parlatma diskinde parlatılmıştır.

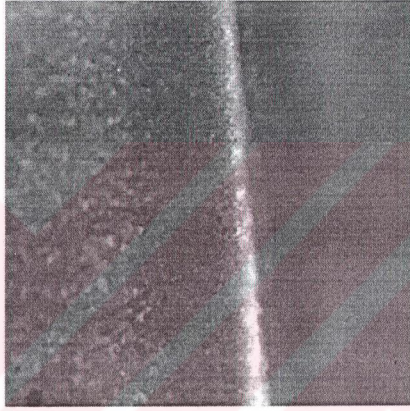
Parlatma işleminden sonra dağlama işlemine geçilmiştir. Aşağıda içeriği verilmiş dağlama ayırıcı ile yaklaşık 30 ile 35 saniye arasında dağlama yapılmıştır.

Çizelge 19.5 Çelik Alaşımlarında kullanılan dağlama ayırıcı özellikleri ve uygulama şartları (Geçkinli, 1989)

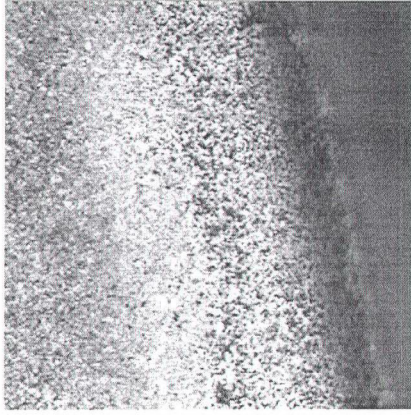
Dağlama Ayırıcı	Bileşimi	Uygulama Şartları	Kullanılan Alaşımlar
Nital 2	2 ml HNO_3 98 ml Metanol	Dağlama 60 saniyeye kadar solüsyona daldırmak suretiyle yapılır.	Demir, Alaşımlı veya alaşımsız çelikler ve dökme demirler için kullanılır. Ferrit tane sınırlarını ve fazları ortaya çıkarır.

19.3.1 Plazma Nitrasyon Isıl İşlemi Sonrasında Numunelerin Işık Metal Mikroskobu İncelemeleri ve Sonuçları

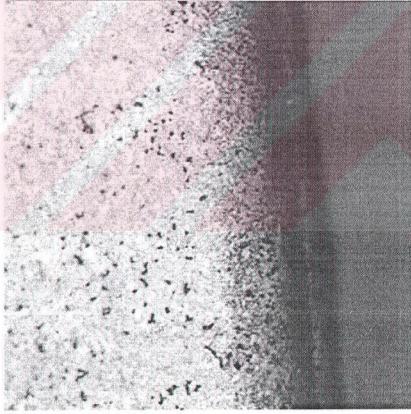
Bu deneyde üç farklı bileşime sahip çelik alaşımının numuneleri ayrı ayrı, üç farklı sıcaklık ve üç farklı sürede, plazma nitrasyonuna tabi tutulmasından sonra numuneler, Işık metal mikroskobunda incelenmek üzere sıcak monte edilmiş, zımparalanmış ve uygun dağlama ayırıcı ile dağlanmışır. Numunelerin fotoğrafları aşağıda görülmektedir.



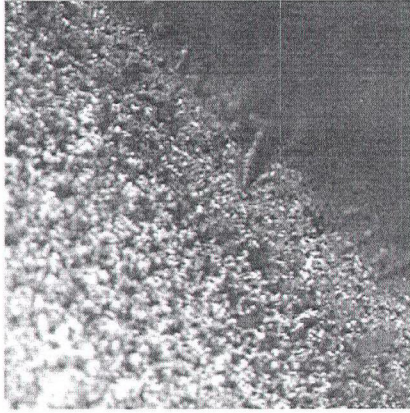
Şekil 19.2 480°C'de 4 saat plazma nitrasyon işlemine tabi tutulmuş DIN 1.2379 alaşımlı numunenin ışık metal mikroskobunda görüntüsü. 200x



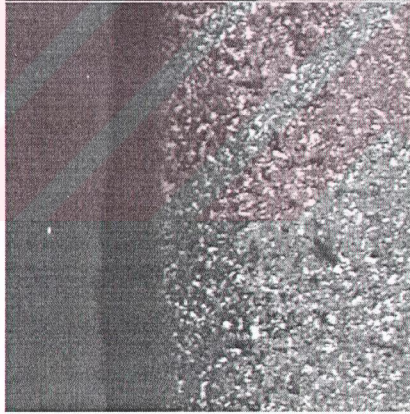
Şekil 19.3 480°C’de 16 saat plazma nitrasyon işlemine tabi tutulmuş DIN 1.2379 alaşımlı numunenin ışık metal mikroskopunda görüntüsü. 200x



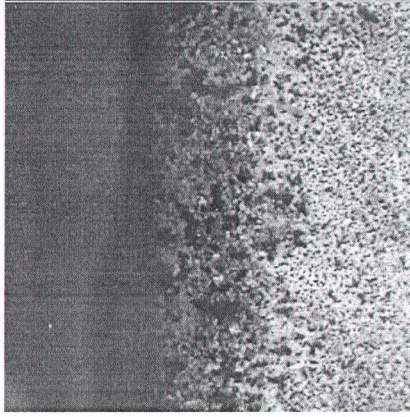
Şekil 19.4 520°C’de 2 saat plazma nitrasyon işlemine tabi tutulmuş DIN 1.2379 alaşımlı numunenin ışık metal mikroskopunda görüntüsü. 200x



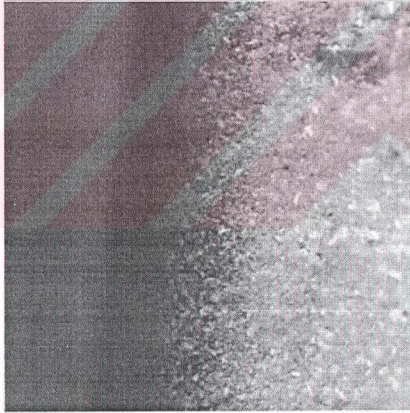
Şekil 19.5 520°C'de 4 saat plazma nitrasyon işlemine tabi tutulmuş DIN 1.2379 alaşımlı numunenin ışık metal mikroskopunda görüntüsü. 200x



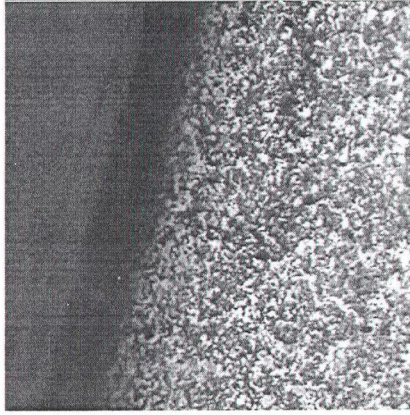
Şekil 19.6 520°C'de 16 saat plazma nitrasyon işlemine tabi tutulmuş DIN 1.2379 alaşımlı numunenin ışık metal mikroskopunda görüntüsü. 200x



