

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

AKIŞKAN YATAKLI FIRINDA NİTRASYON İŞLEMLERİ

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

Met. Müh. Zekeriya Yaşar CÖMERT

FBE Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı Malzeme Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Adem BAKKALOĞLU (YTÜ)

prof Dr. Ahmet Toprak
Prof. Dr. Cemalettin Yaman
Doç. Dr. Adem Bakkaloğlu

İSTANBUL, 2002

128580

İÇİNDEKİLER

128580

ŞEKİL LİSTESİ	ii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	iii
ÖNSÖZ	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
1 AKIŞKAN YATAK SİSTEMLERİ.....	1
1.1 Akışkan Yatak Isıl İşlem Prensipleri.....	1
1.2 Akışkan Yatak Karakteristikleri.....	2
1.3 Akışkan Yatak Fırınlarının Uygulamaları.....	3
1.3.1 Karbürleme, Nitrüleme ve Karbonitrüleme	4
2 EN UYGUN SİSTEM PARAMETRELERİ.....	5
2.1 Akışkan Yatak Ortamı.....	5
2.2 Akışkan Yatak Partikül Boyutu.....	6
2.3 Akışkan Yatak Sıcaklığı.....	8
3 AKIŞKAN YATAK FIRINLARININ TERMAL ÖZELLİKLERİ.....	11
3.1 Akışkan Yataklarda Isı Transferleri	12
3.2 Akışkan Yataklarda Atmosfer Kontrolü.....	14
4 AKIŞKAN YATAK FIRINLARININ AVANTAJLARI	15
5 NİTRASYON	19
5.1 Nitrasyon İşleminin İncelenmesi.....	19
5.2 Nitrasyonda Sertleşme Mekanizması	21

5.3	Çelikte Alüminyum Nitrür	21
5.4	Nitrasyon İçin Çelikler	22
5.5	Nitrasyona Etki Eden Faktörler	25
5.5.1	Alaşım Elementlerinin Etkileri.....	25
5.5.2	Zamanın Etkisi	26
6	AKIŞKAN YATAKTA NİTRASYON	27
7	NİTRÜRLENMİŞ PARÇALARIN ÖZELLİKLERİ.....	29
7.1	Sürtünme ve Aşınmayla Mukavemet	29
7.2	Temperlenmeye Karşı Yüksek Direnç ve Yüksek Sıcaklıklarda Yüksek Sertlik .	31
7.3	Yüksek Yorulma Mukavemeti ve Düşük Çentik Hassasiyeti	33
7.3.1	Yorulma Mukavemetinin Artışının Prensibi	33
7.3.2	Düşük Çentik Hassasiyeti.....	34
7.4	Korozyon Direnci	34
8	BAZI NİTRÜRLEME PROBLEMLERİ	35
8.1	Düşük Sertlik Durumu.....	35
8.2	Nesnelerin Renklerinin Değişmesine Neden Olan Sebepler	36
8.3	Boyutlardaki Değişiklik	37
8.4	Çatlama ve Kırılma	37
8.5	Amonyanın Farklı Ayrışması	37
8.6	Egzoz veya Boru Yollarının Tıkanması	38
9	NİTRÜRLEMENİN AVANTAJLARI	39
9.1	Nitrürleme İşleminin Dezavantajları	39

9.2	Nitrürleme İşleminin Uygulandığı Çeşitli Malzemeler ve Kullanım Alanları.....	39
10	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	41
10.1	Deneyin Amacı.....	41
10.2	Deneyde Kullanılan Araç ve Gereçler.....	41
10.3	Deneyin Yapılışı.....	41
10.4	Çekme Deneyi	44
10.5	Çentik Darbe Deneyi	46
10.6	Metalografik Bulgular	48
11	SONUÇLAR VE İRDELEME.....	51
	KAYNAKLAR.....	53
	ÖZGEÇMİŞ	54

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 Akışkanlaşmanın genel faz veya kademeleri.....	2
Şekil 1.2 Akışkan yatak içinde soğutulan numunenin diğer geleneksel soğutma işlemlerini karşılaştırılması	3
Şekil 2.1 Oda sıcaklığındaki değişik akışkan yatak otamları için soğuma eğrileri.....	6
Şekil 2.2 75mm çaplı numunelerde partikül çapının soğutma hızı üzerine etkisi	7
Şekil 2.3 50mm çaplı numunelerde partikül çapının soğutma hızı üzerine etkisi	8
Şekil 2.4 Akışkan yatak sıcaklığının fonksiyonu olarak soğuma hızı eğrileri.....	9
Şekil 2.5 Değişik martemperleme oranları için soğuma eğrileri	10
Şekil 3.1 Sıcaklığa bağlı ısı transfer oranları	13
Şekil 4.1 Akışkan yataklı fırının şematik görünümü	18
Şekil 5.1 Fe-N denge diyagramı	20
Şekil 5.2 Alaşım elementlerinin % 0,35 C, % 0,30 Si, %0,70 Mn içerikli çeliğin alaşım sonrası sertliğine etkisi	22
Şekil 5.3 Alaşım elementlerinin nitrürleme sonrası sertliğe (8 saat 520 °C) etkisi.....	23
Şekil 5.4 Al- konsantrasyonunun sertlik ve derinlik üzerine etkisi (500 °C 'de 4 gün)	26
Şekil 7.1 Nitrasyonla tutulmuş ve tutulmamış bazı çeliklerin sıvı nitrasyonla aşınmaya dayanıklılıkları	29
Şekil 7.2 Nitrüre edilmiş ve edilmemiş C15 numunelerinin aşınma durumları.....	30
Şekil 7.3 Nitrasyonla tutulmuş ve tutulmamış malzemelerden yapılmış dişli çarkların aşınma miktarı.....	30
Şekil 7.4 Nitrürlenmiş çeliklerin ve yüzey sertleştirme işlemi uygulanmış çeliklerin temperlenme eğrisi.....	31
Şekil 7.5 Nitrürlenmiş çeliklerin ve sıcak iş çeliklerinin yüksek sıcaklıktaki sertlikleri.....	32
Şekil 7.6 Nitrasyon derinliği zaman ve sıcaklığın etkisi.....	32
Şekil 7.7 Sıcaklığın sertliğe etkisi.....	33
Şekil 10.1 Çekme numunesi	44
Şekil 10.2 Çentik darbe numunesi	46

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1	Farklı fırınlar arasında göreceli ısı transfer katsayıları değişimi	11
Çizelge 3.2	Akışkan yataklar ve tuz banyoları içindeki D3 tipi takım çeliğinin izotermal soğutma ve sertleştirme etkilerinin karşılaştırılması.....	13
Çizelge 4.1	Akışkan yatakla diğer yöntemlerin karşılaştırılması	16
Çizelge 4.2	Akışkan yatakla diğer yöntemlerin karşılaştırılması	17
Çizelge 10.1	AISI 4140 çeliğinin kimyasal analizi	42
Çizelge 10.2	DIN 8550 çeliğinin kimyasal analizi	42
Çizelge 10.3	İslah öncesi ve sonrası sertlik değerleri	42
Çizelge 10.4	Deney sonuçları (3 saat)	42
Çizelge 10.5	Deney sonuçları (6 saat)	43
Çizelge 10.6	Deney sonuçları (12 saat)	43
Çizelge 10.7	Çekme deneyi numunesi ölçüleri	45
Çizelge 10.8	Nitrürlenmiş numunelerin çekme değerleri	45
Çizelge 10.9	Nitrürlenmiş numunelerin çentik darbe değerleri.....	47

ÖNSÖZ

Bu çalışmayı gerçekleştirmemde yardımlarını esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübesini benimle paylaşan sayın Prof.Dr. Ahmet Topuz'a, tez yürütücüm sayın Doç.Dr. Adem Bakkaloğlu'na, desteklerini her zaman hissettiğim aileme, arkadaşlarıma ve özel çabaları için nişanlım Irmak Kırmanoğlu'na teşekkürü borç bilirim.



AKIŞKAN YATAKLI FIRINDA NİTRASYON İŞLEMLERİ

Zekeriya Yaşar CÖMERT

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi

Günümüzde ısıtım işlem fırınlarının seçiminde sıcaklık ve ortam kontrolünün yanı sıra, ekonomik ve çevresel şartlar da göz önünde bulundurulmalıdır. Akışkan yataklı fırınlar, ısıtım işlem uygulamalarında birçok avantaj sağlamakta ve kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Bu çalışmada nitrasyon işleminin metalografik yapıya, tabaka kalınlıklarına, çekme ve çentik darbe dayanımı üzerine etkileri hakkında bilgi verilmektedir. Deneylerde AISI 4140 ve DIN 8550 çelikleri kullanılmıştır. Numunelere 850°C'de 1 saat süreyle sertleştirme işlemi uygulanmış ve bu süre sonunda yağda soğutma yapılmıştır. Son olarakta 600°C'de menevişleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu numunelerin ıslahlı ve ıslahsız halleri 3-6-12 saat sürelerde 520-570°C sıcaklıklarda, %50 NH₃- %50N₂ ortamında nitrasyon işlemine tabi tutulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Akışkan, Yatak, Fırın, Isıtım İşlem, Nitrasyon



NITRIDING PROCESS IN FLUIDIZED BED FURNACES

Zekeriya Yaşar CÖMERT
Metallurgical Engineering, M.S. Thesis

Today, despite of the control and the atmosphere it is also required to consider the economical and the environment conditions for choosing the heat treatment furnaces. The fluidized bed furnace how many advantages and increasingly used in heat treatment applications. In this study; information about nitration in fluidized bed furnace, the effects of nitration on microstructure, thickness of layers, tensile and impact strength is given. In the experimental studies AISI 4140 and DIN 8550 steels were used. These specimens were nitrated as quenched and tempered. Hardening and oil quenching were applied for an hour in 850°C. Then tempering was made at 600°C. These specimens were nitrated in 50%NH₃-50%N₂ atmosphere at 520-570°C for 3-6-12 hours.

Keywords: Fluidized, Bed, Furnace, Heat Treatment ,Nitriding



1. AKIŞKAN YATAK SİSTEMLERİ

Bu sisteme göre, akışkan ortamı oluşturan ve sonsuz ömürlü, yüksek ergime sıcaklığına sahip olan Al_2O_3 partikülleri gaz ortamında katı halde sıvı gibi hareket etmektedirler. Yüksek sıcaklığa dayanıklı metal pota içerisine yerleştirilen $100\mu m$ civarı boyutlarında Al_2O_3 toz partikülleri, alttan gelen basınçlı akışkanlaştırıcı gazla harekete geçerek akışkanlaşma sağlanmaktadır. Akışkanlaştırıcı gazın geliş hızları yatağı oluşturan Al_2O_3 partiküllerinin hareketlerini kontrol etmektedir. Gereğinden yüksek hızda gelen gaz, yatağın pnömatik olarak taşınmasına yol açarken, düşük hızda gelen gaz akışı da yetersiz ısı transferine ve çalışma ortamına yol açmaktadır.

Akışkan yatak teknikleri metal işleme endüstrisinde çok yeni değildir. Akışkan yatak koşullarında minerallerin kavrulmasını içeren 19.yy'a ait bir Amerikan patenti bulunmaktadır. Diğer yapılmış uygulamalar çömlekçi çamuru ve balçık içerir. Akışkan katı partiküllerin sistemi, kum gibi doğada oluşur.

Akışkan yatağı, metallerin ısı işleminde kullanmak için ilk çalışmalar, çalıştırılabilinecek sıcaklıklarla sınırlandırılmıştır. Elektrik ısıtmalı fırınlarla $500^{\circ}C$ 'ye kadar çıkabilen akışkan yataklar ticari olarak üretilebiliyordu, fakat daha yüksek sıcaklıklara çıkılmak istendiğinde zorluklarla karşı karşıya kalındı. En büyük problem sıcak akışkan gazları dağıtan refrakter dağıtıcılarındaki yüksek oranın tüketilmesi idi.

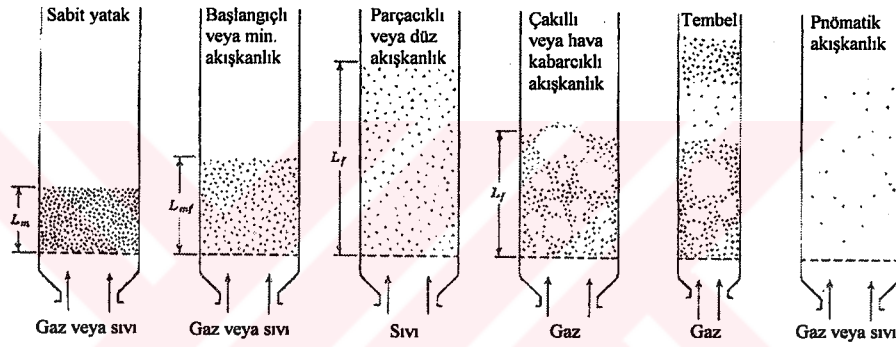
Önceki gaz ısıtmalı akışkan yatak fırınlarının dizaynı, gaz potalarının tabanından girer ve yanıcı olabilmesi için daha sonra hava ile karıştırılırdı. Yeni dizaynlarla ise karışımlar ayrı koyulmakta ve bu yüzden kazaen yanıcı olmamaktadırlar. Bu dizayn giriş noktasındaki patlama tehlikesini de yok etmektedir. Burada öncelikle yatak yüzeyi ısıtılır ve yatağın giriş maddeleri üniform bir ısı işlem sıcaklığına ulaştığında ısınan yüzey partikülleri potanın iç kısımlarına doğru ilerleyen bir yanıcılığa neden olurlar. Daha yeni fırın dizaynları, akışkan yatak teknolojisini daha yüksek sıcaklık oranlarına genişletir ($540^{\circ}C$ 'dan $1040^{\circ}C$ 'ye).

1.1. Akışkan Yatak Isıl İşlem Prensipleri

Akışkanlaşma da, kuru bir yatakta ısı işlem için genelde Al_2O_3 olan, ince ince bölünmüş partiküller, yatak içindeki bir dağıtıcı veya distribütörün içinden yukarıya doğru üflenerek gazla beslenerek sıvı gibi davranması sağlanır. Bir gaz akışkan yatak tamamen çözümlenmiş üst limit veya yüzey gösterdiği zaman sıkı faz bir akışkan yatak düşünülebilir. Yeterli

yükseklikteki bir sıvı akış oranında, katıların termal hızı aşılmasına rağmen, yatak harekete geçer ve yatağın üst yüzeyi yok olur. Bu durum, katıların pnömatik taşındığı dağılmış, sulanmış ve kuru fazlı bir akışkan yatak oluşturur.

Akışkanlaşmanın genel fazları veya kademeleri Şekil 1.1’de gösterilmiştir (Reynoldson, 1989). Genellikle, birleşmiş veya kabarcıklı tip kademeleri ısı işlem prosesleri için kullanılır. Akışkanlaşmanın kalitesini sadece katı ve akışkanın özellikleri belirlemesine rağmen (bu düzgün veya kabarcıklı akışkanlaşma oluşumudur), katı karışım oranını, kabarcıkların kenarlarını ve heterojenliğin genişliğini etkileyen birçok faktör vardır. Bu faktörler, yatak geometrisini, gaz akış oranını, gaz dağıtıcısının tipini ve bölme duvarı, filtre ve ısı değiştiriciler gibi iç-kazan özelliklerini içerir.