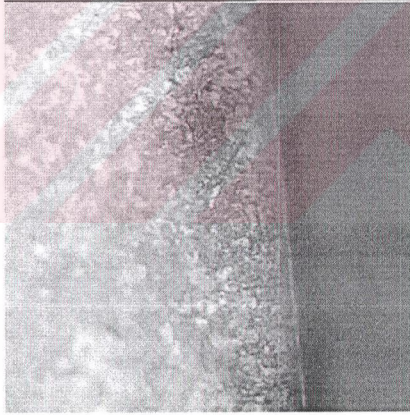
Şekil 19.7 550°C'de 2 saat plazma nitrasyon işlemine tabi tutulmuş DIN 1.2379 alaşımlı numunenin ışık metal mikroskopunda görüntüsü. 200x



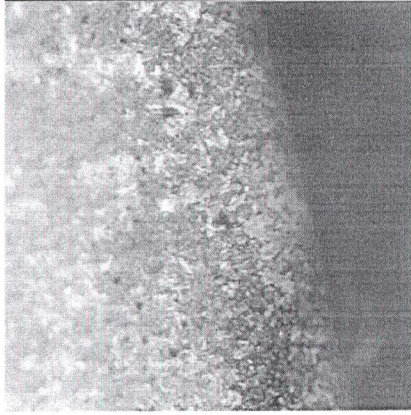
Şekil 19.8 550°C'de 4 saat plazma nitrasyon işlemine tabi tutulmuş DIN 1.2379 alaşımlı numunenin ışık metal mikroskopunda görüntüsü. 200x



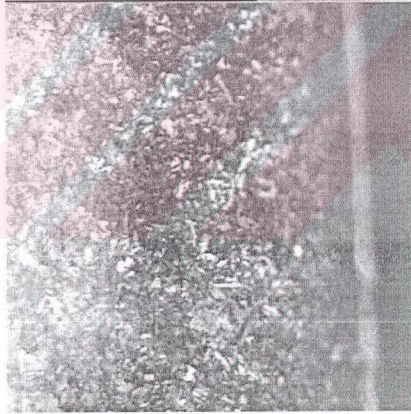
Şekil 19.9 550°C’de 16 saat plazma nitrasyon işlemine tabi tutulmuş DIN 1.2379 alaşımlı numunenin ışık metal mikroskobunda görüntüsü. 200x



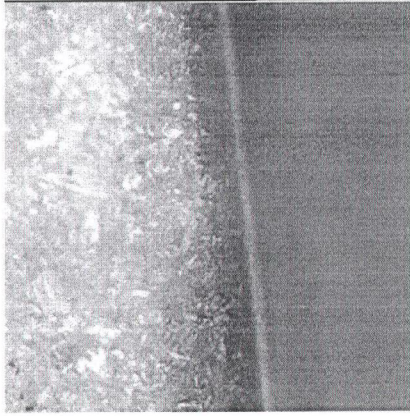
Şekil 19.10 480°C’de 2 saat plazma nitrasyon işlemine tabi tutulmuş DIN 1.2738 alaşımlı numunenin ışık metal mikroskobunda görüntüsü. 200x



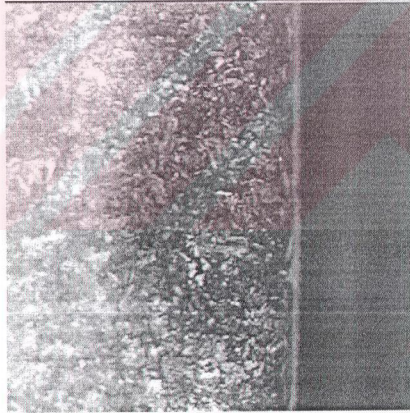
Şekil 19.11 480°C'de 4 saat plazma nitrasyon işlemine tabi tutulmuş DIN 1.2738 alaşımlı numunenin ışık metal mikroskopunda görüntüsü. 200x



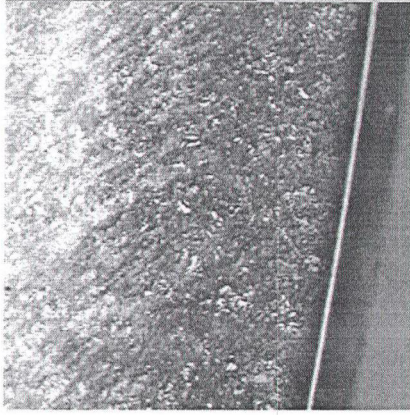
Şekil 19.12 480°C'de 16 saat plazma nitrasyon işlemine tabi tutulmuş DIN 1.2738 alaşımlı numunenin ışık metal mikroskopunda görüntüsü. 200x



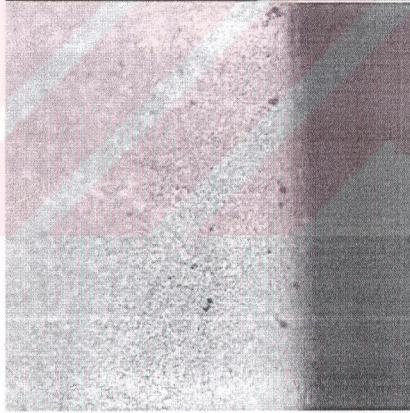
Şekil 19. 13 520°C'de 16 saat plazma nitrasyon işlemine tabi tutulmuş DIN 1.2738 alaşımlı numunenin ışık metal mikroskopunda görüntüsü. 200x



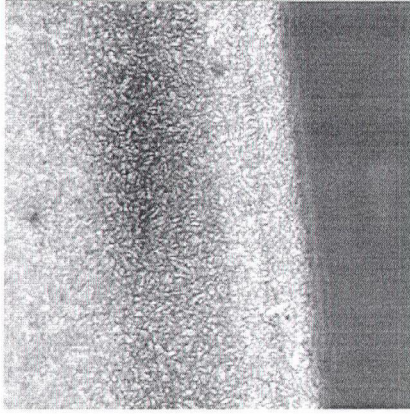
Şekil 19.14 550°C'de 4 saat plazma nitrasyon işlemine tabi tutulmuş DIN 1.2738 alaşımlı numunenin ışık metal mikroskopunda görüntüsü. 200x



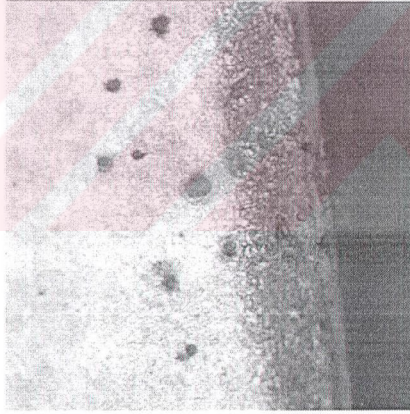
Şekil 19.15 550°C'de 16 saat plazma nitrasyon işlemine tabi tutulmuş DIN 1.2738 alaşımlı numunenin ışık metal mikroskopunda görüntüsü. 100x