Şekil 1.1 Akışkanlaşmanın genel faz veya kademeleri

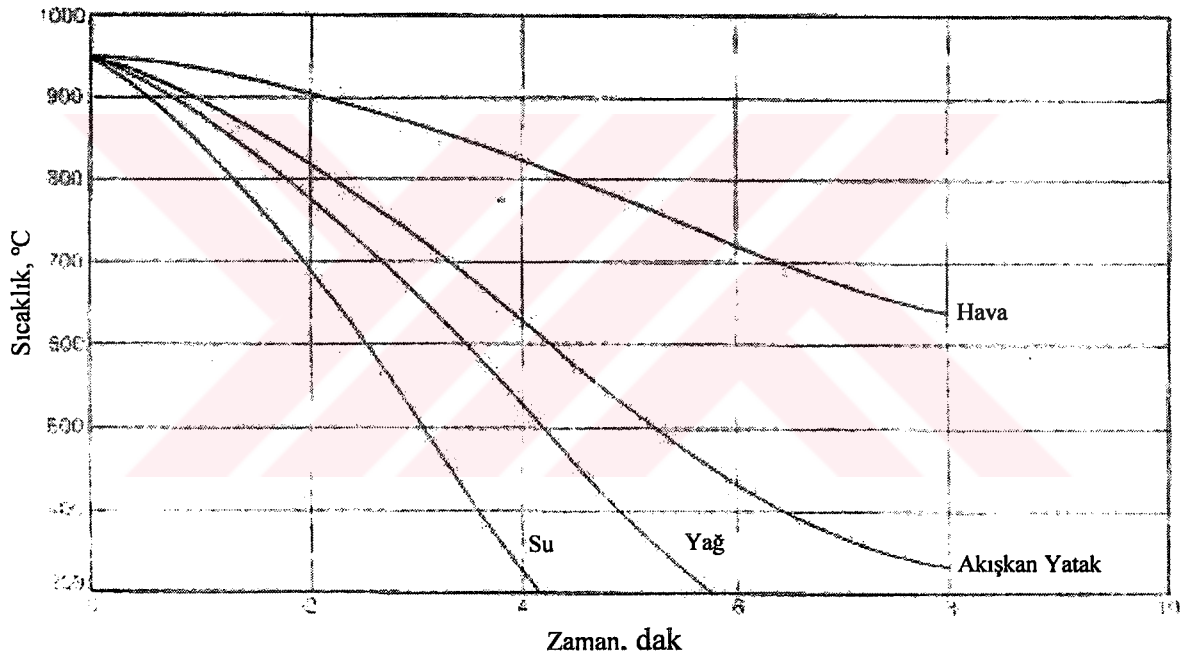
1.2. Akışkan Yatak Karakteristikleri

Temel araştırmalar göstermektedir ki, minimum akışkanlık noktasına ulaşıldığı an bir yatak, akışkan yatak olur. Bu noktanın pratik noktalarda akışkanlık noktasını genişlettiği söylenebilir. Mesela akışkan yatak ortamının tane boyutu belirli bir dağıtmanın üzerinde değişebilir. Partikül şekillerinin veya faz karışımlarının farkları gibi diğer faktörler de bu bağlantıda önemlidir. Genel olarak, minimum akışkanlık oranı veya noktası ısı transferi için optimumu tanımlamaz.

İlgili literatürlerde, partikül boyutu ve akışkan ortamın yoğunluğu ve yatağın çap-yükseklik oranı, ısı transferini etkileyen en önemli faktörler olarak anılırlar. Bu durumda kullanılan gazın cinsi en az öneme sahip olandır. Partikül boyutlarının azatılması (1000’den 500µm’ye) Ve akış ortamının yoğunluğunun artırılması, ısı transferi etkilerinin arttırımına önderlik eder.

Dahası işlevsel ünite içinde tüm kullanılan hacim içindeki spesifik performans karakteristikleri olabildikleri kadar homojen olmalıdır. Yükseklik-çap oranının bire yakın olanına göre daha kötüdür.

Şekil 1.2’de, akışkan yatak içinde soğutulan bir numunenin soğuma eğrisiyle, diğer geleneksel soğutma işlemlerini karşılaştırılmaktadır. Akışkan yatakta soğutma oranı havada soğutmadan çok daha hızlı fakat yağda soğutmadan daha yavaştır. Böylece bu diagram, akışkan soğutmanın genel pratik kullanım limitlerini tanımlamaktadır. Bir akışkan yatak hızlı havada soğutma için çalıştırılabilir ve bazı durumlarda da yağda sertleştirilen çeliklerde, suda veya tuzlu suda soğutmaya alternatif sunmaz.



Şekil 1.2 Akışkan yatak içinde soğutulan numunenin diğer geleneksel soğutma işlemlerini karşılaştırılması

1.3 Akışkan Yatak Fırınlarının Uygulamaları

Isıl işlem için akışkan yatak teknolojisinin birçok uygulama alanları söz konusudur. Tüm tel ve şerit işlemleri, sürekli üniteleri içeren metallerin ısıl işlemleri (patentleme, östenitleme, tavlama, temperleme, soğutma,... gibi) ve banyo-tipi üniteleri içeren genel ısıl işlem uygulamaları akışkan yataklarda yapılabilir. Yaklaşık 150kg/h (330lb/h)'lik boşaltma delikli bir tipik banyo-tipi ünite standart bir fırın olarak kullanışlıdır. Bu, mekanik uygulama ekipmanları kullanarak, sürekli ısıl işlem hattı otomatikleştirilebilir.

1.3.1. Karbürleme, Nitrürleme ve Karbonitrürleme

İleriki yıllar, yeni dizaynlar akışkan yatak fırınlarını karbürleme, nitrürleme ve karbonitrürleme işlemleri için kullanmaya izin vermiştir. Bu teknik 80 mesh veya 180µm boyutlarında Al_2O_3 partiküllerinin akışkanlık etkisi üretmesini sağlamıştır. Böylece yatak, bir sıvı gibi davranır. Isı kaynağı olarak gaz veya elektrik kullanıldığı zaman, yatak daha hızlı bir ısı transfer ortamı sağlar. Bu tavlama veya temperleme fırınları ile sağlanabilir.

Önceleri, alevli iç-yanmalı üniteler veya daldırılmalı yanma üniteleri hem ısı kaynağını hem de akışkanlaştırma/karbürleme ortamını sağlamak için başarılı olarak kullanılıyordu.

Son zamanlarda, dış ısıtmalı akışkan yataklara daha fazla dikkat edilmektedir. Ayrı ısıtma ve akışkanlaştırma fonksiyonlarının bir neticesi olarak karbürizasyon prosesi üzerine daha büyük bir kontrole izin verdiği ispatlanmıştır. Karbürizasyonla, akışkan yatakta farklı aktif gazlar kullanarak yüzey sertleştirme işlemleri yapılabilmektedir. Genellikle azot/metanol, doğalgaz/hava, propan/hava, doğalgaz/azot ve propan/azot gibi gazlar karbürizasyon işlemleride kullanılmaktadırlar. Akışkan yatak fırınlarında genellikle hava/propan kullanılarak karbürizasyon işlemleri yapılmaktadır. Uygulamalarda daha zengin karbon atmosferi oluşturmak içinde azot/metanol karışımı hidrokarbon ilaveleriyle kullanılmaktadır. Sıvı metanol evaporatör ile buharlaştırılarak azot/propan gazları ile fırının altında karıştırıldıktan sonra fırına verilmektedir. Karbürizasyon atmosferine ilave edilen %5 civarında NH_3 ve akışkan katı partiküllerin yardımıyla diğer sistemlere göre daha homojen bir tabaka, daha hızlı bir şekilde elde edilebilmektedir.

2.EN UYGUN SİSTEM PARAMETRELERİ

2.1. Akışkan Yatak Ortamı

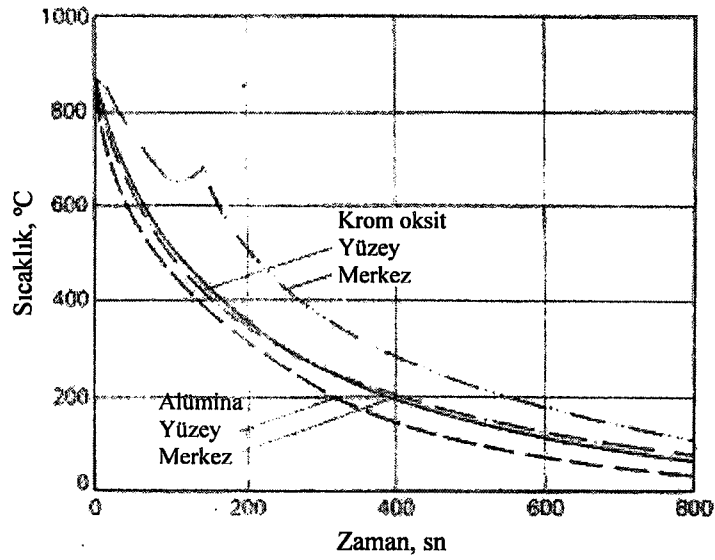
Hemen hemen uygun partikül boyutuna sahip olan her katı akışkanlaştırılabilir. En önemli kriterler şunlardır:

- Mekanik stabilite
- Termal kapasite
- Soyluk (veya daha spesifik olarak gazlara bağışıklık)
- Kesinlikle sağlık açısından tehlikesiz
- Sağlamlık
- Ekonomik verim

Büyük sayıda akışkan yatak ortamı test edilmiştir ve özellikle alüminanın soğutma için en uygun olduğu bulunmuştur. Soğutma karakteristiklerini değerlendirebilmek için her bir durum için 100mm uzunluğunda 25-50 ve 75mm çaplı 90MnCrV8 (0,85-0,95%C, 0,10-0,40%Si, 1,90-2,10%Mn, 0,20-0,50%Cr, 0,05-0,15%V) silindirik şeklindeki çelik numunesi ile testler yürütülmüştür(Reynoldson, 1989).

Şekil 2.1 75 mm çaplı Al_2O_3 ve Cr_2O_3 çubukların (820°C'de 20 dakika östemperlendikten sonra) akışkan yatakta soğutma eğrilerini göstermektedir (çubuğun merkezi için olan soğuma eğrisindeki devamsızlık perlit dönüşümü olarak tanımlanabilir).

Soğutma için diğer birçok oksitler de test edilmiş, fakat hiçbiri Al_2O_3 'dan daha hızlı bir soğuma hızı sergileyememiştir. Diğer seçeneklerle de karşılaştırıldığında, Al_2O_3 akışkan yatak ortamı olarak birçok avantajlar sunmaktadır. Bu avantajlar ısı transfer kapasitesi, sıcaklık stabilitesi, homojenlik ve çevresel kabul olarak da sıralanabilir.



Şekil 2.1 Oda sıcaklığındaki değişik akışkan yatak otamları için soğuma eğrileri (90MnCrV8 çelik numune, 75mmx100mm, 820°C'den soğutulmuş)

2.2. Akışkan Yatak Partikül Boyutu

Soğutma uygulamaları için en iyi oksitin bulunması, aynı zamanda optimum partikül boyutunun belirlenmesi içinde gereklidir. Boskakov , daha küçük tane boyutları kullanıldığı zaman daha yüksek ısı transferi etkilerinin olacağını söyler. Swing'deki bir seri testler göstermiştir ki, üç değişik tane boyutu incelenmiştir. Şekil 2.2 ve 2.3'de sonuçlar gösterilmiştir.

75 mm çaplı numunelerinde (Şekil 2.2) üç tane boyutu arasında çok az farklılık bulunmaktadır. Fakat daha kaba oksitlerle daha hızlı bir soğutma oranına doğru meyil olmaktadır. Bu trend 50 mm çaplı numunelerle (Şekil 2.3) daha da göze çarpmıştır.

Şekil 2.3'de en geniş boyut, en yüksek soğuma oranına sahiptir. Daha küçük bileşenler test edildiğinde ısı transferinin soğuma oranı üzerinde daha yüksek bir etkisi olması normaldir, daha geniş bileşenlerle ısı iletkenliği daha fazladır.

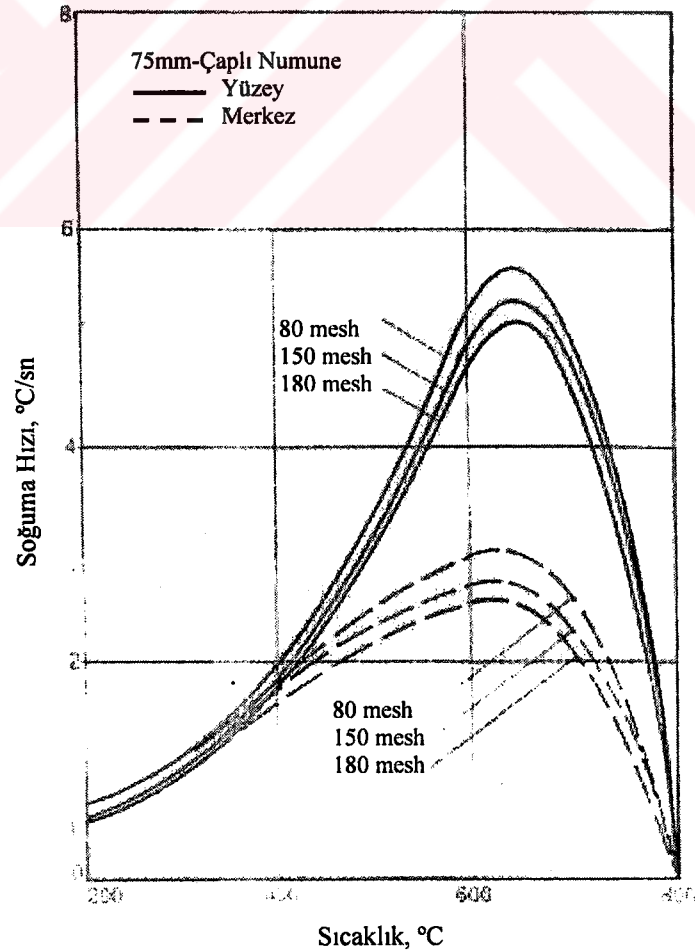
Bu şekilde bu sonuçlar öncelikle Boskakov'un araştırma çalışmalarıyla çelişiktir. Bununla beraber yüzeydeki ısı değişikliği ile akışkan yatak arasındaki maksimum sıcaklık farkında iki çalışma arasında önemli bir fark vardır.

Boskakov küçük sıcaklık farklarındaki (100°C'den küçük) ısı transfer katsayısı hesaplamıştır, halbuki şu andaki çalışmada bileşenlerle akışkan yatak arasındaki sıcaklık farkı yaklaşık olarak 800°C'dir (daldırma durumunda).

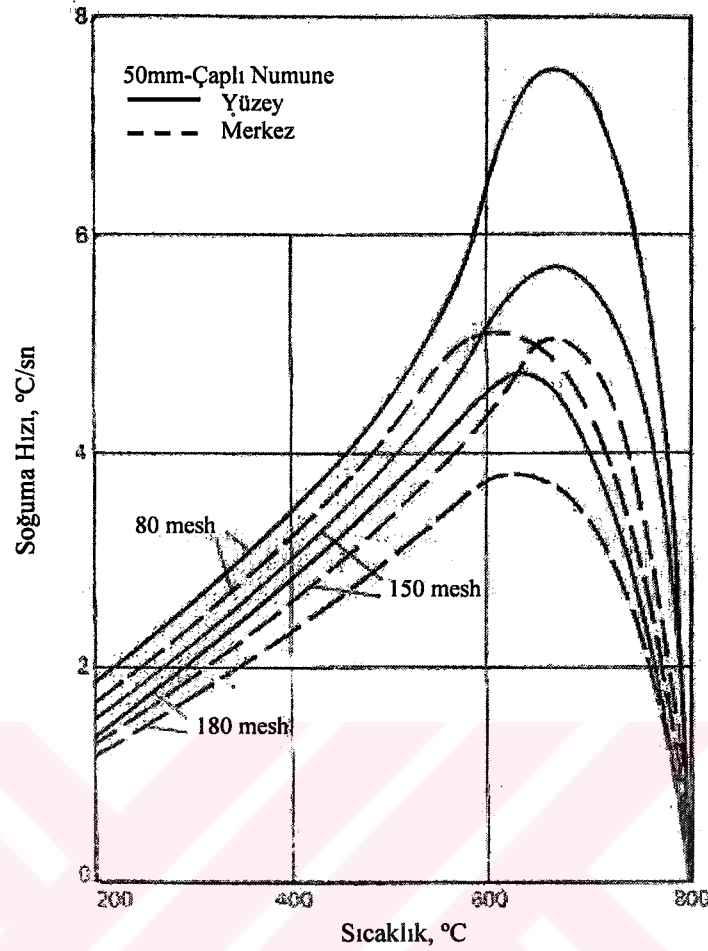
Bu nedenle, soğutmanın parçaya direkt olarak temas eden yatağın hacmi sıcaklıkta darbe gibi bir etkiyle artış sağlar ve aynı zamanda akışkan gaz genişler.

Bu büyük genişleme lokal olarak kısıtlanır ve bu da aşırı akışkanlıkla sonuçlanır. Bu aşırı akışkanlıktan dolayı daha hafif olan partiküller daha geniş ve ağır partiküllere göre, bileşen yüzeyinden de daha büyük oranında uzaklaştırılır.

Bir akışkan yataktaki ısı transferi partiküllerle parça arasındaki temas ve partiküllerin kendi aralarındaki temasına bağlıyken, aşırı akışkan şartlarda daha küçük partiküllerin kullanımı daha düşük soğutma koşullarına sebep olur. Bu nedenlerle gösterir ki, kaba oksitler akışkan yatakta soğutma için tercih edilir. Aynı yüksek sıcaklıklı akışkan yatak işlemlerinde olduğu gibi çoğu soğutma uygulamalarında da 80 mesh'lik malzeme kullanılır. Elek delik açıklığı 80mesh'den daha kaba malzemeler soğuma oranına arttırabilecekken bunlarla ilgili testler yapılmamıştır. Artan tane iriliği akışkan gaz tüketimini arttırması ve buna bağlı olarak operasyonun ekonomisini ters yönde etkileyen faktör olmuştur.