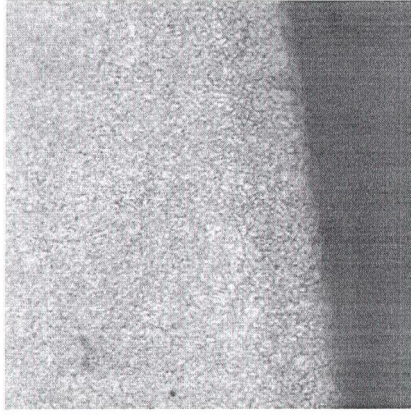
Şekil 19.16 480°C'de 4 saat plazma nitrasyon işlemine tabi tutulmuş DIN 1.2344 alaşımlı numunenin ışık metal mikroskopunda görüntüsü. 200x



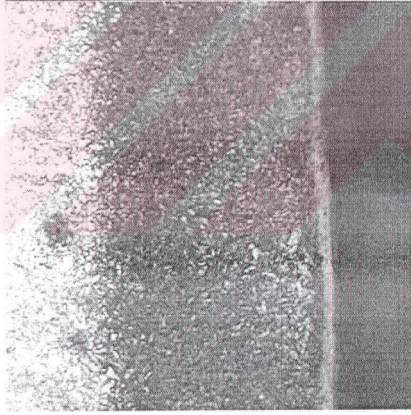
Şekil 19.17 480°C’de 16 saat plazma nitrasyon işlemine tabi tutulmuş DIN 1.2344 alaşımlı numunenin ışık metal mikroskopunda görüntüsü. 200x



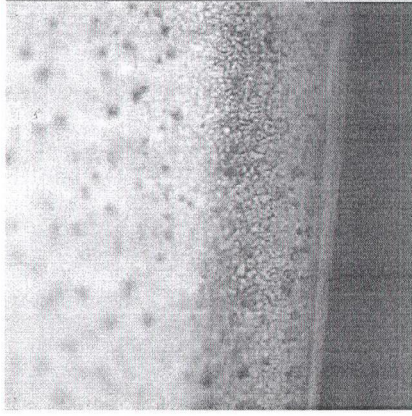
Şekil 19.18 520°C’de 2 saat plazma nitrasyon işlemine tabi tutulmuş DIN 1.2344 alaşımlı numunenin ışık metal mikroskopunda görüntüsü. 200x



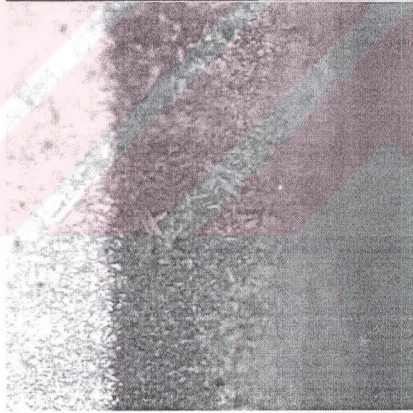
Şekil 19.19 520°C'de 4 saat plazma nitrasyon işlemine tabi tutulmuş DIN 1.2344 alaşımlı numunenin ışık metal mikroskopunda görüntüsü. 200x



Şekil 19.20 520°C'de 16 saat plazma nitrasyon işlemine tabi tutulmuş DIN 1.2344 alaşımlı numunenin ışık metal mikroskopunda görüntüsü. 200x



Şekil 19.21 550°C'de 4 saat plazma nitrasyon işlemine tabi tutulmuş DIN 1.2344 alaşımlı numunenin ışık metal mikroskopunda görüntüsü. 200x



Şekil 19.22 550°C'de 16 saat plazma nitrasyon işlemine tabi tutulmuş DIN 1.2344 alaşımlı numunenin ışık metal mikroskopunda görüntüsü. 200x

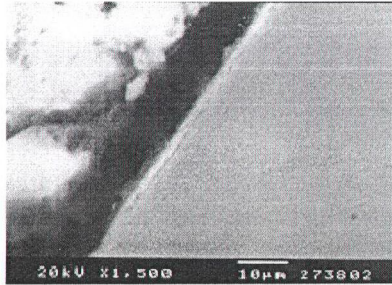
Işık mikroskopundan elde edilen görüntülerde düşük işlem sıcaklıkları ve işlem sürelerinde belirgin bir beyaz tabaka görülmemekle birlikte kalın bir difüzyon tabakası görülmektedir. İşlem sıcaklıkları ve sürelerinin artmasına bağlı olarak ise daha kalın ve belirgin bir beyaz tabaka oluşumu tespit edilmiştir.

Plazma Nitrasyon Isıl İşlemi Sonrasında Numunelerin SEM (Tarama Elektron Mikroskobu) İncelemeleri ve Sonuçları

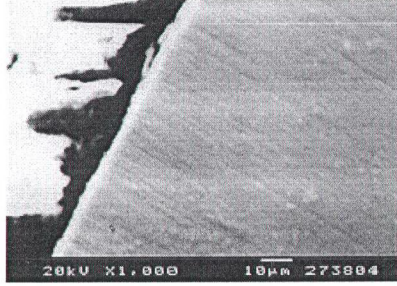
Bu deneyde üç farklı bileşime sahip çelik alaşımının numuneleri ayrı ayrı, üç farklı sıcaklık ve üç farklı sürede, plazma nitrasyonuna tabi tutulmasından sonra numuneler, JEOL LV 5600 marka tarama elektron mikroskobunda (SEM) incelenmek üzere soğuk monte edilmiş, zımparalanmış ve uygun dağlama ayırıcı ile dağlanmış numunelerin fotoğrafları aşağıda görülmektedir.



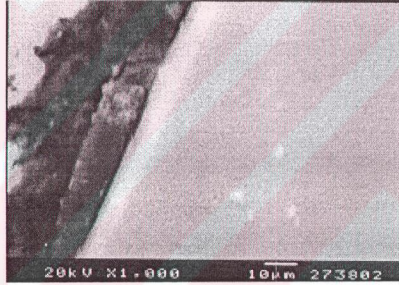
Şekil 19.23 480°C’de 2 saat plazma nitrasyon işlemine tabi tutulmuş DIN 1.2379 alaşımlı numunenin tarama elektron mikroskobundaki görüntüsü



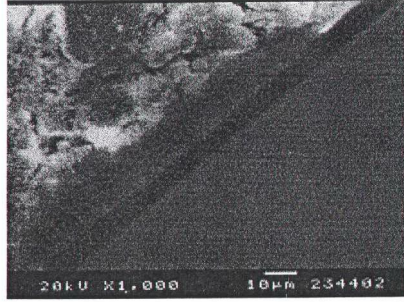
Şekil 19.24 520°C’de 2 saat plazma nitrasyon işlemine tabi tutulmuş DIN 1.2738 alaşımlı numunenin tarama elektron mikroskobundaki görüntüsü



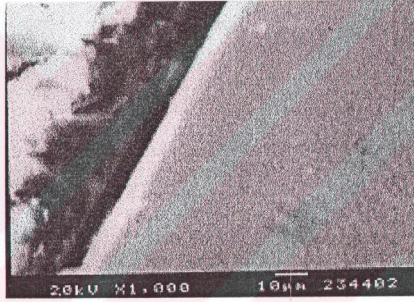
Şekil 19.25 520°C’de 4 saat plazma nitrasyon işlemine tabi tutulmuş DIN 1.2738 alaşımlı numunenin tarama elektron mikroskopundaki görüntüsü



Şekil 19.26 550°C’de 2 saat plazma nitrasyon işlemine tabi tutulmuş DIN 1.2738 alaşımlı numunenin tarama elektron mikroskopundaki görüntüsü



Şekil 19.27 480°C’de 2 saat plazma nitrasyon işlemine tabi tutulmuş DIN 1.2344 alaşımlı numunenin tarama elektron mikroskopundaki görüntüsü



Şekil 19.28 550°C’de 2 saat plazma nitrasyon işlemine tabi tutulmuş DIN 1.2344 alaşımlı numunenin tarama elektron mikroskopundaki görüntüsü

SEM (Tarama Elektron Mikroskobu) incelemeleri sonucu elde edilen görüntülerde düşük işlem sıcaklıkları ve işlem sürelerinde belirgin bir beyaz tabaka görülmemekle birlikte kalın bir difüzyon tabakası görülmektedir. İşlem sıcaklıkları ve sürelerinin artmasına bağlı olarak ise daha kalın ve belirgin bir beyaz tabaka oluşumu tespit edilmiştir.

19.3.2 Plazma Nitration Isıl İşlemi Sonrasında Numunelerin Işık Metal Mikroskopunda Nitration Derinliklerinin Ölçülmesi

Bu deneyde üç farklı bileşime sahip çelik numuneleri ayrı ayrı, üç farklı sıcaklık ve üç farklı sürede, plazma nitrasyonuna tabi tutulmuş ve bu numunelerin ışık metal mikroskobu üzerinden nitration derinlikleri ölçülmüştür. Derinlik değerleri aşağıdaki çizelgelerde ve

şekillerde görülmektedir.

Çizelge 19.6 DIN 1.2738 alaşımlarının değişik işlem şartlarında ölçülebilen nitrasyon derinlikleri

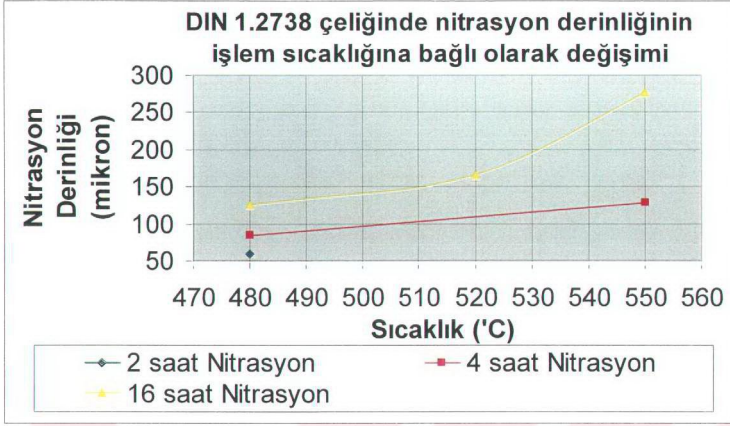
Numune	Isıl İşlem Sıcaklığı	Isıl işlem Süresi (saat)	Nitrasyon Derinliği (μ)
DIN 1.2738	480°C	2	59,24
	480°C	4	83,37
	480°C	16	124,48
	520°C	2	--
	520°C	4	--
	520°C	16	164,22
	550°C	2	--
	550°C	4	126,87
	550°C	16	275

Çizelge 19.7 DIN 1.2344 alaşımlarının değişik işlem şartlarında ölçülebilen nitrasyon derinlikleri

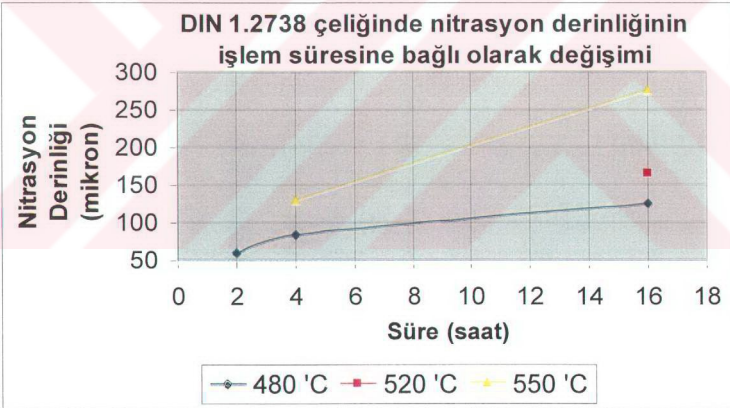
Numune	Isıl İşlem Sıcaklığı	Isıl işlem Süresi (saat)	Nitrasyon Derinliği (μ)
DIN 1.2344	480°C	2	--
	480°C	4	39,37
	480°C	16	46,98
	520°C	2	41,08
	520°C	4	45,25
	520°C	16	87,85
	550°C	2	--
	550°C	4	58,47
	550°C	16	118,52

Çizelge 19.8 DIN 1.2379 alaşımlarının değişik işlem şartlarında ölçülebilen nitrasyon derinlikleri

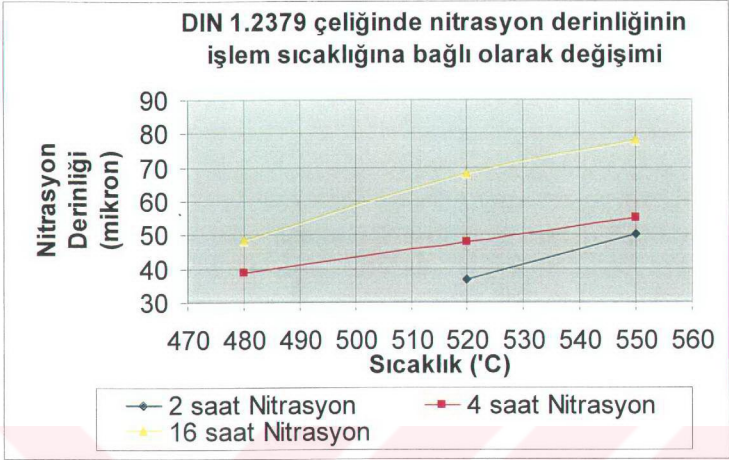
Numune	Isıl İşlem Sıcaklığı	Isıl işlem Süresi (saat)	Nitrasyon Derinliği (μ)
DIN 1.2379	480°C	2	--
	480°C	4	38,53
	480°C	16	48,02
	520°C	2	36,87
	520°C	4	47,84
	520°C	16	67,9
	550°C	2	50,28
	550°C	4	54,84
	550°C	16	77,75