Şekil 2.2 75mm çaplı numunelerde partikül çapının soğutma hızı üzerine etkisi



Şekil 2.3 50mm çaplı numunelerde partikül çapının soğutma hızı üzerine etkisi

2.3. Akışkan Yatak Sıcaklığı

Şimdiye kadar ki testlerin tamamı ortam sıcaklığından çok uzak olan testlerdi. Yatak sıcaklığının soğutma kapasitesi üzerine ki etkisini test etmek için 75mm çaplı numuneler, değişik sıcaklıklara ısıtılan akışkan yataklar içerisinde soğutuldu. Buna ek olarak, testler aynı zamanda soğutma bobinine daldırılarak -80°C'ye soğutulmuş akışkan yatakta yapılmıştır.

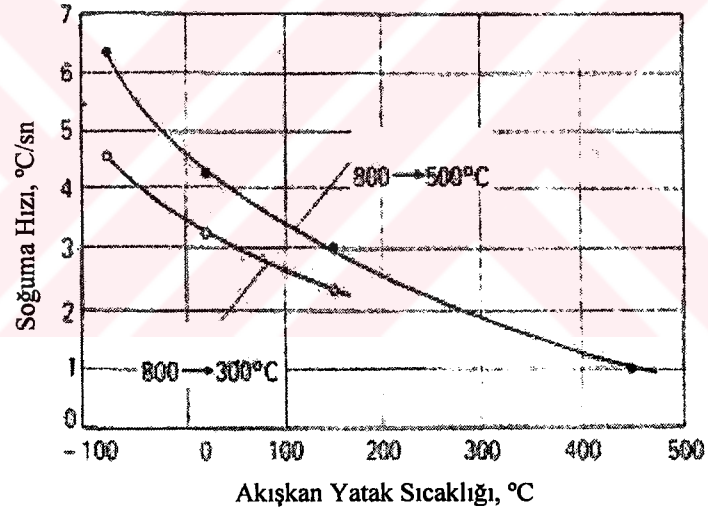
Şekil 2.4 800°C'den 500°C'ye; 800°C'den 300°C'ye olan soğutma oranlarını yatak sıcaklığının fonksiyonu olarak test sonuçlarını göstermektedir. Bütün durumlardaki soğutma sonuçları, numunelerin çekirdeklerindeki sıcaklıkları göstermektedir. Değişik yatak sıcaklıkları kullanılarak 1-6°C/sn. arasında değişebilen soğuma oranları görülebilir.

Normal ortamdaki akış, yataktaki soğuma ile mukayese edildiğinde -80°C'deki akışkan yatakta soğuma hızı yaklaşık %50 arttığı görülür. Maalesef, soğutulmuş bir akışkan yatak hiç ekonomik bir durum yaratmaz ve buna bağlı olarak, buna yakın olanları da pratik uygulamaya sahip olmaz.

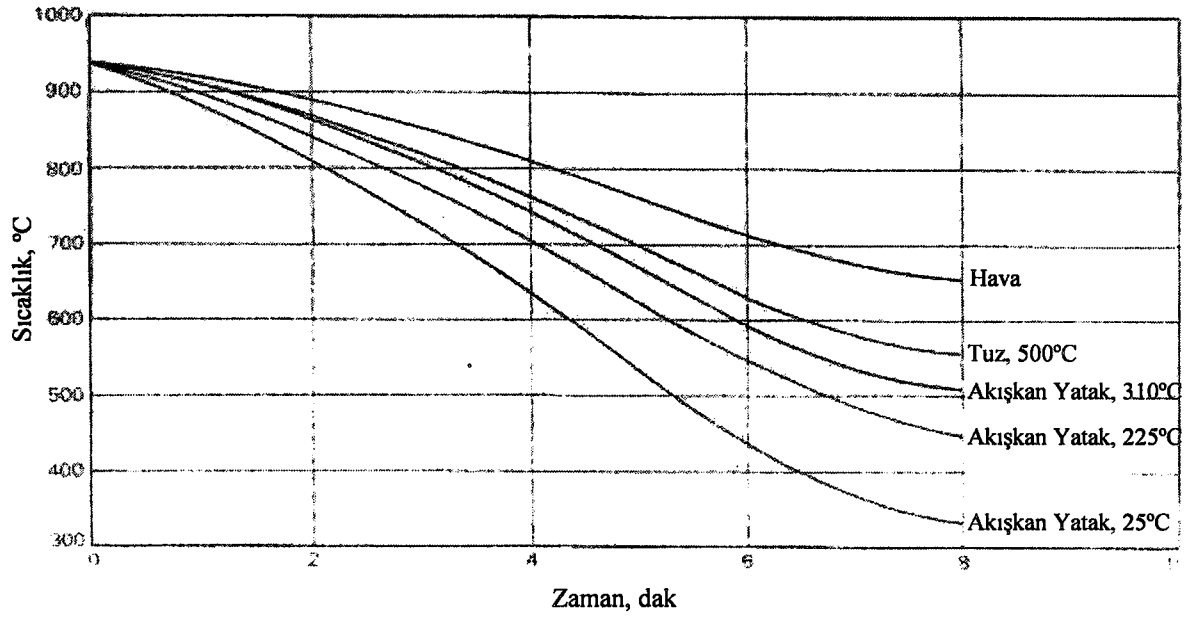
Şekil 2.4 yüksek sıcaklıktaki aralıklı soğuma, östemperleme ve martemperleme uygulamaları için akış, yatağın potansiyelini anlamamıza musade eder.

Martemperleme için bir akışkan yatak kullanılarak martenzit dönüşüm başlangıç noktasının martemperleme sıcaklığına adapte etmek mümkündür. Isıl işlem atölyeleri akışkan yatak martemperleme sistemlerini kullanarak tipik olarak tav yatağını Ms'den 50°C yüksek sıcaklıkta çalıştırır.

Şekil 2.5, bazı deneysel değişik martemperleme ortamları için soğuma eğrilerini göstermektedir. Yüksek hız çeliklerinin soğutulması için tipik olan akışkan yatak martemperleme sıcaklıkları gösterilmiştir. 350°C'nin üstündeki erimiş tuz içindeki soğutmadan daha hızlıdır.



Şekil 2.4 Akışkan yatak sıcaklığının fonksiyonu olarak soğuma hızı eğrileri



Şekil 2.5 Değişik martemperleme oranları için soğuma eğrileri

3. AKIŞKAN YATAK FIRINLARININ TERMAL ÖZELLİKLERİ

Akışkan yatak fırınlarının en büyük avantajı, alümina partikülleri ile işlem parçalarının arasında olan mükemmel ısı transferidir. Tipik bir akışkan yatak fırın içinde ısı transfer katsayısı 500 ile 700 W/m²°C arasında değişmektedir (Çizelge 3.1). Fırının taban ile tavan arasındaki sıcaklık değişimi, yüksek hızdaki partikül hareketi nedeniyle, hiçbir zaman $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 'yi aşmamaktadır. Fırının ve iş parçasının sıcaklığı çok kısa bir zamanda eşitlenir. Oda sıcaklığından işlem sıcaklığına kısa sürede ısınır. Tuz ve metal banyolarının ısıtma hızları birbirlerine yakın olup gaz ve vakum atmosferli fırınlardan oldukça yüksektir. Akışkan yataklı fırınlarda, optimum ısıtma hızları 5-100mm çaplı numunelerde elde edilmiştir.

Çizelge 3.1 Farklı fırınlar arasında göreceli ısı transfer katsayıları değişimi

Isıtma Ortamı	Isı Transfer Katsayısı (W/m ² °C)
Kurşun Banyosu	1200-1800
Tuz Banyosu	500-1200
Akışkan Yatak	500-700
Hava Sirkülasyonlu Fırın	150-200
Atmosfer Kontrollü Fırın	120-220
Vakum Kontrollü Fırın	120-200

Akışkan yatak fırınların en önemli karakteristiği yüksek ısı transferidir. Türbülanslı akış ve hızlı sirkülasyonla hızlı ısıtma yapılırken soğutma ortamı olarak da diğer klasik fırın sistemlerine göre daha efektif kullanılmaktadırlar. Özellikle soğutma ortamı olarak oda sıcaklığında kullanılan akışkan yatak fırınları hava ile yağ arasında bir soğutma gücüne sahiptir. Buda, alaşımlı çeliklerin sertleşmesinde kullanılan kesikli su verme banyolarında meydana gelen kalıntı östenit miktarını oldukça düşürmektedir. Hava ile yağ arasında soğutma gücüne sahip akışkan yatak su verme fırınları soğuk ve sıcak iş takım çeliklerinin sertleştirilmesinde oldukça iyi sonuçlar vermektedir. Akışkan yatak fırınlarında ısı transfer katsayısını partikülün türü, yarı çapı ve akışkan gaz hızı etkilemektedir. Partikül çapı, ısı transferinde en önemli parametredir. Uygulamalarda 100µm civarındaki partikül boyutlarının efektif olduğu anlaşılmıştır. Partikül cinsi, yoğunluğu açısından ısı transferini etkilemektedir. Akışkan yatak fırınlarında kullanılan yatak malzemesi yoğunluğu 1280-1600 kg/m³ arasında olmalıdır.

Daha yoğun malzeme ısı transferini düşürürken akışkanlaşma için gerekli gaz miktarını da artırır. Daha az yoğun malzeme ise uçuşmalara neden olmaktadır. Akışkan gazın hızı maksimum ısı transferi için partikül boyutu ve yoğunluğuna bağlı olarak optimum olmalıdır. Genellikle bu hız, minimum akışkanlaşma hızının 2-3 katı kadardır. Gaz hızının yüksek olması yatak malzemesinin uçuşmasına neden olur ve zayıf ısı transferi verir. Düşük gaz hızları yatak içinde heterojenliğe yol açarak zayıf ısı transferi oluşumuna neden olmaktadır.

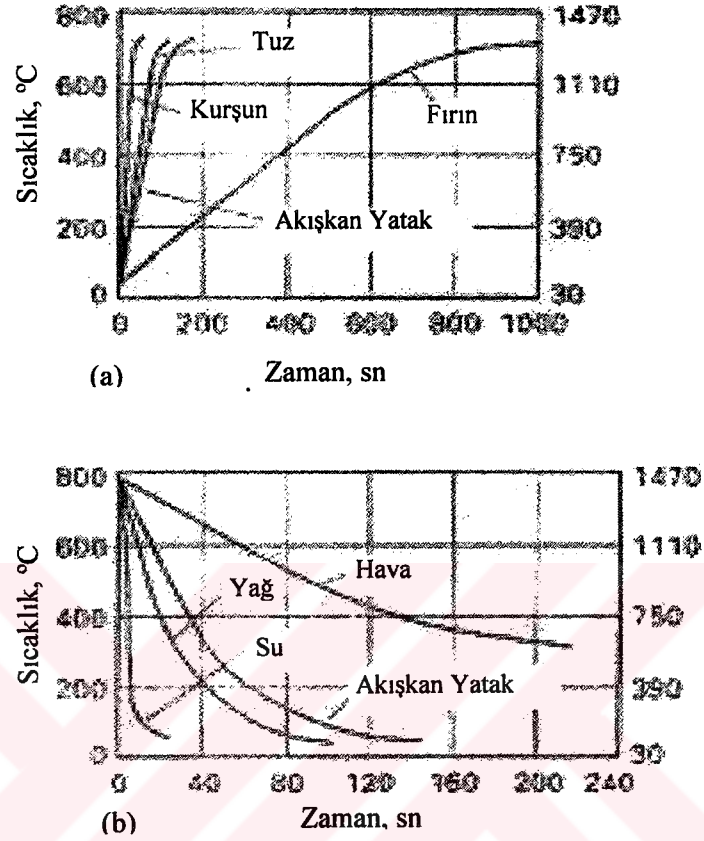
3.1. Akışkan Yataklarda Isı Transferi

Yüksek verimli ısı transferi, akışkan yatakların önemli bir karakteristiğidir. Yaş fırın içindeki partiküllerin türbülans hareketi ve hızlı çevirimi, konvansiyonel tuz banyosu veya kurşun banyo ekipmanlarıyla karşılaştırılabilir bir ısı transferi verimi sağlar(Reynoldson, 1989).

Aşağıdaki faktörler ısı transferi için önemlidir:

- Partikül çapı: Akışkan yataktaki ısı transferine etki eden tüm parametreler içinde, en çok etkiyen faktör partikül çapıdır (partikül botu genellikle koruyucu akışkan gaz akışı ile saçılmadan sakınma veya çözülmüş bir uzlaşma boyutudur).
- Yatak malzemesi: Ayarlanabilen tüm yatak malzemelerinin ayarlanabilen fiziksel özellikleri yoğunluklarıdır. Bu durumda yatak malzemeleri için bir optimum yoğunluk oluşur: 1280'den 1600kg/m³'e kadar(80-100lb/ft³). Yüksek yoğunluklu malzemeler daha düşük ısı transferi katsayıları üretir ve buna ek olarak akışkan için daha fazla güce ihtiyaç gösterirler. Daha düşük yoğunluklu malzemelerle problemler çözülür. Termal iletkenlik ve özgül ısı gibi diğer özellikler daha az önemlidir.
- Gazın akışkan hızı: Kısmi partikül yoğunluğu ve çapı için maksimum ısı transferi sağlamak için optimum akış oranı kullanmak önemlidir. Genellikle, bu akış oranı minimum akışkanlık hızının 2-3 katı arasında olması düşünülür. Çok yüksek hız, partikül saçımına, yüksek akışkan gaz emmesine ve fakir ısı transferine; çok düşük hız ise fakir ısı transferine ve işlemde üniformluğu engellemeye neden olur.
- Isıtma oranları: Şekil 3.1(a)'da 16mm'lik bir çelik çubuğun tuzda, kurşunda, akışkan yataкта ve bir konvansiyonel fırındaki nispi ısıtma oranları gösterilmiştir; Şekil 3.2(b)'de ise, havada, yağda, suda ve bir akışkan yataktaki nispi soğuma oranları gösterilmiştir (Reynoldson, 1989).

D3 tipi takım çeliğinin tuz banyosu ve akışkan yatakta sertleştirme ve izotermal tavlama sonuçları Çizelge 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.1 Sıcaklığa bağlı ısı transfer oranları

(a) 16mm çapındaki çelik çubuklar için ısınma oranları

(b) 16mm çapındaki çelik çubuklar için soğutma oranları

Çizelge 3.2 Akışkan yataklar ve tuz banyoları içindeki D3 tipi takım çeliğinin izotermal soğutma ve sertleştirme etkilerinin karşılaştırılması

Isıtma veya soğutma oranları	Test parçalarının çapı		Ön ısıtma sıcaklığı		Son ısıtma ve 960°C’de tutma için toplam zaman(dak)	Sertlik HRC	
	mm	in.	°C	F		Yüzeyde	Merkezde
Tuz banyosu	80	3,2	500	930	44	65,5	65
Akışkan yatak (a)	80	3,2	490	915	51	65	65
Tuz banyosu	40	1,6	540	1000	36	64,5	64
Akışkan yatak	40	1,6	500	930	41	64,5	64

(a) aynı çeliğin küçük parçaları fakat 80mm çaplı; aynı zamanda işlenmiş; bu parçaların sertliği 66 HRC’dir.

İki tesis arasındaki son ısıtma ve tutma için toplam zaman farkının nedeni ön ısıtma koşullarındaki farklılıklardır.

3.2. Akışkan Yataklarda Atmosfer Kontrolü

Akışkan yatakların çalışma alanı içinde tam bir atmosfer alanı kullanılabilir. Partikül boyut, işlem sıcaklığı ve optimum akışkanlık hızı ile kullanılan gazın hacmi açıkça dikte edilmektedir. Bununla beraber dikkatli dizayn ve azot gibi düşük maliyetli taşıyıcı gazların kullanımı ile de bu gösterilebilir. Ek olarak, düşük sıcaklık yüzey işlemleri hem efektif hem de ekonomik olabilir buna ek olarak, akışkan yatağın en büyük avantajlarından biride yatakta işlem yapılmazken, pahalı gaz israfına ihtiyaç olmamasıdır. Atmosfer havalandırması hızlıdır: yaklaşık 30-60 saniyeden sonra yatak içerisine bir soygaz verilir, atmosferin renk doygunluğu gazla sağlanılana eşit olur. Akışkan yataklarda, aşağıda tartışıldığı gibi, çeşitli tipte atmosferler bulunabilir.