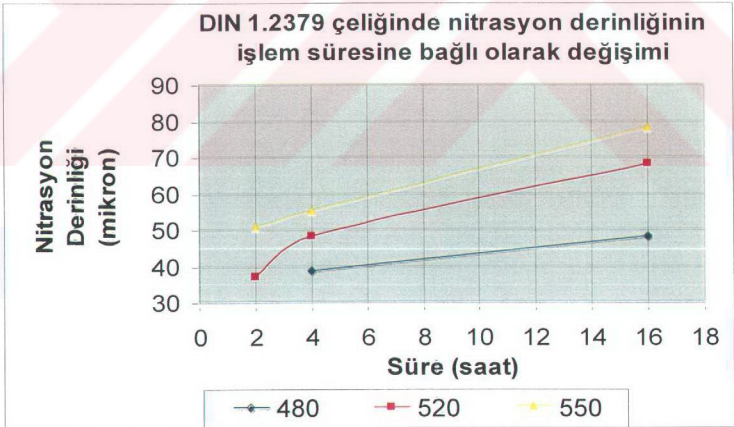
Şekil 19.29 DIN 1.2738 Bileşime sahip numunelerin sıcaklığa bağlı nitrasyon derinlikleri



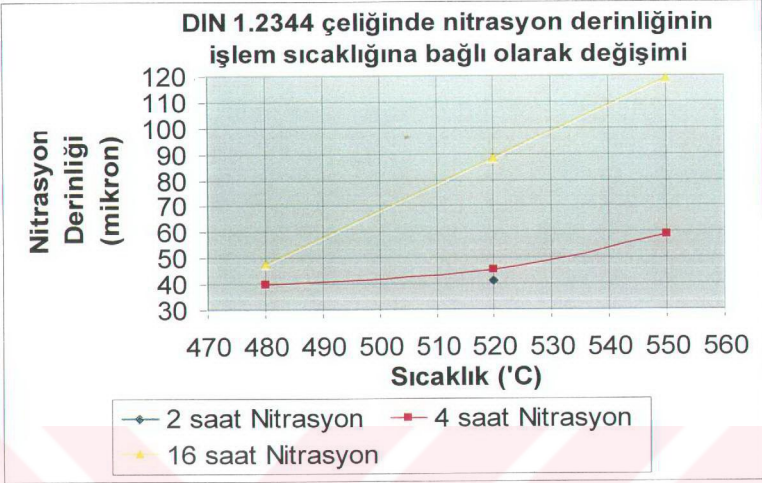
Şekil 19.30 DIN 1.2738 Bileşime sahip numunelerin süreye bağlı nitrasyon derinlikleri



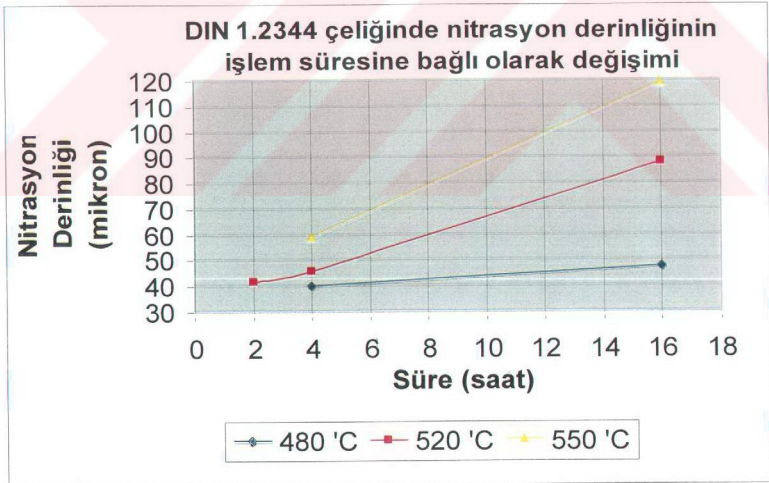
Şekil 19.31 DIN 1.2379 Bileşime sahip numunelerin sıcaklığa bağlı nitrasyon derinlikleri



Şekil 19.32 DIN 1.2379 Bileşime sahip numunelerin süreye bağlı nitrasyon derinlikleri



Şekil 19.33 DIN 1.2344 Bileşime sahip numunelerin sıcaklığa bağlı nitrasyon derinlikleri



Şekil 19.34 DIN 1.2344 Bileşime sahip numunelerin süreye bağlı nitrasyon derinlikleri

19.4 Plazma Nitrasyon Isıl İşlemi Sonrasında Değişik İşlem Koşullarının Numunelerin Mekanik Özelliklerine Etkilerinin Sertlik Ölçümleri İle İncelenmesi

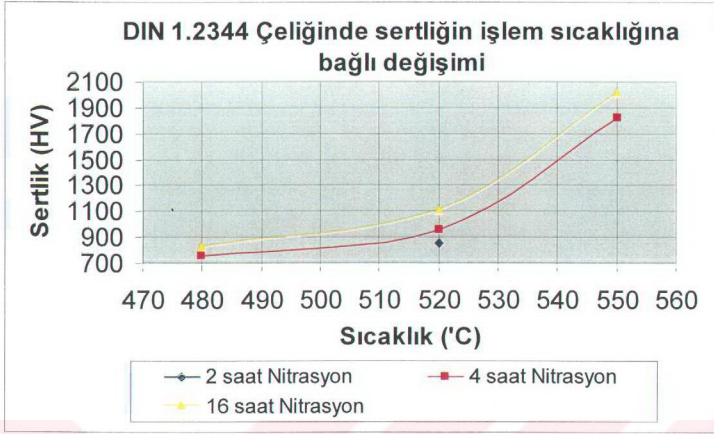
Bu deneyde üç farklı bileşime sahip çelik alaşımının numuneleri ayrı ayrı, üç farklı sıcaklık ve üç farklı sürede, plazma nitrasyonuna tabi tutulmuş ve bu numunelerin sertlik değerleri Vickers sertlik cihazında 0,2kp yük ile ölçülmüştür. Ölçülebilen sertlik değerleri aşağıdaki çizelgelerde görülmektedir. DIN 1.2739 alaşımının sertlik değerleri çok yüksek olması nedeni ile ölçülememiştir.