- Redükleme ve Oksitleme Atmosferleri: gaz hava karışımı ayarlanmasından dolayı oluşan zengin gaz veya okside etme, işlenen malzemedeki bir miktar dekarburizasyon veya oksidasyon reaksiyonlarına neden olur (zengin gaz karışımı bir miktar az elekt reaksiyonları üretir). 25mm'den daha geniş parçalar için, kullanıcı, işlem sıcaklığı yükseldikçe kısmi olarak oluşabilecek yüzey reaksiyonlarından kaçınmalıdır.

- Nötral Sertleştirme ve Karbürleme: Takım çeliklerinin nötral sertleştirilmesi veya düşük karbonlu çeliklerin karbürlenmesi için olan atmosferler, yatak flatasyonu için kullanılabilirler. Bu uygulama takım çeliklerinin oksijensiz ısıtmasına olanak sağlar. Fakat dekarburizasyon ve oksidasyonu önlemek için, işlem parçalarını soğutma tankına alırken dikkat edilmelidir.

4. AKIŞKAN YATAK FIRINLARININ AVANTAJLARI

Akışkan yatak fırınlarının avantajları genel olarak şunları içerir;

- Homojen sıcaklığının dağılımı
- Atmosfer kontrollü yüzey temizliği
- Çevreye hiçbir zararının olmaması

Dövme ve plastik kalıpların, kesme, ezme, ovalama, soğuk şekillendirme ve metal ekstrüzyon kalıplarının akışkan yataklarda ısıtma işlemi yapılmasının avantajları şunlardır;

- Kalite: Soğutma hızının kontrolü nedeniyle akışkan yatakta mikroyapı en uygun şekilde oluşur. Soğutma hızındaki farklılıktan dolayı tane sınırlarındaki karbürleri minimize eder. Soğutma hızındaki bu farklılık kalıpların çarpılma riskini minimuma indirerek kaliteyi artırır.
- Proses süresi: Akışkan yataklarda günde 3 kez temperleme yapılabilmesine karşılık vakum fırınlarında günde en çok 2 kez temperleme yapılabilmesi, sertleşme için gereken zamanın % 33 kısa olmasını sağlar.
- Esneklik: Akışkan yataklar, ısıtma işlemi için son derece esnektir. Aynı fırında soğutma, ısıtma, temperleme işleminin yanı sıra yüzey ısıtma işlemi de gerçekleştirilebilir.
- Çevre: Tuz banyolarında, çelik sertleştirme, sementasyon ve nitrokarbürleme gibi ısıtma işlemi süreçlerinde, nitrat, karbonitrat, siyanür, klaraid gibi zararlı ve yakıcı gazlar açığa çıkar. Bu atıklar zehirlidir, yanma ve patlama gibi riskler taşır. Bu zehirli tuzların kontrolsüz şekilde taşınması ve kullanılması sonucunda çıkan gazlar önemli çevresel problemlere yol açmaktadır. Siyanür tuzunun düzensiz kullanılışının maliyeti ton başına 300 USD'dir. Soğutma yağı, yıkama suyu ve soğutma suyu içinde kalan tuzların, lağima boşaltılmadan önce rafine edilmesi gerekir.

Gelişmiş ülkelerde bu konuda özel olarak ilgilenilen kuruluşlar bulunmaktadır. Bu kuruluşlar bütün ısıtma işlemi yapan işyerlerini denetlemekte ve bu konuda zorunlu yatırımlar yaptırmaktadır.

Bu ülkelerde tuz banyoları yerine çevreye zarar vermeyen alternatif ısıtım tesisleri bilhassa kaliteli işlem yapmayı sağlayan akışkan yataklar çokca kullanılmalıdır.

Aşağıdaki çizelgelerde akışkan yataklarla diğer yöntemlerin karşılaştırılmaları verilmiştir (Çimen, vd.1995).

Çizelge 4.1 Akışkan yatakla diğer yöntemlerin karşılaştırılması

Faktörler	Puan	Vakum <1 Bar	Vakum+ 5 Bar	Akışkan Yatak	Atmosfer Kontrolü	Tuz Banyosu
Sıcaklık dağılımı (boş)	10	8	8	10	8	10
Sıcaklık dağılımı (dolu)	10	7	7	10	8	10
Isıtma hızı	10	6	6	9	8	10
Homojen ısıtma	10	8	8	10	9	10
Son yüzey durumu	10	10	10	8	8	7
Yüzey yapısı	10	10	10	10	10	9
Sıcaklık aralığı 1200°C	10	10	10	10	10	10
Sertleştirme sonrası yapı	10	5	8	10	8	9
Çarpılma	10	10	8	9	9	9
Kalite kontrol	10	9	9	10	9	7
% Oran değişimi	100	83	84	96	83	91

Çizelge 4.2 Akışkan yatakla diğer yöntemlerin karşılaştırılması

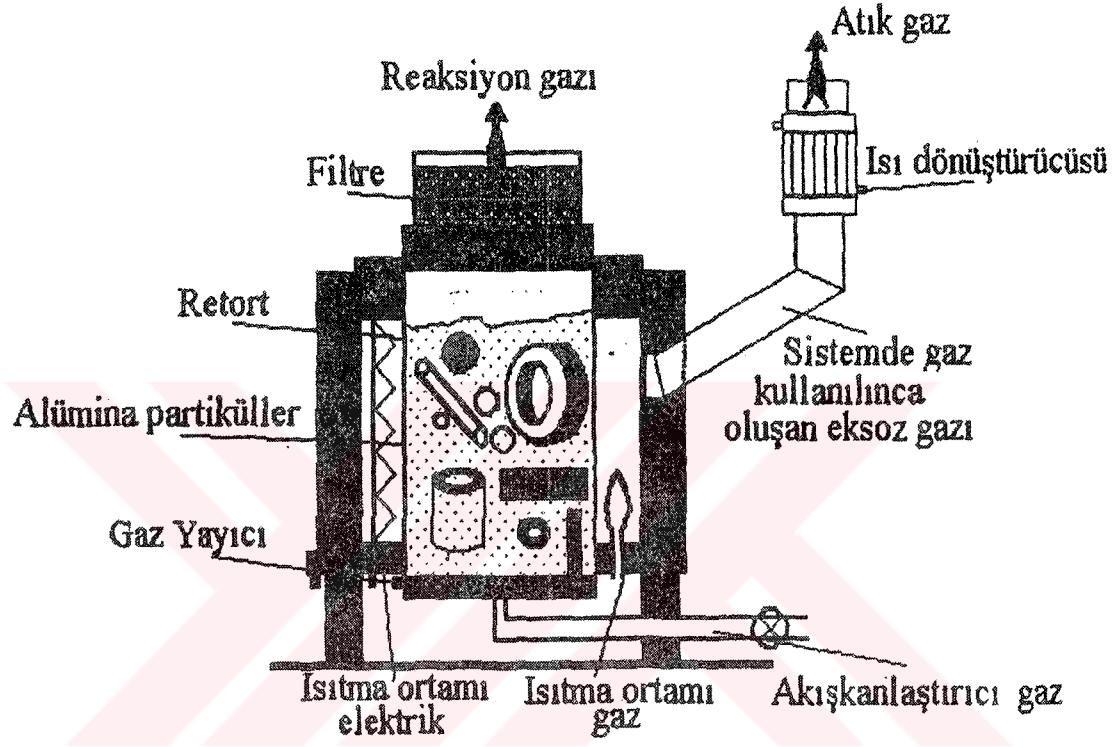
Faktörler	Puan	Vakum <1 Bar	Vakum+ 5 Bar	Akışkan Yatak	Atmosfer Kontrollü	Tuz Banyosu
İşletme maliyeti	80	35	40	80	50	55
Otomasyon	10	10	10	10	10	10
Çalışma ortamı	10	10	10	9	9	5
Yatırım maliyeti	10	4	2	10	5	10
Güvenlik	10	10	10	10	9	5
Çevresel atıklar	10	10	10	10	10	5
Bakım kolaylığı	10	7	5	9	8	8
Kısmi sertleşme	5	0	0	3	0	5
Son işlemler	10	10	10	8	10	5
Sistem basitliği	5	3	2	5	3	5
Sistem esnekliği	5	3	4	5	4	4
% Oran değişimi	165	62	63	95	72	71

Akışkan yatakların büyük avantajları aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Demir ve demirdışı metaller için uygundur.
- Yüksek ısı transfer nispetleri elde edilebilir.
- Isıtma bölgesindeki atmosfer, işlemin gerektirdiği şekilde ayarlanabilir.
- Duman ve sıvı atık problemi yoktur.
- Ünitelerin termal verimliliği yüksektir. Böylece düşük miktarlarda yakıt tüketimi söz konusudur. Bu da düşük işletme maliyeti demektir.
- Akışkanlaştırıcı katılar aşındırıcı ve korozyif değildir. Ayrıca kullanılan Al_2O_3 pahalı değildir ve uzun süreli kullanılabilir.

Yatırım ve işletme maliyeti ile çevresel faktörler gözönüne alındığında yukarıdaki çizelgelerde verilen akışkan yatakta ısı işlemin diğer yöntemlere göre avantajları görülmektedir.

Karşılaşılabilecek sorunlar ise; çok karmaşık parçaların dar bölgelerine zaman zaman ortam molekülleri, tuz banyosunda olduğu gibi tam bir nüfuziyet sağlamaktadır. Bu da akışkanlaştırma hızları ayarlanarak yada parçaları uygun geometride sepetlere yerleştirerek giderilebilmektedir. İri kütleli parçaların ısıtma işlemlerinde yüksek ısıtma hızlarında aşırı termal gerilmeler oluşmaktadır.



Şekil 4.1 Akışkan yataklı fırının şematik görünüşü

5. NİTRASYON

5.1. Nitrasyon İncelenmesi

Nitrasyon (uzun müddet ortalama 500°C) azot atmosferi altında tavlama şeklinde tarif edilir. Bu tarifi bir neticesi olarak nitrasyon işleminde ilave iç gerilmelerin ortaya çıkmayacağı, hatta mevcut olanların giderileceği meydandadır. Mevcut iç gerilmelerinin giderilmesi parçanın boyutlarında ufak değişiklikler getirir.

Nitrasyon için en çok kullanılan azot kaynağı amonyaktır. Yüksek sıcaklıkta amonyak çelik yüzeyinde aşağıdaki denklemlere uygun olarak parçalanır.



İlk denklemde meydana gelen atomik nitrojen ve hidrojen devamlı olmayıp, ikinci ve üçüncü denklemlerde görüldüğü gibi devamlı ve inert olan molekül haline intikal ederler. Nitrojenin atomik halden geçme anı çelik tarafından emilmeye müsait zamanıdır. Bu şartla nitrasyon işleminin yapılabilmesi için yeterli miktarda atomik nitrojenin temini lazımdır. Burada devamlı olarak taze amonyağın, nitrürlenecek parçaları muhafaza eden kutu içinde etkili olarak sirkülasyonu çok mühimdir.

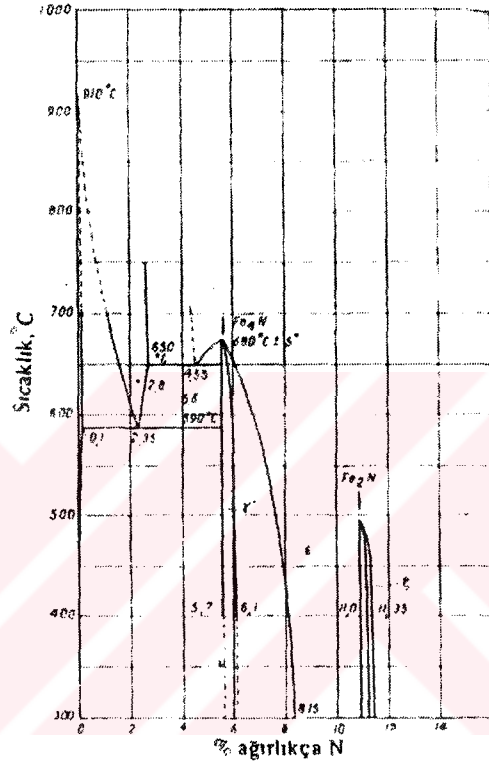
Nitrür tabakasının derinliğine etki eden esas faktörler işlem zamanı, sıcaklık, azot aktivasyonu ve çelik bileşimidir.

Nitrasyon işlemi çalışıldığında Fe-N denge diyagramından yararlanabilir. Alışılmış olarak kullanılan nitrasyon sıcaklıklarında, azot demir içinde çözünür, ancak bu değer % 0,1 gibi çok küçük bir yüzdendir. Bu oranda daha fazla azot içeriği, kimyasal formülü Fe_4N olan γ nitrür oluşturur. Eğer N oranı % 6'yı aşarsa γ nitrür ϵ nitrüre dönüşmeye başlar. 500°C altında ϵ nitrür oluşabilir. Bu fazın azot oranı % 11 ve kimyasal formülü de Fe_2N 'dir.

Nitrasyon işleminden sonra parçalar amonyak gaz buharında 200°C'de soğutulur. Gri rengi veren soğutma tercih edilir. Parlak görünüş uygun şekilde nitrasyon olmadığına işarettir.

Kahverengi, mavi gibi renkler bir hava kaçağı olduğunu göstermektedir ki buda. genellikle soğuma esnasında pozitif bir tazyikin bulunmamasından ileri gelir(Safaoğlu)(Sönmez).

Metalurjik mikroskopta γ ve ϵ nitrürler “beyaz tabaka” adı verilen beyaz bir yüzey tabakası olarak görülürler. Nitrasyon sırasında beyaz tabakanın kalınlığındaki artışla, azotun çeliğe yayılması aynı anda yürür.



Şekil 5.1 Fe-N denge diyagramı

Nitrasyon işlemiyle çeliğin geliştirilen özellikleri aşağıdaki gibi özetlenebilir.

1. Menevişlenme tehlikesinin azaltılmasıyla beraber yüksek yüzey sertliği ve aşınma mukavemeti oluşabilir.
2. Temperlemeye karşı yüksek direnç ve yüksek sıcaklık sertliği sağlanır.
3. Yüksek yorulma mukavemeti ve düşük yorulma çentik hassasiyeti sağlanır.
4. Paslanmaz olmayan çelikler için iyileşmiş korozyon direnci sağlanır.
5. Yüksek boyutsal kararlılık görülür.

5.2. Nitrasyonda Sertleşme Mekanizması

Çelik içinde atom halinde saçılmış bulunan alüminyum ve diğer nitrür elemanları nitrasyon sıcaklığında difüzyon yapmayıp moleküller halinde kaldıkları kabul edilirse teşekkül eden nitrürlerin kristal halinde değil de molekül halinde bünye içinde dağıldığı ve böylece azami sertliği temin ettiği düşünülebilir.

Alaşımız çeliklerde büyük plakalar veyahut da iğneler halinde nitrürler elde edilir. Nitrasyona elverişli çeliklerde ince strüktürlü nitrürler oluşur. Nitrürler bir faz teşkil ediyorlarsa ultra mikroskobik bir dağılımdan meydana gelir. Bu ince nitrürler kristalografik düzlemlerde dağılmışlardır.

Fry, Gr ve Al'lu çeliklerde sertleşmenin direkt olarak, alaşım elementlerinin nitrürlerinden hasıl olduğunu ileri sürmüştür. Fry'a göre matriks yapısında teşekkül eden bu erimeyen nitrürler demir şebekesi içinde hemen ince taneler halinde çökmekte ve bu şebekelerde deformasyon sonunda sertlik artmaktadır.

Jones kristal şebekelerinin deformasyonundan başka sertliğinin ince dağılmış kompleks nitrürlerden oluştuğunu düşünmüştür. Bu kompleks nitrürlerin kompozisyonunda demir-nitrürler vardır. Bunların belli bir oranı sertliği yaratmaktadır. Fischer ve Shaw adlı araştırmacıların Cr ve Al çeliklerde sertliğin mikroskobik partiküllerin demir şebekesinde dağılmasından ileri geldiği sonucuna varmışlardır.

Büyük ihtimalle demir nitrasyon işlemlerinde taşıyıcı bir rol oynamaktadır. Önce çözünebilen demir nitrürler oluşur. Daha sonra erimiş halde alaşım elementleri ile reaksiyona girip alaşım nitrürleri oluşturur. Bu çözünmeyen alaşım nitrürleri çok ince taneler halinde çöker. Bu da sertliğin artmasına sebep olur. Bu partiküllerin bir araya toplanması sertliği azaltır.

5.3. Çelikte Alüminyum Nitrür

Al'lu karbon çeliğinde mevcut az miktarda Al, azotun davranışı üstünde önemli etkiye sahiptir. Çeliğin mikro yapısında, alüminyum nitridin östenit tane sınırlarına çökeldiği uzun yıllar kabul edilmiştir. Yüksek Al ve N ihtiva eden çeliklerde, sıcak deformasyon sonucu iri taneli alüminyum nitrit çökeltileri görülmektedir. Çökeltiler perlit ve ferrit içinde düzensiz olarak dağılmaktadır. 700°C'a ısıtılarak belli bir süre tutulduktan sonra alüminyum nitritlerin, ferrit tane sınırlarında toplandığında görülmektedir. Önce 450-500°C'de uzun müddet tutulan,

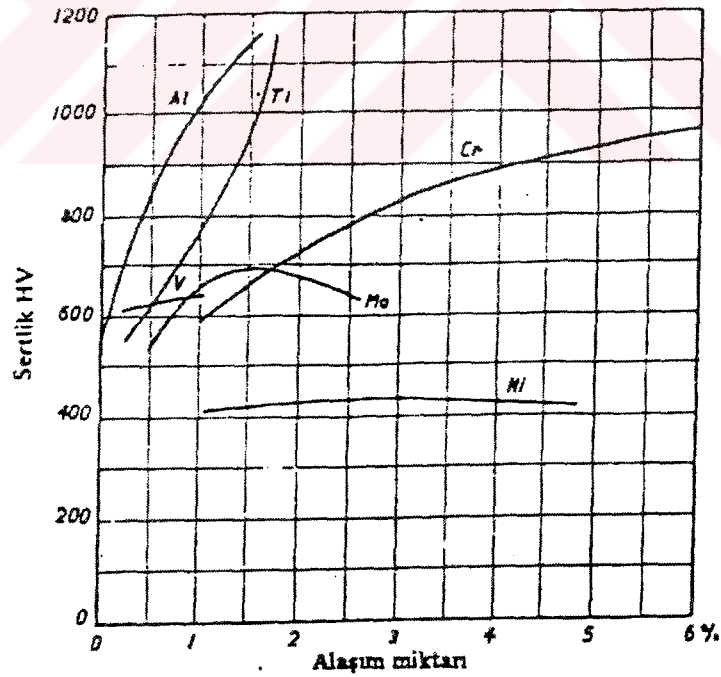
sonra da 700°C'a ısıtılan numunelerde çökeltilerin dislokasyon çizgileri boyunca olduğu gözlenmiştir.

Normal tavlama nitridin büyük kısmı düzensiz dağılım gösterir. Ferrit veya perlit içinde bir ağ görünümündedirler. Su verilmiş durumda ise, östenit tane sınırlarında bir çökelme olduğundan nitrit çökmesi martenzit tane sınırlarında görülür.

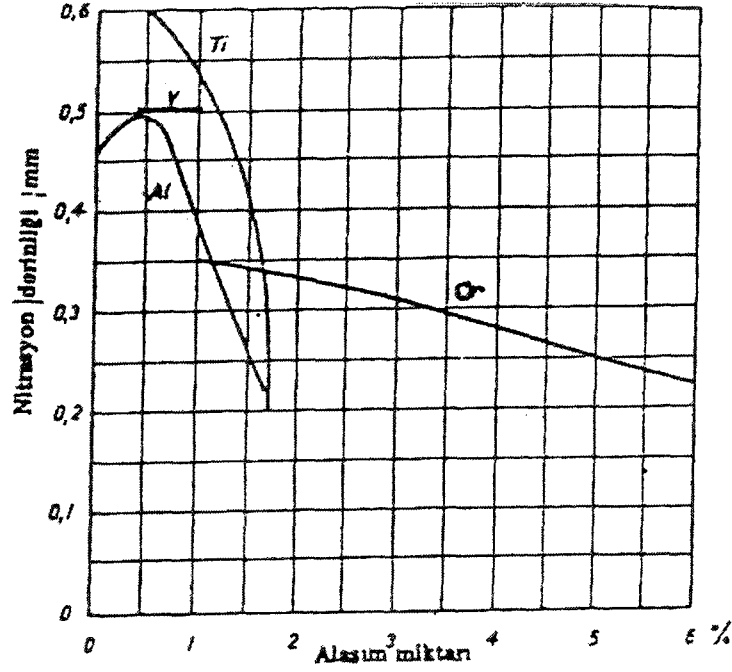
Nitrit çökelmelerinin yapacağı etkinin, mukavemete artırıcı yönde olduğunu söyleyebiliriz. Yumuşatıcı etkisinin olmadığı meydandadır. Çünkü nitritler zaten oldukça serttir.

5.4. Nitrasyon İçin Çelikler

Nitrasyona elverişlilik açısından, yüksek yüzey sertliği istenen nitrürlenecek bir çeliğin bileşimi üzerinde karar verilebileceği zaman seçim genellikle Al, Cr, Mo gibi nitrür oluşturan elementler üzerinde yapılır. En büyük etkiyi sahip Al'u çok yakın olarak takip eden Ti ve sonra Cr, Mo, V gelir. Ni'li çeliklerde sade karbonlu çeliklerde olduğu gibi aynı yüzey sertliği (400HV) elde edilmiştir (Şekil 5.2 ve 5.3) (Herbers, 1969).



Şekil 5.2. Alaşım elementlerinin % 0,35 C, % 0,30 Si, % 0,70 Mn içerikli çeliğin alaşım sonrası sertliğine etkisi.



Şekil 5.3 Alaşım elementlerinin nitrürleme sonrası derinliğine etkisi. Nitrasyon işlemi (520°C'de 8 saat).

Nitrasyon derinliği Şekil 5.2'da görüldüğü gibi alaşım miktarındaki artışla azalır. Sertlik artışında en büyük etkiye sahip iki element Al ve Ti, N'un difüzyonuna en fazla geciktirici etkiyi gösterir. Bu elementlerin miktarı arttıkça, azotun çeliğin bünyesine alınması zorlaşır. Optimum sertlikte nitrasyon derinliği sağlamak için önerilen Al muhtevası % 1 civarındadır (Safaoğlu), (Sönmez), (Theining ve Tekin, 1984).

Alaşım elementlerinin azotun difüzyonunu engelleyici etki göstermelerinin nedeni, azotla beraber nitrürler oluşturmalarıdır. Karbonun da azotun difüzyonuna kuvvetli bir engelleyici etkisi vardır.

Mikroyapı, çeliğin nitrürlenebilirliğine, iki yolla etki eder. Yüksek oranda serbest ferritli mikroyapı, hem azotun difüzyonu hem de sertlik için uygundur. Alaşımli çeliklere genellikle; ısıtma işlemi uygulanabilir. Yeni su verilmiş ve 550-650°C'de temperleşmiş halde nitrasyon uygulanır.

Bu sıcaklık aralığında, çökeltme ve aynı zamanda karbürlerin birleşmesi söz konusudur. Karbür çökeltmesi tercihen tane sınırlarında başlar. Bunlarda difüzyona engelleyici etki ortaya

çıkar. Çünkü difüzyon tane içlerine oranla sınırlarda daha hızlı yer alan, nitrürler ve karbonitrürler tarafından engellenmektedir.

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

Az alaşımlı çeliklerde nitrasyon süresinin nitrasyon derinliğine etkisi basit difüzyon bağıntısıyla çıkarılabilir.

$$DN = K\sqrt{t} \quad (5.1)$$

Burada, DN = Nitrasyon derinliği

k = bir sabit (malzeme ve sıcaklığın bir fonksiyonudur).

t = zaman (saat cinsinden)

Esas olarak, nitrasyon sıcaklığının etkisi çok önemlidir. Sıcaklık ne kadar düşükse, yüzey sertliği o denli yüksek ancak, aynı zamanda nitrasyon derinliği o kadar küçüktür ki, bu özellikler, özellikle alaşımlı çelikler için geçerlidir (Theining ve Tekin, 1984).

Nitrasyon sırasında işlemi kontrol eden bir diğer faktör azot aktivasyonudur. Difüzyon kanunlarına göre, yüzeyin altına difüze olan azot miktarı, sıcaklık ve çeliğin en dış tabakalarında oluşturulan azot miktarıyla kontrol edilir. Gaz, nitrasyon esnasında oluşturulan azot miktarıyla kontrol edilir. Nitrasyon esnasındaki azot aktivitesinin kontrolü gazın ayrışma ve akış hızıyla kontrol edilir. 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.

Yüksek bir azot aktivitesi, yüksek ayrışma derecesi veren düşük akış hızlarıyla elde edilir. Eğer akış hızı çok düşükse, fırına bir faz ilave edilmediği sürece nitrasyon fırınındaki türbülans yetersizdir.

5.5. Nitrasyon Etki Eden Faktörler

5.5.1. Alaşım Elementlerinin Etkileri

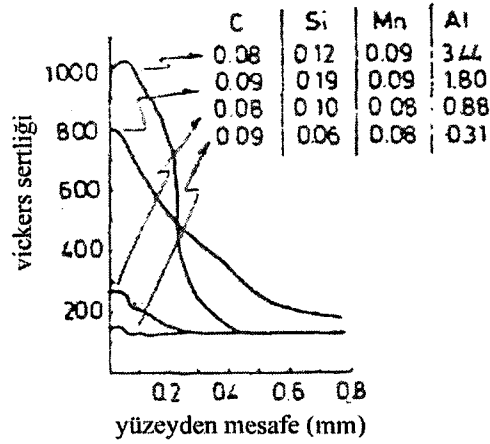
Ticari çeliklerde genellikle kullanılan alaşım elementlerinden alüminyum, krom, vanadyum ve molibdenli olanlar nitrasyon en elverişli olanlardır. Nikel, bakır, silisyum ve manganez gibi diğer alaşım elementlerinin nitrürleme özelliğine çok az etkisi vardır.

Alaşımız çeliklerde ortaya çıkan iri demir nitrürlerin gevrekleştirici etkisinden dolayı yüzey tabakası çatlayabilir. Bu nedenle nitrasyon çelikleri azota karşı kimyasal ilgileri demirinkinden daha fazla olan alaşım elementleri içerir. Bunların kimyasal ve ısı bakımından çok kararlı davranan nitrürleri yapıya ince dağılma koşuluyla yüksek ve homojen sertlik yanında daha büyük nitrürleme derinliği sağlarlar (Bargel vd., 1995).

Azotun varlığında, bütün çeliklerin uygun ısıda demir nitrat oluşturma yeteneği olmasına rağmen, nitrat oluşturan alaşım elementleri ihtiva eden çeliklerde nitrasyon neticeleri daha iyi olur (Herbers, 1969).

Alüminyum içeren çelikler yüksek aşınma dayanımı ve sertlik verirler. Bununla beraber, nitrürlenmiş çelik düşük yumuşaklığa sahiptir ve bu katmana dikkat edilmelidir. Tersine, düşük alaşımlı krom içeren çelikler daha yumuşak ancak daha az serttir. Ancak her iki çelikte önemli aşınma direnci ve iyi yüzey özellikleri sergilerler. H11 ve D2 gibi takım çelikleri hem sert iç yapı hem de en sert yüzeyli ürün sonucu verirler (Conrad vd.).

Al içeren çeliklerde yüzeyde erişilen sertlik değeri 900HV, östenitik çeliklerde ince nitrasyon tabakasının sertliği 1200 HV, Cr, Mo, W veya V ile alaşımlanmış çelik nitrürlemeden sonra 600-850 HV'lık bir sertlik kazanır. Bundan başka Mo nitrürleme sıcaklığında yavaş soğuma ile gelişebilen temper kırılma direncini ortadan kaldırır. Karbon çelikleride korozyon direncini yükseltmek için nitrürlenebilir fakat bu durumda işlem yüksek bir sıcaklıkta yapılır (İzgiz; Lakhtin vd., 1994)



Şekil 5.4 Al – konsantrasyonun sertlik ve derinlik üzerine etkisi (500°C’de 4 gün)

Yukarıdaki şekilde de görüldüğü gibi alaşım elemanlarının miktarı ne kadar çoksa sertlikte de o oranda artma olmaktadır. Fakat difüzyona engel olacakları için de nitrasyon tabakası kalınlığı o ölçüde azalacaktır. Bu söylenenlerin Al’deki etkisi Şekil 5.4’ de görülmektedir.

5.5.2. Zamanın Etkisi

Nitrasyon kalınlığının, nitrasyon süresi ve alaşım miktarına bağlılık gösterdiği bilinen bir durumdur. Nitrür oluşumunda bir hacim artışı meydana geldiği için kristal kafesi zorlanmakta ve difüzyona mani olmaktadır. Böylece nitrasyon tabakası belli bir limite ulaşmaktadır. Diğer şartları sabit tutarak, nitrasyon tabakası için belli bir derinlik elde etmenin işlem süresine bağlı olduğu söylenebilir (Herbers, 1969)(Theining ve Tekin, 1984).

6. AKIŞKAN YATAKTA NİTRASYON

Nitrasyon işlemine başlamadan önce parçalar çok iyi temizlenmeli ve yağdan arındırılmalıdır. Parçaların üzerinde kesinlikle herhangi bir toz veya tufal belirtisi mevcut olmamalıdır. Parçaların ıslah edilerek dayanımlarının artırılması mümkündür. Böylece yüksek çekirdek dayanımı elde edilebilmesinin yanında nitrürleme için de uygun ince taneli bir yapı oluşturulur. Eğer parçaların bazı belli kısımlarının yumuşak kalması istenirse, bunlara elektrolitik kaplama yapılır. (Örneğin Cu, Sn veya Ni kaplama). Bu kaplama tabakası azotun çeliğe girmesini engeller (Theining ve Tekin, 1984).

Nitrasyon uygulamaları 500-590°C aralıklarında %50 N₂ + %50 NH₃ ortamında başarıyla yapılmaktadır. Klasik nitrürleme işlemlerine göre avantajları prosesin kolaylıkla takip edilebilmesi ve parametrelerin daha kolay kontrol edilebilmesidir. Azot ortama pulsarla verildiğinde N₂ harcaması diğer sistemlere göre %70 daha düşüktür. Demir dışı metallerin nitrülenmesi de bu sistem içinde başarıyla yapılabilmektedir (Reynoldson, 1993).

Bu sistemde akışkan ortamı oluşturan ve sonsuz ömürlü yüksek ergime sıcaklığına sahip olan Al₂O₃ partikülleri gaz ortamda katı halde sıvı gibi hareket etmektedirler. Yüksek sıcaklığa dayanıklı metal pota içine yerleştirilen 100µm civarı boyutlarında alümina toz partikülleri alttan gelen akışkanlaştırıcı gazla harekete geçerek akışkanlaştırma sağlanmaktadır. Akışkanlaştırıcı gazın geliş hızları yatağı oluşturan alümina partiküllerinin hareketlerini kontrol etmektedir. Gereğinden yüksek hızda gelen gaz, yatağın pnömatik olarak taşınmasına yol açarken, düşük hızda gelen gaz akışıda yetersiz ısı transferine ve çalışma ortamına yol açmaktadır.