Çizelge 19.9 DIN 1.2378 alaşımlarının değişik işlem şartlarında ölçülebilen Vickers Sertlik Değerleri

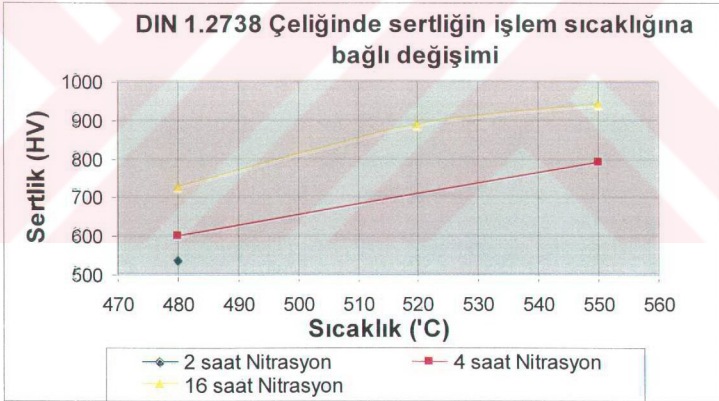
Numune	Isıl İşlem Sıcaklığı	Isıl İşlem Süresi (saat)	Vickers Sertlik Değerleri
DIN 1.2738	480°C	2	533
	480°C	4	598
	480°C	16	720
	520°C	2	--
	520°C	4	--
	520°C	16	883
	550°C	2	--
	550°C	4	788
	550°C	16	937

Çizelge 19.10 DIN 1.2344 alaşımlarının değişik işlem şartlarında ölçülebilen Vickers Sertlik Değerleri

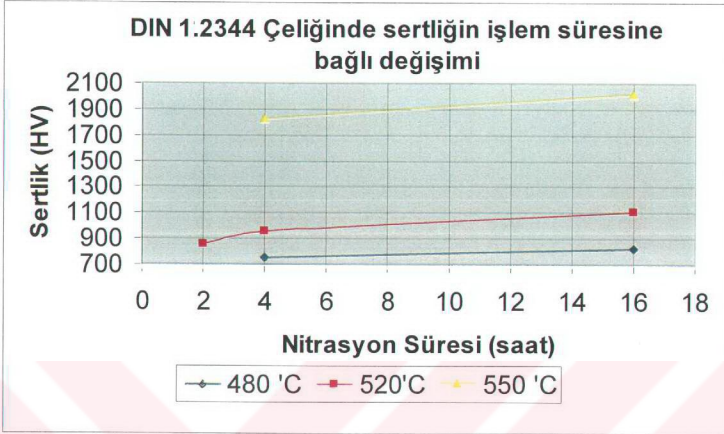
Numune	Isıl İşlem Sıcaklığı	Isıl işlem Süresi (saat)	Vickers Sertlik Değerleri
DIN 1.2344	480°C	2	--
	480°C	4	753
	480°C	16	818
	520°C	2	847
	520°C	4	956
	520°C	16	1107
	550°C	2	--
	550°C	4	1814
	550°C	16	2006



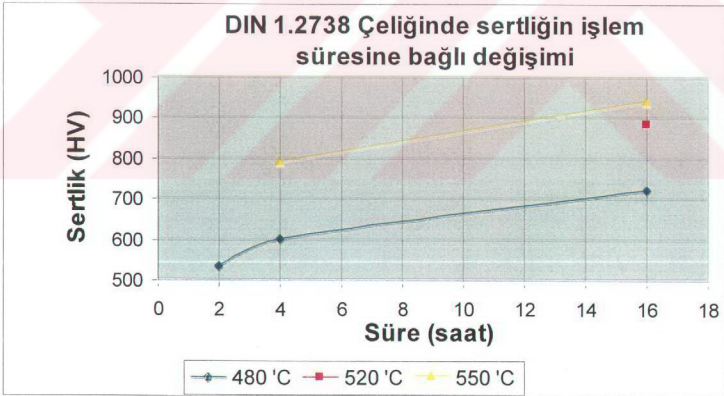
Şekil 19.35 DIN 1.2344 Bileşime sahip numunelerin farklı sıcaklıklarda sertlik değerleri



Şekil 19.36 DIN 1.2738 Bileşime sahip numunelerin farklı sıcaklıklarda sertlik değerleri



Şekil 19.37 DIN 1.2344 Bileşime sahip numunelerin süreye bağlı sertlik değerleri



Şekil 19.38 DIN 1.2738 Bileşime sahip numunelerin süreye bağlı sertlik değerleri

19.5 Sonuçlar

Üç farklı bileşime sahip çelik numuneleri ayrı ayrı, üç farklı sıcaklık ve üç farklı sürede, plazma nitrasyonuna tabi tutulmuş ve bu numunelerin ışık metal mikroskobu üzerinden nitrasyon derinlikleri ölçülmüştür.

DIN 1,278 (40CrMnNiMo 8 64) çeliğinde 480°C işlem sıcaklığında nitrasyon derinliği 2 saat işlem süresi için 59,24µ olarak ölçülmüştür. 4 saat işlem süresi sonunda nitrasyon derinliği 83,27µ, 16 saat işlem süresi sonunda ise bu değer 124,48µ olarak tespit edilmiştir.

Nitrasyon derinliği işlem süresine bağlı olarak bir artış göstermektedir. 2 saatlik işlem süresi iki katına çıktığında nitrasyon derinliğindeki artış %40.73 olurken, sekiz katına çıktığında artış %110 olmaktadır.

DIN 1,278 çeliğinin 520 °C' de 2, 4 ve 16 saat işlem süreleri uygulanan numunelerinden sadece 16 saat nitrasyon işlemine tabi tutulan numune ışık metal mikroskobunda incelenmiştir. Elde edilen değer 16 saat işlem süresi için 164,22µ dur.

550 °C' de ise ölçülebilen değerler 4 ve 16 saat işlem süreleridir. 4 saat için 126,87µ, 16 saat için 275µ nitrasyon derinliği tespit edilmiştir. 4 saatlik işlem süresi dört katına çıktığında nitrasyon derinliğindeki artış %117 olmuştur. İşlem süresinin artmasına paralel olarak nitrasyon derinliklerinde de artış görülmüştür. Aynı şekilde sıcaklık arttıkça derinlik artmıştır. En yüksek derinlik değeri 16 saat işlem süresinde 550 °C' de 275µ olarak ölçülmüştür.

DIN 1,2344 (XCrMoV 5 1) çeliğinde ölçülebilen nitrasyon derinliği değerleri 480°C' de 4 saat işlem süresi için 39,37µ, 16 saat için 46,98µ' dur. 520°C' de ise 2 saat için 41,08µ, 4 saat için 45,25µ, 16 saat için 87,85µ nitrasyon derinlikleri tespit edilmiştir. 550°C işlem sıcaklığında ışık metal mikroskobu üzerinde 4 saat için 58,47µ ve 16 saat için 118,52µ nitrasyon derinlikleri elde edilmiştir.

480°C' de 4 saat olan işlem süresi 4 katına çıktığında nitrasyon derinliğindeki artış %19 olarak tespit edilmiştir. 520°C' de ise 2 saat olan işlem süresi iki katına çıktığında nitrasyon derinliğindeki artış %10 olurken, 8 katına çıktığında artış %114 olmaktadır. 550°C' de ölçülebilen değerlerde 4 saat olan işlem süresi iki katına çıktığında nitrasyon derinliğindeki artış %103 olmaktadır. İşlem süresinin artmasıyla nitrasyon derinliğinde de artış görülmekle en yüksek değeri 550°C' de 16 saat süresinde 118,52µ olarak tespit edilmiştir.

DIN 1,2379 (X155CrMo 12 1) çeliğinde ölçülebilen nitrasyon derinliği değerleri 480°C' de 4 saatlik işlem süresi için 38,53µ, 16 saat için 48,02µ olarak ölçülmüştür. Nitrasyon derinlikleri

520°C' de 2 saat için 36,87µ, 4 saat için 47,84µ ve 16 saat için 67,9µ olarak tespit edilmiştir. 550°C' de ise bu değerler 2,4,16 saat işlem süreleri için sırasıyla 50,28µ, 54,84µ ve 77,75µ'dur.

480°C' de 4 katına çıktığında nitrasyon derinliğindeki artış %27 olmaktadır.

Nitrasyon sıcaklığı 520°C olarak uygulandığında 2 saat işlem süresinde elde edilen derinlik değeri, 4 saat işlem süresinde %30'luk, 16 saat işlem süresinde ise %48'lik artış gösterdiği tespit edilmiştir.

550°C' de ise 2 saat olan işlem süresi 2 katına çıktığında nitrasyon derinliğindeki artış %9 olurken, 8 katına çıktığında artış %55 olmuştur.

İşlem süresinin artmasıyla nitrasyon derinliğinde de artış görülmektedir. Aynı şekilde nitrasyon işleminin uygulandığı sıcaklık değerlerinin artması da nitrasyon derinliğini artırıcı yöndedir. Elde edilen en yüksek nitrasyon değeri 550°C de 16 saat işlem süresinde 77,75µ'dur.

DIN 1,278 (40CrMnNiMo 8 64) ve DIN 1,2344 (XCrMoV 5 1) bileşime sahip çelik alaşımlarının numuneleri ayrı ayrı, üç farklı sıcaklık ve üç farklı sürede, plazma nitrasyonuna tabi tutulduktan ve bu numunelerin sertlik değerleri Vickers sertlik cihazında 0,2kp yük ile ölçüldükten sonra ölçülebilen sertlik değerleri ;

DIN 1,278 (40CrMnNiMo 8 64) çeliğinde 480°C işlem sıcaklığında 2 saat işlem süresi için 533 HV, 4 saat işlem süresi için 598 HV ve 16 saat işlem süresi için ise 720 HV' dir. 520°C nitrasyon sıcaklığına tabi tutulduğunda 16 saat işlem süresi sonunda sertlik değeri 883 HV olarak tespit edilmiştir. 550 °C işlem sıcaklığında ise 2, 4 ve 16 saat işlem süreleri sonucu elde edilen sertlik değerleri sırasıyla 788 ve 937 HV'dir.

DIN 1,2344 (XCrMoV 5 1) çeliğinde 480°C işlem sıcaklığında 4 saatlik işlem süresi için 753 HV, 16 saatlik işlem süresi için 818 HV' dir. 520°C nitrasyon sıcaklığı uygulandığında 2, 4 ve 16 saatlik işlem süreleri için tespit edilen sertlik değerleri sırasıyla 847 HV, 956 HV ve 1107 HV'dir. 550 °C işlem sıcaklığında ise 4 saat işlem süresi için 1814 HV ve 16 saat işlem süresi için 2006 HV sertlik değerleri elde edilmiştir.

DIN 1,278 (40CrMnNiMo 8 64) çeliği için; 480°C'de 2 saat işlem süresi 2 katına çıktığında sertlik değerindeki artış %12, 8 katına çıktığında ise sertlik değerindeki artış %35'dir. Aynı sıcaklıkta 4 saat olan işlem süresi 4 katına çıktığında sertlik artışı %20 olarak tespit edilmiştir.

550°C işlem sıcaklığında ise 4 saat olan işlem süresi 4 katına çıktığında sertlik artışı %18'dir.

DIN 1,2344 (XCrMoV 5 1) çeliği için; 480°C'de 4 saat işlem süresi 4 katına çıktığında sertlik değerindeki artış %9' dur. 520°C nitrasyon sıcaklığında 2 saat işlem süresi 2 katına çıktığında sertlik değerindeki artış %13, 8 katına çıktığında ise sertlik değerindeki artış %31'dir. Aynı sıcaklıkta 4 saat olan işlem süresi 4 katına çıktığında sertlik artışı %20 olarak tespit edilmiştir. 550°C işlem sıcaklığında ise 4 saat olan işlem süresi 4 katına çıktığında sertlik artışı %16'dır.

İki farklı çelik alınan numunelerde benzer davranış görülmüş, sıcaklığın artmasıyla sertliğin artış hızı azalmıştır. Bunun sebebi malzemede oluşan temperleme etkisi ve nitrürlerin aşırı büyümesidir.

20. GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada üç farklı bileşime sahip çelik alaşımının numuneleri ayrı ayrı, üç farklı sıcaklık ve üç farklı sürede, plazma nitrasyonuna tabi tutulmuş ve bu numunelerin ışık metal mikroskobu üzerinden nitrasyon derinlikleri ölçülmüştür. Ayrıca Vickers sertlik cihazında 0,2kp yük uygulanmak suretiyle bu numunelerin sertlik değerleri tespit edilmiştir.

DIN 1,278 (40CrMnNiMo 8 64) çelik alaşımı numunelerinin nitrasyon derinliği işlem sıcaklığı arttırıldıkça artma göstermiştir. Sıcaklığın artmasına bağlı olarak artan difüzyon sert nitrür içeren elemanların da çözünmesine neden olmuştur. Bu durumda nitrit oluşumu azalır ve difüzyona fazla etki etmezler ve artmasına neden olurlar.

Sıcaklığın artmasıyla sertliğin artış hızı azalmıştır. Bunun sebebi malzemede oluşan temperleme etkisi ve nitrürlerin aşırı büyümesidir.

İşlem süresinin artmasıyla sertlikte artış görülmüştür. İşlem süresinin daha da artmasının ise çökelen alaşım nitrürleri bir araya toplanmasına neden olduğu ve sertliğin artışını azalttığı gözlenmiştir.

DIN 1,2344 (XCrMoV 5 1) çelik alaşımı numunelerinin de nitrasyon derinliği işlem sıcaklığı arttırıldıkça artma göstermiştir. Diğer çelik alaşım numuneleri ile karşılaştırıldığında daha ince bir nitrasyon tabakasının elde edilmesinin nedeni fazla Cr miktarının ve ince taneli yapının nitrojen difüzyonunu geciktirmesidir. Cr kuvvetli nitrür yapıcı olması nedeni ile sertliği arttıran bir element olmasına rağmen oluşturduğu nitrürler ile beraber azotun yayınmasını da önemli ölçüde engellemektedir.

DIN 1,2379 (X155CrMo 12 1) çelik alaşımı numunelerinin de nitrasyon derinliği işlem sıcaklığı arttırıldıkça artma göstermiştir. Malzemenin karbon içeriği yüzeyde oluşacak beyaz tabaka kalınlığını ve yayınma bölgesi kalınlığını etkilemektedir. Karbon, azot atomlarının yayınmasını kısmen engellediğinden, çelikte artan karbon miktarı ile yüzeyde beyaz tabaka kalınlığı da artmakta, buna karşılık yayınma bölgesi kalınlığı ise azalmaktadır. Buradan anlaşıldığı gibi yüksek sıcaklıklarda yapılan plazma nitrasyon işlemlerinde artan karbon miktarı ile beyaz tabaka kalınlığı belirgin bir şekilde artmakta, diğer taraftan yayınma bölgesi kalınlığı ise azalmaktadır.