Isıtma işlemi hazne dışındaki rezistanslarla sağlanır. Gaz ölçüsü akış yoluyla kontrol edilir ve gaz atmosfer panelinde karıştırılarak haznenin altından 5-10 psi ile girer. Akışkan kontrol edilebilir termal özellikler ve gaz akış karakteristikleri içermektedir. Bu özelliğini proses sıcaklığına hızlı bir şekilde çıkarıldığında da korumuştur. İkinci bir avantaj, prosesin gaz akış karakteristiğidir. Gaz, yaklaşık 5-10psi ile hazne altında bulunan metal difüzyon plakasından geçerek içeriye girer. Gazın yatak içerisinden akışı yüksek uniformluk göstermektedir. Bu düzgün dağılım diğer gaz ünitelerinde kullanılan yükleme yoğunluklarından büyük yoğunlukların kullanılabilmesini sağlar. Akışkan yatak içerisindeki herhangi bir iki nokta arasındaki sıcaklık ölçüldüğünde sıcaklığın $\pm 2,5-4$ °C'lık bir dağılım gösterdiği görülmüştür. Konvensiyonel ünitelerdeki nitrasyon gaz akışının düşük olması nedeniyle sıcaklıkta 10 -

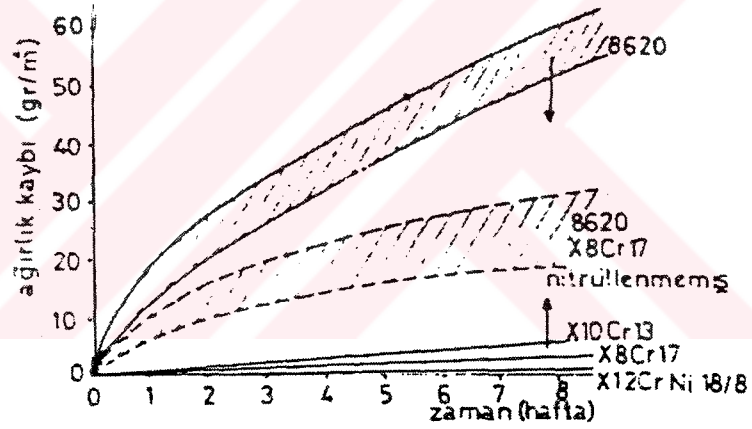
12°C'lik bir değişim görülür. Üniform nitrürleme sıcaklıkları nedeniyle temperleme sıcaklıklarına daha yakın sıcaklıklar seçilebilir. Son  zellik ise akışkan yatağın atmosfer bütünlüğüdür. Gazın yüksek hızı ve yatak içerisinden üniform olarak geçmesi oksijenin geri dolumunu veya yatak içerisine girişini engeller. Bu  zellik yatağın nitrürleme sıcaklığında yalnızca nitrojen ile dolmasını sağlar. Fırın içerisine yükleme yapılmasıyla birlikte nitrojen atmosferi oluşturur ve nitrürleme başlatılır. Akışkan yatak fırınlarının en önemli karakteristiği yüksek ısı transferidir. Türbülanslı akış ve hızlı sirkülasyonla hızlı ısıtma yapılırken soğutma ortamı olarak ta diğer klasik fırın sistemlerine göre daha efektif kullanılmaktadırlar. Özellikle soğutma ortamı olarak oda sıcaklığında kullanılan akışkan yatak fırınları hava ile yağ arasında bir soğutma gücüne sahiptir. Bu da, alaşımlı çeliklerin sertleştirilmesinde kullanılan kesikli su verme banyolarında meydana gelen kalıntı östenit miktarını oldukça düşürmektedir. Nitrürleme işlemi bittikten sonra 2 dakikalık bir süre içinde nitrojen geri çekilir. Yüklenen parça fırın içerisinden alınarak kurutucuya yüklenir. Bunun amacı yüzey karakteristiklerinin korunmasıdır ( imen vd., 1995; Aydın, 2000).

7. NİTRÜLENMİŞ PARÇALARIN ÖZELLİKLERİ

7.1. Sürtünme ve Aşınmayla Mukavemet

Çeliklerin aşınma direnci sertlik artışıyla beraber artma gösterir. “Aşınma direnci” kavramını tarif etmek zor olduğu için, bu konuda herhangi bir genellemeye karşı bir ikaz gerekir. Eğer bir kesici kenarın sertliği belli bir değeri aşarsa, kenarın küçük parçaları kopar ve işleme (talaş kaldırma) sürdükçe, kenar körlenerek aşınma meydana gelir.

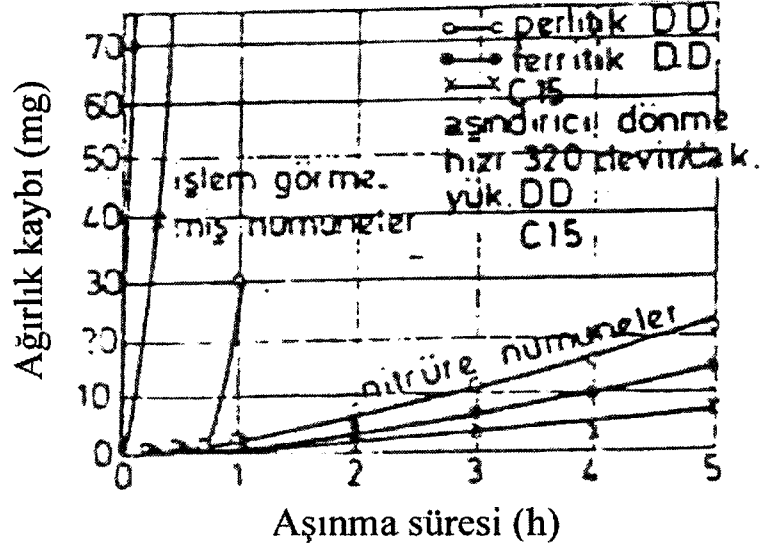
Bilindiği gibi malzemeler birbirine sürtünmeye başladığı zaman, sert malzeme yumuşak olanı aşındırmaktadır. Bu aşınma ise malzeme kaybına yol açarak, parçanın toleransını kaybetmesine sebep olmaktadır.



Şekil 7.1 Nitrasyona tabi tutulmuş ve tutulmamış bazı çeliklerin sıvı nitrasyonla aşınmaya dayanıklılıkları.

Bu şekilde de görüldüğü gibi nitrasyona tabi tutulmuş çelikler, korozyon ve aside dayanıklı çelikler kadar olmamakla beraber malzeme yüzeyine büyük bir sertlik kazandırmaktadır. Sert olduğu için de, aşınması zorlaşmaktadır. Yalnız, korozyonun bu dayanıklılığını hiçbir zaman alaşım elemanlarının sağladığı dayanıklılıkla bir tutmamak gerekir.

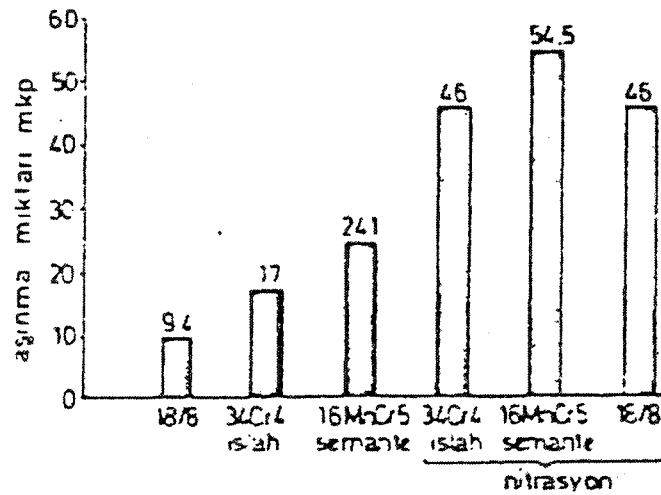
Nitrasyon aşınma mukavemetinin, ham malzemeden ne kadar yüksek olduğu Şekil 7.2’de daha iyi görülmektedir.



Şekil 7.2 Nitrüre edilmiş ve edilmemiş C15 numunelerinin aşınma durumları.

Şekilde görüldüğü gibi nitrasyon yapılmış malzemeler, işlem görmemiş malzemelerden çok daha fazla aşınmaya dayanıklılık göstermektedir ki, parça ömrü açısından nitrasyonun ne kadar avantajlı bir durum çıkardığı görülmektedir.

Çeşitli işlemler görmüş ve nitrasyona tabi tutulmuş parçaların aşınma durumları Şekil 7.3’de görülmüyor. Bu şekle bakarak nitrasyonun aşınmaya ne kadar büyük bir pozitif etki yaptığı söylenebilir. Bir başka söylenecek söz de çelikteki alaşım elemanlarının bağlı olmadan aşınma özelliğinin yükseldiğidir(Safaoğlu)(Theining ve Tekin, 1984).

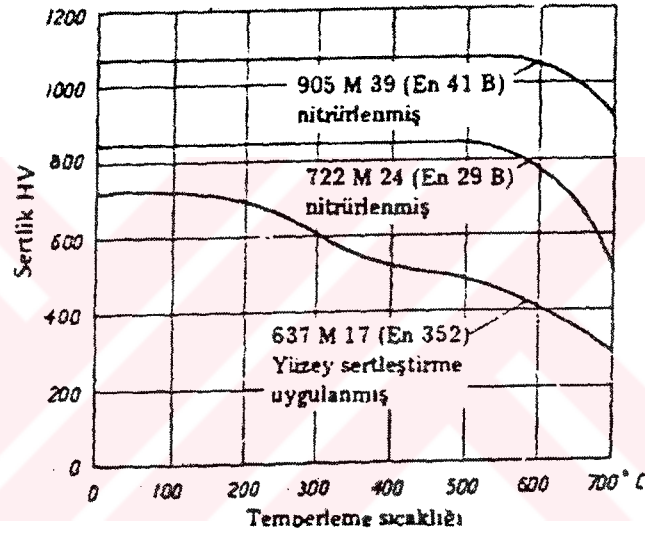


Şekil 7.3 Nitrasyona tabi tutulmuş ve tutulmamış malzemelerden yapılmış dişli çarkların aşınma miktarı.

Nitrasyon işlemiyle sağlanan esas avantajlar sürtünme aşınmasını azaltmak içindir. Çünkü nitrüleme sayesinde sürtünme katsayısı azaltılır, böylece nitrülenmiş tabakanın dökülmesi önlenmiş olur.

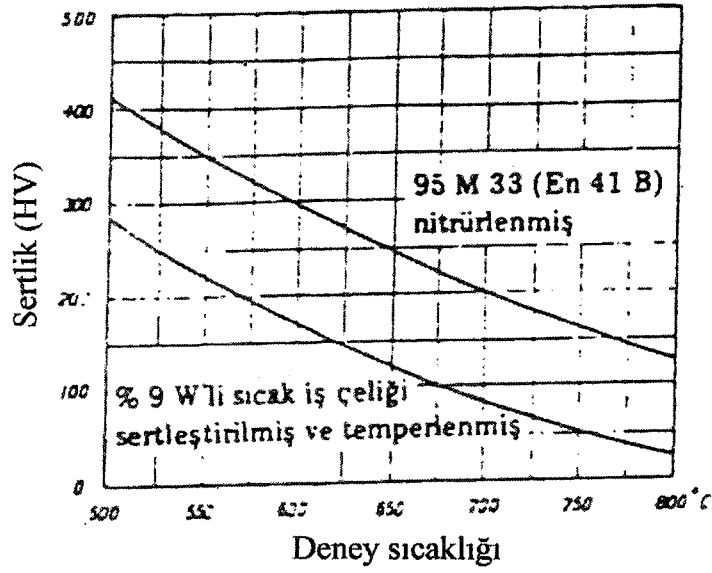
7.2. Temperlenmeye Karşı Yüksek Direnç ve Yüksek Sıcaklıklarda Yüksek Sertlik

Temperlenmeye karşı yüksek direnç ve yüksek sıcaklıklarda yüksek sertlik, nitrasyon çeliklerinin değerli özellikleridir. Çelik, nitrasyondan sonra oda sıcaklığında herhangi bir sertlik kaybı söz konusu olmaksızın, nitrüleme yapılan sıcaklığa ve bazı hallerde ise daha yüksek sıcaklığa kadar, ısıtılabilir (Şekil 7.4).



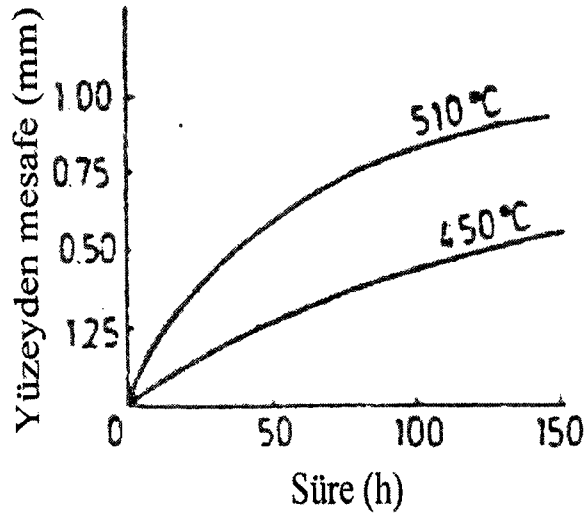
Şekil 7.4 Nitrülenmiş çeliklerin ve yüzey sertleştirme işlemi uygulanmış çeliklerin temperlenme eğrisi.

Şekil 7.5'de, sertliğin yüksek sıcaklıklarda da oldukça yüksek olduğunu göstermektedir. Aşınma direnci ve yüksek sıcaklıkta sertlik kombinasyonu gösteren nitrülenmiş çelikler, sıcak iş kalıpları olarak kullanıldıklarından, iyi sonuçlar vermektedir. Ancak, çeliğin de seçiminin ve nitrüleme süresinin çalışma koşullarına uyacak şekilde iyi ayarlanması gerekir.



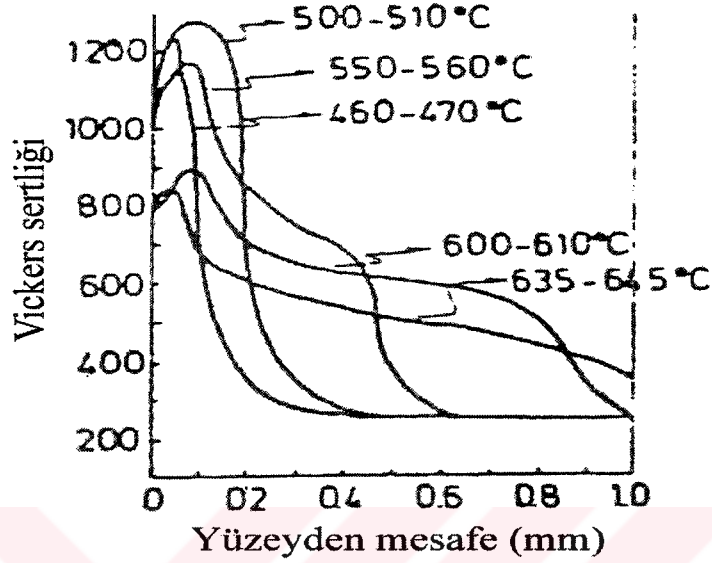
Şekil 7.5 Nitrülenmiş çeliklerin ve sıcak iş çeliklerinin yüksek sıcaklıktaki sertlikleri.

Göz önüne alınması gereken ikinci husus ise, sıcaklığın difüzyona yaptığı olumlu etkidir. Difüzyonun artmasına birlikte yüksek sıcaklıklar, sert nitrit teşkil eden elemanların da çözünmesine sebep olurlar. Bu durumda eskisi gibi çok nitrit oluşumu olmadığı için artık difüzyona da fazla etki etmezler ve artmasına sebep olurlar. Bu söylenenler daha ziyade gaz nitrasyonu için geçerlidir. Çünkü, sıvı nitrasyon ancak 570°C ve aşağı sıcaklıklarda yapılır.



Şekil 7.6 Nitration derinliğine zaman ve sıcaklığın etkisi.

Şu halde, yüksek sıcaklıklarda çalışıldığı zaman, daha derin tabaka elde edilmesine karşılık sertlikte bir azalma meydana gelmektedir (Şekil 7.7). Hem daha derin, hem daha sert tabaka elde edebilmek için iki ayrı sıcaklıkta arka arkaya çalışmak gerekmektedir.



Şekil 7.7 Sıcaklığın sertliğe etkisi.

7.3. Yüksek Yorulma Mukavemeti ve Düşük Çentik Hassasiyeti

Nitrasyon çelikleri, yüksek yorulma mukavemeti ve düşük çentik hassasiyetiyle karakterize edilir.

7.3.1. Yorulma Mukavemetinin Artışının Prensibi

Genel olarak, nitrasyona tabi tutulan malzemelerin yorulma mukavemetlerinde bir artış görülmektedir. Maksimum çekme mukavemeti 90 kp/mm^2 olan standartlaştırılmış nitrasyon çelikleri yaklaşık 45 kp/mm^2 bir yorulma mukavemetine sahiptir. Bu değer 10 mm çapında çok iyi taşlanmış deney çubukları üzerinde eğilme deneyleri sırasında saptanmıştır.

Maksimum yorulma mukavemeti veren nitrasyon derinliği, malzemenin kalınlığına ve şekline bağlıdır. İnce duvarlı (kenarlı) parçalarda, tuz banyosunda nitrasyon, gaz nitrasyonuna oranla tercih edilir. Çünkü çok küçük nitrasyon derinlikleri gerekli olduğundan, tuz banyosundaki nitrasyon sırasında nitrasyon derinliğini kontrol etmek gerekir.

7.3.2. Düşük Çentik Hassasiyeti

Nitrasyonun en önemli etkilerinden biri de, malzeme mukavemetini çok düşüren çentik etkilerini, hemen hemen ortadan kaldırmasıdır. Malzemenin mekanik özellikleri yönünden ve teknik tatbikatla çok kullanımlı alanları olan çentikli malzemelerde çentik etkisini çok azaltması, belki de sertlik kadar büyük tatbikat sahaları açmaktadır. Bu tip çelikte nitrasyon sırasında oluşan basma gerilmeleriyle azaltılır. Bu nedenle, örneğin cıvatalar gibi çok yaygın uygulamaları yüzünden çentiklemeleri söz konusu olan makine parçalarını yorulma mukavemetlerinin artırılması amaçlandığında, nitrasyon işlemi bu konuda çok yararlı olabilir. Bu durumda nitrülenmiş çentikli çubukların yorulma mukavemeti değerleri, nitrülenmiş çentiklenmiş çubuklarda elde edilen aynı değerlere ulaşmaktadır.