Plazma nitrasyon ile sıcak iş takım çelikleri, soğuk iş takım çelikleri, yüksek hız çelikleri, ıslah çelikleri, düşük alaşımlı çelikler gibi çok çeşitli malzeme türlerinde başarıyla kullanılmaktadır.

İlk kurulum maliyeti diğer geleneksel nitrasyon yöntemlerine göre pahalı olmasına karşılık işletme, çalışma ve bakım gibi diğer bütün maliyetlerde göz önünde bulundurulduğunda yöntem, parça başına maliyet açısından diğer geleneksel yöntemlerle rekabet edecek konuma ulaşmaktadır. Plazma nitrasyon tesis ile doğrudan ilgili bütün bu kazanımların yanısıra yöntemin, uzun servis ömrü iyi yüzey özellikleri ve yüksek boyut tamlığı gibi dolaylı avantajları da vardır. Böylece dizayn aşamasından üretimine kadar yoğun emek harcanan makine parçalarının kullanım ömürlerinde belirgin artışlar elde edilebilir.



KAYNAKLAR

“A.S.M. Handbook, Gas Nitriding”, 409-424.

Akgül A., (1990), “Nitrüleme İşleminde Kabuk Derinliğini ve Sertliğini Etkileyen Faktörler Üzerine Bir Çalışma”, 6. Metalurji Kongre ve Sergisi, 31 Ekim-4 Kasım 1990, 417-427.

Akgül C., (1986), “Yüzeyi Sertleştirilmiş Çeliklerin Isıl İşlemi”, İTÜ Kimya Metalurji Fakültesi Bitirme Tezi, İstanbul, 14-20.

Alnıpak B., (2001), “Plazma Nitrasyon ve Uygulamaları”, İstanbul Üniversitesi Bitirme Projesi, İstanbul, 1-50

Arslan O., (2001), “Plazma Nitrüleme Isıl İşleminin Makina Parçalarının İçyapı ve Mukavemet Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi”, Kocaeli Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli, 1-72

Bal M., (1992), “Nitrürasyonla Yüzey Sertleştirme”, İTÜ Kimya Metalurji Fakültesi Bitirme Ödevi, İstanbul, 1-68.

Brading H.J., Morton P.H., Bell T., Earwaker L.G., (1992), “Surface Engineering”, The Institute of Materials Surface Engineering vol.8 No.3, London.

Çebin E., (1994), “Nitrürasyon”, İTÜ Kimya Metalurji Fakültesi Bitirme Ödevi, İstanbul, 1-68.

Çelik A., Karadeniz S., (1993), “İyon Nitrasyonunda, Gaz Karışımı Oranının ve Sıcaklığın İç Yapıya Etkisinin İncelenmesi”, 5. Denizli Malzeme Sempozyumu, 7-9 Nisan 1993, Denizli, 518-524.

Çelik A., Karadeniz S., (1993), “Tuz Nitrasyonunun Yorulma Mukavemetine Etkisi”, 5. Denizli Malzeme Sempozyumu, 7-9 Nisan 1993, Denizli, 525-530.

Çep H., Zeytin S., Tepecik M., (1993), “Bildiriler Kitabı, Cilt 2”, 7. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, 4-8 Mayıs 1993, Ankara, 879-885.

Çetingöz C., (1979), “Nitrasyon”, İTÜ Maden Fakültesi, Metalurji Kürsüsü Bitirme Ödevi, İstanbul, 10-51.

Demirkaya İ., (1998), “Nitrasyon, Takım Çeliklerine Uygulanan Yüzey İşlem Prosesi”, Yüzey İşlemler Dergisi Teknik Makale, 48-50.

Geçkinli E., (1989), “Metalografi”, Kısım 1, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası

Gümüşsuyu, 99-254.

Göknil A., "Tuz Banyosunda Nitrasyon", *Yüzey İşlemler Dergisi Teknik Makale*, 254-256.

Jones C., Sturges D., Martin S., "Glow-Discharge Nitriding in Production", *Metal Progress*, December 1973, 186-187.

Karamış M.B., (1991), "Metallurgical and Protective Layers", Department of Mechanical Engineering, Engineering Faculty, University of Erciyes, January 1991, Kayseri, 49-60.

Karaoğlu S., Belevi M., Karaoğlu Ç., Karadeniz S., (1997), "İyon Nitrürlenmiş 41Cr4 Çeliğinin Aşınma Davranışının İncelenmesi", 7. Denizli Malzeme Sempozyumu, 2-4 Nisan 1997, Denizli, 308-312.

Karaoğlu S., Karadeniz S., (1997), "16MnCr5 Çeliğinin İyon-Nitrürasyon Davranışının İncelenmesi", 7. Denizli Malzeme Sempozyumu, 2-4 Nisan 1997, Denizli, 384-387.

Keneş S., (2001), "Kalıp Isıl İşleminde Plazma Nitrürleme Uygulamaları", *Kalıp Dünyası Dergisi*, Mayıs-Haziran 2001 Sayı 9, 20-21.

Rolinski E., LeClaire F., Clubine D., Sharp G., Boyer D., Notman R., (2000), "Kinetics of Plasma Nitriding and Renitriding of 3% Cr-Mo-V Steel", *Journal Of Materials Engineering Performance*, August 2000, 457-461.

Sarı N.Y., Tülbentçi K., (1997), "Modern Yüzey İşlemleri ile Aşınma Direncinin İyileştirilmesi", 7. Denizli Malzeme Sempozyumu, 2-4 Nisan 1997, Denizli, 370-377.

Sönmez M., (1972), "Nitrürasyon", İTÜ Maden Fakültesi, Metalurji Kürsüsü Bitirme Ödevi, İstanbul, 1-45.

Topbaş M. A., (1993), "Endüstri Malzemeleri", Cilt 1, YTÜ, İstanbul, 141-156.

Topbaş M. A., (1993), "Isıl İşlemler", YTÜ, İstanbul, 229-285.

Toptaş H., (1991), "Nitrürasyon İşlemi ile Çeliklerin Sertleştirilmesi", İTÜ Kimya Metalurji Fakültesi Bitirme Ödevi, İstanbul, 1-78.

Toshkov V., Tonchev T., (1995), "Bildiriler Kitabı, Cilt 1", 8. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, 6-9 Haziran 1993, İstanbul, 657-662.

Yüksel M., Uzun F., (1986), "Bildiriler Kitabı, Cilt 2", 4. Ulusal Metalurji Kongre ve Sergisi, 22-25 Ekim 1986, Ankara, 724-739.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 02.05.1978

Doğum yeri Ankara

Lise 1989-1996 Gazi Anadolu Lisesi

Lisans 1997-2001 Yıldız Teknik Üniversitesi
Kimya Metalurji Fakültesi,
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2001- Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Metalurji ve Malzeme Müh. Anabilim Dalı,
Malzeme Programı

Çalıştığı kurum(lar) 2002- ODEMA Madencilik San. Ve Tic. A.Ş.