7.4. Korozyon Direnci

Nitrasyon sonucu, korozyon dyanımı paslanmaz çelikler hariç nitrülenmiş tüm çeliklerde artmaktadır Yüzeyde oluşan ϵ -nitrürler korozyon dayanımını arttıran en önemli unsurdur. Dolayısıyla yüksek sıcaklıklarda ve uzun sürelerde nitrülenmiş çeliklerin korozyon direnci nispeten daha yüksek lomaktadır. Korozyon bakımından beyaz tabaka %13 martenzitik krom çeliğine eşdeğerdir. Nitrülenmiş paslanmaz çeliklerin korozyon direnci, kromun nitrürler halinde bağlı olmasından dolayı azalma gösterir. Nitrasyon sırasındaki sıcaklık artışı kararlı halde olmayan 1818 tipi paslanmaz çeliklerde taneler arası korozyona da neden olur. Korozyon direnci nitrülenmiş ve parlatılmış yüzeyler için çok büyüktür, ancak, örneğin 0,03 mm'lik bir taşlamayla beyaz tabakanın kaldırılması ve dolayısıyla korozyon direncinin azaltılması mümkündür.

8. BAZI NİTRÜRLEME PROBLEMLERİ

Sıkça görülen problemlerin bazıları şunlardır :

- Düşük düzeyde sertlik
- Nesnelerin renklerinin değişmesi
- Fazla boyut değişiklikleri
- Nitrürlenmiş yüzeylerin çatlaması veya kırılması
- Amonyak ayrışma yüzdesinde değişiklikler
- Beyaz tabakanın gereğinden fazla kalın olması
- Egzoz ve boru yollarının tıkanması

Bu sorunların kaynaklarını bilerek onların oluşumunu önleyebiliriz.

Bazı nedenler şunlardır:

8.1. Düşük Sertlik Durumu

Bu durum çeliğin özelliği veya işlemdaki bazı problemlerden dolayı olur. Sertlik ve kalınlığı etkileyen çelik özellikleri şunlardır:

- Nitrürlenmeye uygun olmayan kompozisyon
- Düzgün olmayan mikroyapı oluşumu
- Nitrürlenmeden önceki ısıtmada yapılan yanlışlar (temperleme - menevişleme)
- Düşük iç doku sertliği
- Yüzeyin pasifliği, düzgün temizlenmemesi, yüzeyde olan yabancı maddeler veya yüzey işlenmesi.

İşlem açısından düşük orandaki sertlik şunlardan etkilenebilir :

- Çok düşük veya yüksek nitrürleme sıcaklıkları
- Yetersiz amonyak akışı
- Fırında düzgün olmayan sirkülasyon veya düzensiz sıcaklık dağılımı
- Sıcaklık için az zaman harcamak

Son olarak bu durum cihazların eksik olması, tam monte edilememesinden de olabilir.

8.2. Nesnelerin Renklerinin Değişmesine Neden Olan Sebepler

- Yüzeyleri nitrürlemeden önce iyi temizlenmemesi dolayı.
- Yağ hava veya nemin kabın içinde var olmasından dolayı olabilir.

Kabın içinde yağ şu sebeplerden dolayı olur ;

- Parçaların iyi temizlenmemesi, (özellikle deliklerin)
- Kabın kapalı veya diğer yerlerinden basınç kaybı veya bu kısımların çok ısıtılması
- Alt kısımdan veya diğer kısımlardan kaçak

Nem ise;

- Soğutucudan dolayı
- Soğutma esnasında gazdan dolayı borularda bu birikmesi ile olur.

Hava;

- Yalıtkanlardaki problem, kapaktaki problem
- Boruların veya diğer yerlerdeki kaçaklardan
- 175 °C' de amonyağı yenilemek için hava koyma sırasında kaba girer.

8.3. Boyutlardaki Değişiklik

- Nitrürlenmeden önce yeterli gerilimin alınmaması
- Nitrürlenmede parçalara yeterli desteğin verilmemesi
- Parçaların hatalı dizayn edilmesi (simetrik olmayan dizaynlar ya da farklı kalınlıklar da olabilir)
- Farklı yüzeylerde düzgün olmama (bu kabın dizaynından ve tozların yanlış konmasından dolayı olabilir)

8.4. Çatlama ve Kırılma

- Nitrürlenmiş yüzeylerin %85'ten fazla ayrıştığı durumlarda (özellikle alüminyumlu çeliklerde)
- Dizayn (özellikle sivri köşeler)
- Çok kalın beyaz tabaka
- Önceki ısıtmadan önce yüzeyin dekarburizasyonu
- Hatalı ısıtılmalardan dolayı oluşurlar.

8.5. Amonyakın Farklı Ayrışması

- Fırına göre çok az gaz vermek
- Fırın, parçalar ve bileşenlerinin reaksiyona girmesi
- Büretten kaçak
- Gaz akışında basınçtan dolayı problem
- Fırın sıcaklığının sürekli değişmesi sayılabilir.

8.6. Egzoz veya Boru Yollarının Tıkanması

Bu reaksiyonda, amonyak ile beraber özellikle sudan gelen kimyasal maddelerin oluşturduğu bloklardan dolayı olur. Bunlar, yolları tıkar ve ürünün düzgün oluşunu engeller ve fırında gereksiz basınç oluşmasına yol açar. Yolların genişlemesi (sulu asit solüsyonu ile) bu sorunu çözer. Bazı durumlarda borulardan gelen su egzoz yollarına girer ve dolayısıyla küçük maddeler de egzozda birikir ve yolu tıkar. Bunun için 90°'lik borulardan kaçınmalı ve 19 mm (3/4 inch) ten küçük çaplı boru kullanmamak gerekir (Conrad vd.).



9. NİTRÜRLEMENİN AVANTAJLARI

Diğer yüzey sertleştirme yöntemlerine göre nitrürlemenin avantajı işlenen yüzeyin ısı işlemine gerek görülmez. Böylece ısıl işlemlerle oluşan şekil değiştirmeler (distorsiyon) görülmez. Bu da bu yöntemin çok yaygın olarak kullanılmasının nedenidir. Bununla birlikte karbürleme veya nitrokarbürleme gibi diğer metotlara göre daha sert yüzey elde edilir ve bu yüzey daha yüksek basınç gerilmelerine sahiptir. Ayrıca, nitrürün yumuşatma sıcaklığı bu iki alternatifte (karbürleme-nitrokarbürleme) göre daha yüksektir. Kısa sürelerde bu yumuşatma sıcaklığı 300 - 400 °C'dir .

Nitrürleme işlemi alaşımsız, düşük alaşımlı, yüksek alaşımlı, ferritik, perlitik yada östenitik her tür çeliğe uygulanabilir. Islah edilmiş çeliklerde nitrürleme uygulanabilmesi, yüksek yüzey sertliği yanında uygun çekirdek yapısının da seçilmesine olanak sağlar (Sağın, 1994).

9.1. Nitrürleme İşleminin Dezavantajları

Nitrürleme amonyak kullanılarak yapılan uzun bir işlemdir ve nispeten pahalıdır. Bu yüzden mümkün olan durumlarda alternatifleri de göz önüne alınmalıdır. Nitrokarbürlemenin biraz dikkatli yapılması da yakın sonuç verir. Ama yine de nitrürleme ile elde edilen sonuçlara benzer sonuç vermez (Topbaş, 1983).

9.2. Nitrürleme İşleminin Uygulandığı Çeşitli Malzemeler ve Kullanım Alanları

- Alaşımsız düşük karbonlu çelikler (1008,1010): Otomotiv ve hidrolik elemanları
- Alaşımsız orta karbonlu çelikler (1045): Bağlantı parçaları, basit dişliler
- Düşük alaşımlı çelikler (4140, 4340): Dişliler, miller, krank milleri
- Orta alaşımlı çelikler : Dişliler ve makine parçaları
- Mikro alaşımlar (MM2): Hidrolik elemanları
- Alüminyumlu çelikler (135M): Kamalı miller, dişliler ve enjeksiyon vidası
- Takım çelikleri -D serisi (D2): Kesme ve şekil verme takımları
- Takım çelikleri -H serisi (H13): Ekstürüzyon zarfı ve dövme blokları

- Takım elikleri -P serisi (P20): Döküm zarfları
- Yüksek hız elikleri (M2): Takımlar
- Çökeltme sertleştirilmesi uygulanmış elikler (17-4PH): Şaftlar, bağlantı parçaları ve kamalı miller
- Yüksek kromlu martenzitik paslanmaz çelikler (400-500 serisi) : Piston segmanları ve valflar
- Dökme demir (Pik demirli, küresel dökme demir): Yatak malzemeleri ve gömlek



10. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

10.1. Deneyin Amacı

DIN 8550 ve AISI 4140 çeliklerin de 3-6-12 saat sürelerle, 520°C ve 570°C sıcaklıklarda, %50 NH₃ - %50 N₂ ortamında yapılan nitrasyon işleminin numunelerin metalografik yapılarına, tabaka kalınlıklarına, çekme ve çentik darbe dayanımları üzerine etkilerini araştırmaktır.

10.2. Deneyde Kullanılan Araç ve Gereçler

- Akışkan yataklı fırın,
- DIN 8550 ve AISI 4140 çeliklerinden hazırlanmış çekme testi ve çentik darbe numuneleri
- Zımpara kağıtları(180,220,320,400,600,800)
- Işık metal mikroskobu
- Vickers sertlik cihazı,
- Çentik darbe cihazı
- Çekme cihazı

10.3. Deneyin Yapılışı

Deneysel çalışmalarda kullanılan AISI 4140 ve DIN 8550 çeliklerinin kimyasal bileşimleri Çizelge 10.1 ve 10.2’de verilmiştir. İlk olarak çekme deneyi ve çentik darbe deneyi için hazırlanmış olan numuneler, difüzyon olayının engellenmemesi amacıyla zımparalandı. Nitrasyon işlemine başlamadan önce 8 adet çekme numunesi ve 8 adet çentik darbe numunesi ıslah işlemine tabi tutuldu. Islah işleminde numuneler akışkan yataklı fırın içerisine bir sepet yardımıyla daldırıldı. Deney parçalarını fırında 850 °C de 1 saat tuttuktan sonra parçaları çıkartıp yağa daldırarak soğutma işlemi yapıldı. Yağda soğutma sonrasında numunelerin yüzeyinde bulunan yağ tabakasını triklor etilen kullanılarak temizlendi. Ardından numuneler, tekrar fırın içerisine yerleştirilerek 600 C de 1 saat bekletildi. Bu sürenin sonunda numuneler fırından çıkarılıp havada soğutuldu. Böylece menevişleme işlemi tamamlandı. Islah işlemleri tamamlanmış olan numunelerin yüzey sertlikleri ölçülerek değerler HV cinsinden tespit edildi (Çizelge 10.3). Numuneler tekrar zımparalanıp nitrasyon işlemine hazır hale getirildi. Deneye tabi tutulacak numuneleri ıslahlı ve ıslahsız DIN 8550, ayrıca ıslahlı ve ıslahsız AISI 4140 olarak 4 ana grupta topladık. Bu numunelere %50NH₃+ %50N₂ ortamında, 520°C ve 570°C gibi iki ayrı sıcaklık kademesinde ve 3-6-12 saatlik üç ayrı zaman kademesinde nitrasyon işlemi uygulandı. Böylece nitrasyon işlemi sonrasında 16 adet çekme testi için ve 16 adet de çentik darbe testi için nitrürlenmiş numuneler elde edildi. Nitrasyon işlemine tabi tutulan

numunelerin yüzey ve çekirdek sertlik değerleri ile tabaka kalınlıkları ölçüldü. Elde edilen değerler Çizelge 10.4, 10.5, 10.6'de gösterilmiştir. Bu numuneler daha sonra çekme ve çentik darbe makinelerinde testlere tabi tutuldu ve sonuçları çizelgelerde verildi.

Çizelge 10.1 AISI 4140 çeliğinin kimyasal analizi

Fe2	C	Si	Mn1	P	S	Cr1	Mo	Ni3	B
96,23	0,420	0,227	0,933	0,0045	0,0269	1,09	0,168	0,217	0,00
Co	Cu1	Nb	Pb1	Sn	Ti	V	W	Al	
0,016	0,379	0,015	0,0120	0,04	0,0	0,0	0,016	0,00	

Çizelge 10.2 DIN 8550 çeliğinin kimyasal analizi

Fe2	C	Si	Mn1	P	Cr1	Mo	Ni3	Al
95,27	0,357	0,193	0,581	0,0044	1,74	0,184	1,03	1,44
B	Cu1	Nb	Pb1	Sn	Ti	V1	W	
0,00	0,214	0,002	0,00	0,003	0,001	0,00	0,003	

Çizelge10.3 Islah öncesi ve sonrası sertlik değerleri

	Orijinal Sertlik	Yağda Soğutma Sonrası Sertlik	Islah Sonrası Sertlik
DIN 8550	235 HV	470 HV	295 HV
AISI 4140	217 HV	500 HV	300 HV

Çizelge 10.4 Deney sonuçları (3 saat)

Malzeme	Nitrürleme Süresi	Nitrürleme Sıcaklığı	Nitrürleme Tabakasının Kalınlığı	Nitrürleme Tabakasını Sertliği	Malzeme Çekirdek Sertliği
Islahlı DIN 8550	3saat	520°C	7,05µm	1006HV	294HV
Islahlı AISI 4140	3saat	520°C	7,25µm	753HV	255HV
Islahsız DIN 8550	3saat	520°C	6,1µm	937HV	269HV
Islahsız AISI 4140	3saat	520°C	6,2µm	672HV	206HV
Islahlı DIN 8550	3saat	570°C	13,25µm	874HV	289HV
Islahlı AISI 4140	3saat	570°C	14,05µm	633HV	255HV
Islahsız DIN 8550	3saat	570°C	10µm	874HV	284HV
Islahsız AISI 4140	3saat	570°C	12,9µm	603HV	206HV

Çizelge 10.5 Deney sonuçları (6 saat)

Malzeme	Nitrürleme Süresi	Nitrürleme Sıcaklığı	Nitrürleme Tabakasının Kalınlığı	Nitrürleme Tabakasını Sertliği	Malzeme Çekirdek Sertliği
Islahlı DIN 8550	6saat	520°C	11,5µm	1072HV	324HV
Islahlı AISI 4140	6saat	520°C	11,95µm	733HV	246HV
Islahsız DIN 8550	6saat	520°C	10,8µm	1038HV	264HV
Islahsız AISI 4140	6saat	520°C	9,92µm	707HV	203HV
Islahlı DIN 8550	6saat	570°C	20,5µm	1037HV	317HV
Islahlı AISI 4140	6saat	570°C	18,5µm	618HV	243HV
Islahsız DIN 8550	6saat	570°C	24µm	965HV	278HV
Islahsız AISI 4140	6saat	570°C	23,9µm	584HV	216HV

Çizelge10.6 Deney sonuçları (12 saat)

Malzeme	Nitrürleme Süresi	Nitrürleme Sıcaklığı	Nitrürleme Tabakasının Kalınlığı	Nitrürleme Tabakasını Sertliği	Malzeme Çekirdek Sertliği
Islahlı DIN 8550	12saat	520°C	32,73µm	1114HV	337 HV
Islahlı AISI 4140	12saat	520°C	29,8µm	750HV	279 HV
Islahsız DIN 8550	12saat	520°C	30,7µm	975 HV	300 HV
Islahsız AISI 4140	12saat	520°C	24,6µm	707 HV	252 HV
Islahlı DIN 8550	12saat	570°C	39,73µm	1060 HV	341 HV
Islahlı AISI 4140	12saat	570°C	32,33µm	638 HV	273 HV
Islahsız DIN 8550	12saat	570°C	38,9µm	975 HV	323 HV
Islahsız AISI 4140	12saat	570°C	29,85µm	605 HV	246 HV

Islah edilmiş numunede demir nitrür yada alüminyum nitrür çökeltileri, ıslah işlemi sonrasında belli bir sertlik düzeyine ulaşılmış olan matriks içinde bulunmaktadır. Taşıyıcı doku bir ön işlem ile orjinal sertliğin üzerine çıkarılmıştır. Islah edilmemiş numunede ise bu çökeltiler; nitrasyon filmini oluşturan sertliği orjinal sertlik düzeyinde olan bir matriks içinde bulunurlar. Elde edilen bu sertlik farklılığı (aynı bileşim için) matriks malzemesinin nitrasyon işlemi öncesindeki sertliğiyle açıklanabilir.

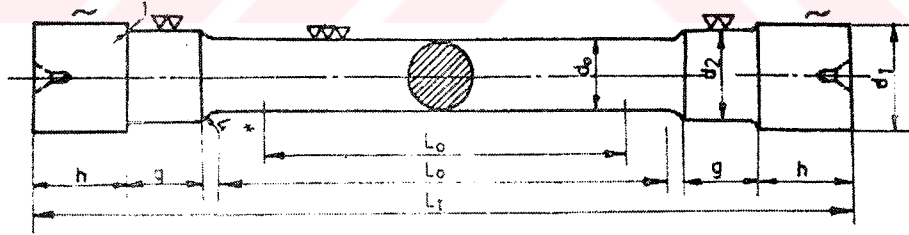
Azot atomlarının östenit kafesleri içine yayılmaları (östenit kafesindeki boşluk oranı yüksek olduğundan) daha kolay olmasına rağmen, nitrasyon işlemi dokunun α fazında bulunduğu

sıcaklık basamaklarında (düşük sıcaklıkta) yapılır. Bunun nedeni şöyle açıklanabilir; kübik yüzey merkezli östenit kafeslerine kolaylıkla giren azot atomları yüzeydeki kafeslere girer girmez malzeme yüzeyinde sürekli bir nitrür filmi oluşturur. Bu aşamadan sonra azot atomlarının yüzeyden içeriye doğru yayınma olanakları yoktur. Çok ince ve yetersiz kalınlıktaki bu filmin altındaki malzeme dokusu orjinal sertliği korur. Sertlik ölçümü sırasında bu çok ince film aşıldıktan sonra, sertlik ölçümündeki baskı elemanı malzemenin orjinal dokusuyla karşılaşır.

Nitrürleme işlemi için her ne kadar uygun sıcaklıktaki birçok çelik nitrojenin ortamda demir nitrür oluştursada nitrürü oluşturuca alaşım elementleri içerenler daha makbuldür. Alaşım elementleri arasında alüminyum en güçlü olduğundan alüminyum içeren çelikler en iyi nitrürleme sonucu verirler. Bu çelikler nitrürlendiklerinde alüminyum AlN parçacıkları oluşturur ve ferritik kafeste güçlü dislokasyonlar meydana getirir.

10.4.Çekme Deneyi

Çekme deneyinde deney parçası düzgün ve darbesiz olarak kopuncaya kadar uzatılır. Neticenin hatalı çıkmaması için uzama hızı düşük olmalıdır. Çekme kuvveti numunedeki uzunluk değişimi ile ölçülür ve ölçü aletine takılı bir kalem ucu tarafından çizilir. Deney sırasında malzemenin sabit olarak artan ve kesit üzerinde eşit olarak dağılmış çekme kuvveti etkisi altındaki davranışı takip edilir.



Şekil 10.1 Çekme numunesi

Parçanın önemli olan boyutları ölçü boyu (l_0) ve çapı (d_0) dır.bu ikisi arasında sabit bir oran mevcut olmalıdır.

$$l_0=5.d_0 \quad (\text{kısa orantılı çubuklarda}) \quad (10.1)$$

$$l_0=10.d_0 \quad (\text{uzun orantılı çubuklarda}) \quad (10.2)$$

Ölçü boyu çizilerek numune üzerinde işaretlenen iki nokta arasındaki uzaklıktır. Standartlarda numunelerin hazırlanmasına ait ölçüler ve kaideler mevcuttur. Yaptığımız çekme deneyindeki numunelerimizin ölçüleri Çizelge 10.7’de verilmiştir.

Çizelge 10.7

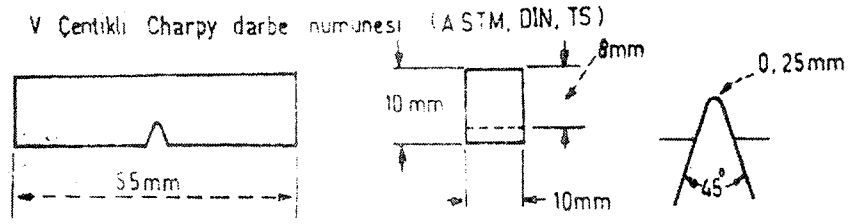
d ₀	d ₂	d ₁	H	g	L ₀	L _V	L _T
10	12	18	15	10	50	60	120

Çizelge 10.8 Nitrürlenmiş numunelerin çekme değerleri

PARÇA	d ₀	A ₀	L ₀	L _K	F _{Akma} Kp(N)	Re Kp/mm ² (N/mm ²)	F _{max} Kp(N)	Rm Kp/mm ² (N/mm ²)	δ %
Isıl İşlemsiz 8550	9,48	70,54	50	58	6200	87,89 (862,20)	6800	96,40 (945,67)	16
Isıl İşlemsiz 4140	9,49	70,49	50	59,5	4500	63,83 (626,2)	5500	78,02 (765,4)	19
520 ⁰ C 6 saat ıslahlı 8550	9,72	74,16	50	57,6	6650	89,67 (879,67)	8000	107,82 (1058,2)	15,2
520 ⁰ C 6saat ıslahsız 8550	10,04	79,12	50	54	6700	84,68 (830,72)	7800	98,58 (967,11)	8
520 ⁰ C 6saat ıslahlı 4140	9,92	77,25	50	57,7	7400	95,79 (939,73)	7900	102,26 (1003,2)	15,4
520 ⁰ C 6saat ıslahsız 4140	10,01	78,65	50	58,39	4250	54,03 (530,10)	5500	69,98 (686,1)	17,8
570 ⁰ C 6saat ıslahlı 8550	9,67	73,40	50	56,1	6600	89,92 (882,10)	8700	118,52 (1162,7)	12,2
570 ⁰ C 6saat ıslahsız 8550	9,87	76,47	50	55,2	6400	83,69 (821,02)	7600	99,38 (979,97)	10,4
570 ⁰ C 6saat ıslahlı 4140	10,01	78,65	50	53	7200	91,54 (898,05)	8200	104,26 (1022,7)	6
570 ⁰ C 6saat ıslahsız 4140	9,95	77,21	50	56,3	3800	48,90 (479,70)	5200	66,91 (656,38)	12,6
520 ⁰ C 12saat ıslahlı 8550	9,22	66,73	50	54	6200	92,91 (911,46)	7350	110,14 (1080,5)	8
520 ⁰ C 12saat ıslahsız 8550	9,98	78,18	50	56	6700	85,70 (840,71)	7850	100,41 (985,01)	12
520 ⁰ C 12saat ıslahlı 4140	9,93	77,40	50	54,2	7400	95,60 (937,90)	7800	100,77 (98890)	8,4
520 ⁰ C 12saat ıslahsız 4140	9,94	77,56	50	56,2	4200	54,15 (531,22)	5250	67,69 (664,03)	12,4
570 ⁰ C 12saat ıslahlı 8550	9,97	78,02	50	54,5	6200	79,40 (779,57)	8000	102,53 (1005,8)	9
570 ⁰ C 12saat ıslahsız 8550	9,48	70,54	50	58,2	5800	82,22 (806,60)	6900	97,81 (959,81)	16,4
570 ⁰ C 12saat ıslahlı 4140	10,07	79,60	50	55	7100	89,19 (875,01)	7700	96,73 (948,95)	10
570 ⁰ C 12saat ıslahsız 4140	10,05	79,28	50	55	4500	56,76 (556,82)	5000	63,06 (618,59)	10

10.5. Çentik Darbe Deneyi

Bu deneyde kopma anına kadar gereken şekil değıştirme işi ölçülür. Numuneler iki mesnet üzerindeki bir taşıyıcı çubuğa benzerler ve darbe şeklinde tam ortadan etki eden bir kuvvetle eğme şeklinde zorlanırlar. Çentik darbe numunesi delinerek ve daha sonra testere ile genişletilerek yapılmış bir çentiğe sahiptir. Çentik darbe sünekliliği değeri ancak aynı şekle sahip numuneler üzerinde tespit edilirse mukayase edilebilirler. Yaptığımız deneylerdeki sonuçlar Çizelge 10.9'da gösterilmiştir.

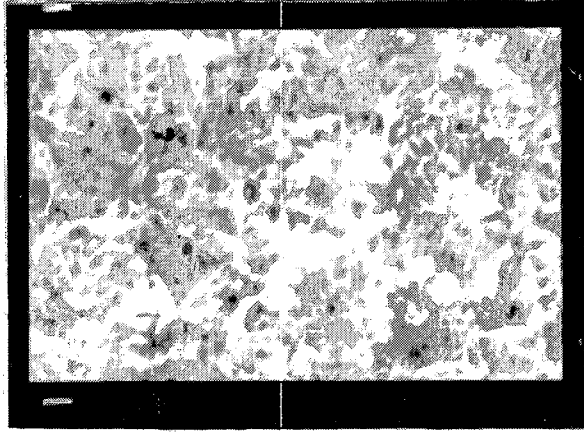


Şekil 10.2 Çentik darbe numunesi

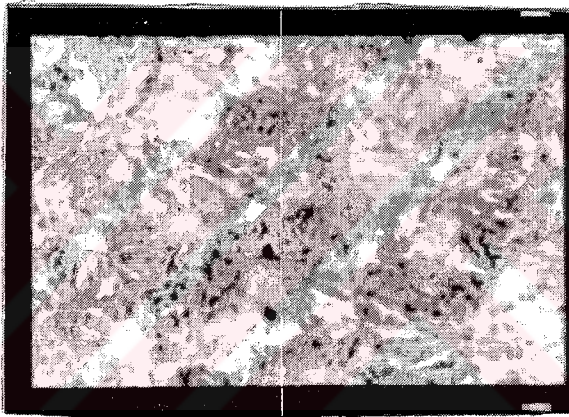
Çizelge 10.9 Nitritlenmiş numunelerin çentik darbe değerleri

Parça	d ₀ (mm)		A ₀ (cm ²)	Kırma İşi kpm (J)	Çentik Darbe Dayanımı kpm/cm (J/cm ²)
	a	b			
520 ⁰ C 6 saat ıslahlı 8550	10,17	8,80	0,895	6,4 (62,78)	7,15 (70,14)
520 ⁰ C 6 saat ıslahsız 8550	9,97	8,81	0,878	4,85 (47,58)	5,52 (54,15)
520 ⁰ C 6 saat ıslahlı 4140	10,01	8,65	0,866	6,1 (59,84)	7,04 (69,06)
520 ⁰ C 6 saat ıslahsız 4140	10,18	8,65	0,88	0,2 (1,96)	0,227 (2,22)
570 ⁰ C 6 saat ıslahlı 8550	10,13	8,97	0,908	7,8 (76,52)	8,59 (84,26)
570 ⁰ C 6 saat ıslahsız 8550	10,8	8,56	0,924	7 (68,67)	7,57 (74,26)
570 ⁰ C 6 saat ıslahlı 4140	10,22	8,56	0,875	6,1 (59,84)	6,97 (68,37)
570 ⁰ C 6 saat ıslahsız 4140	10,05	8,62	0,866	0,2 (1,96)	0,23 (2,25)
520 ⁰ C 12saat ıslahlı 8550	9,90	8,15	0,807	3 (29,43)	3,71 (36,47)
520 ⁰ C 12saat ıslahsız 8550	10,06	8,00	0,805	2,6 (25,5)	3,23 (31,68)
520 ⁰ C 12saat ıslahlı 4140	10,05	8,30	0,834	5,4 (52,97)	6,47 (63,51)
520 ⁰ C 12saat ıslahsız 4140	9,99	8,30	0,832	0,3 (2,94)	0,36 (3,54)
570 ⁰ C 12saat ıslahlı 8550	10,05	8,34	0,838	5,5 (53,95)	6,56 (64,38)
570 ⁰ C 12saat ıslahsız 8550	10,16	8,65	0,878	6,4 (62,78)	7,29 (71,51)
570 ⁰ C 12saat ıslahlı 4140	10,19	8,62	0,878	5,4 (52,97)	6,15 (60,33)
570 ⁰ C 12saat ıslahsız 4140	10,25	8,51	0,872	0,2 (1,96)	0,23 (2,25)

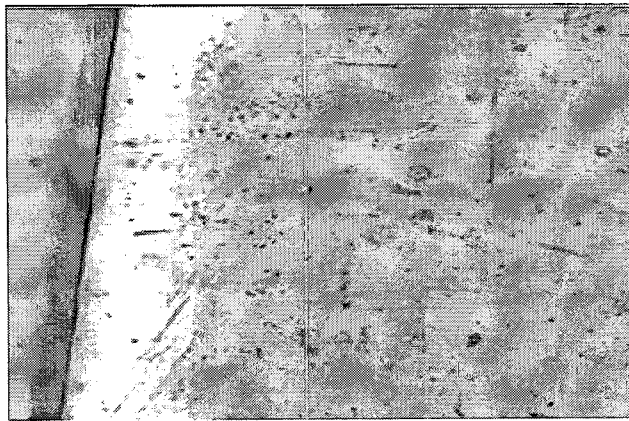
10.6.Metalografik Bulgular



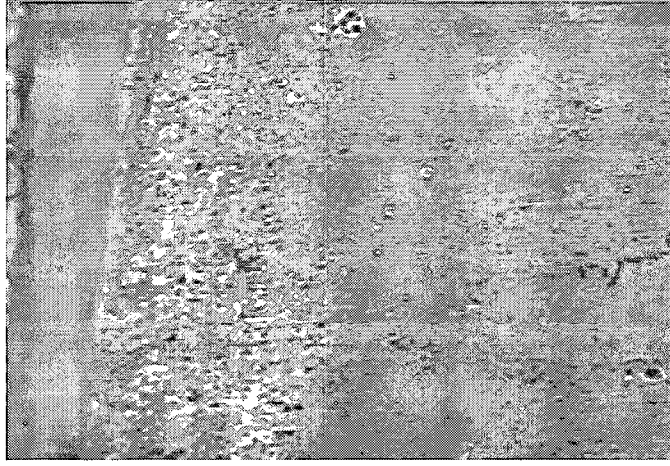
1. MİKROGRAF:AISI 4140 çeliğinin nitrürleme işlemine tabi tutulmadan önceki mikroyapısı(x200)



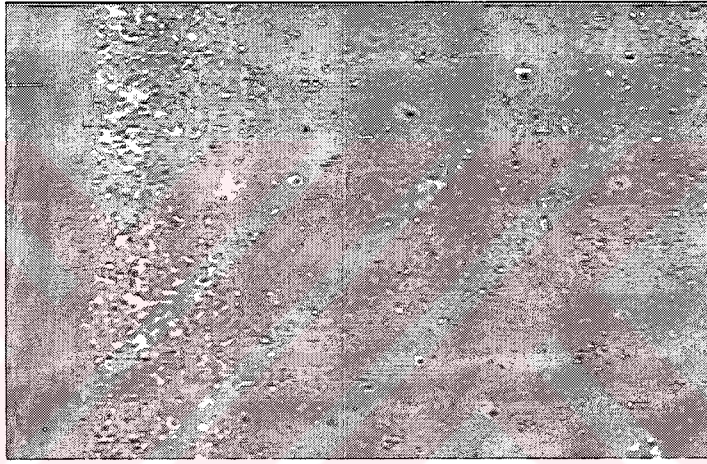
2.MİKROGRAF:DIN 8550 çeliğinin nitrürleme işlemine tabi tutulmadan önceki mikroyapısı(x200)



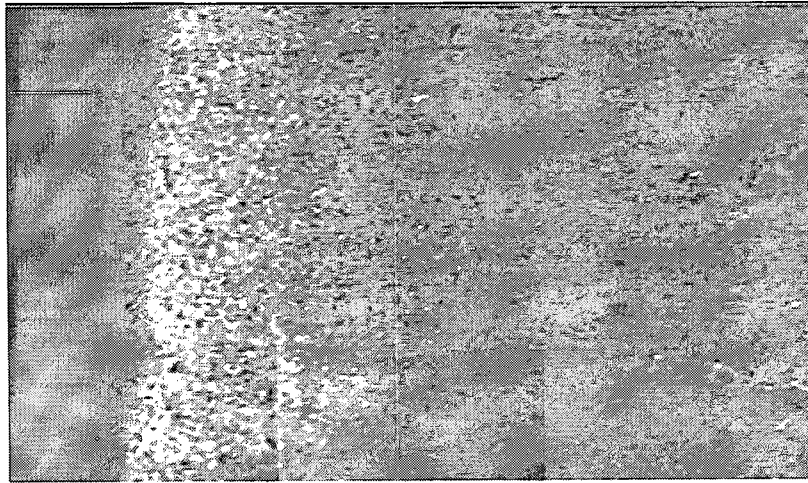
3. MİKROGRAF: AISI 4140 çeliğinin 3 saat nitrürleme işlemi sonrası nitrür tabakası (X100)



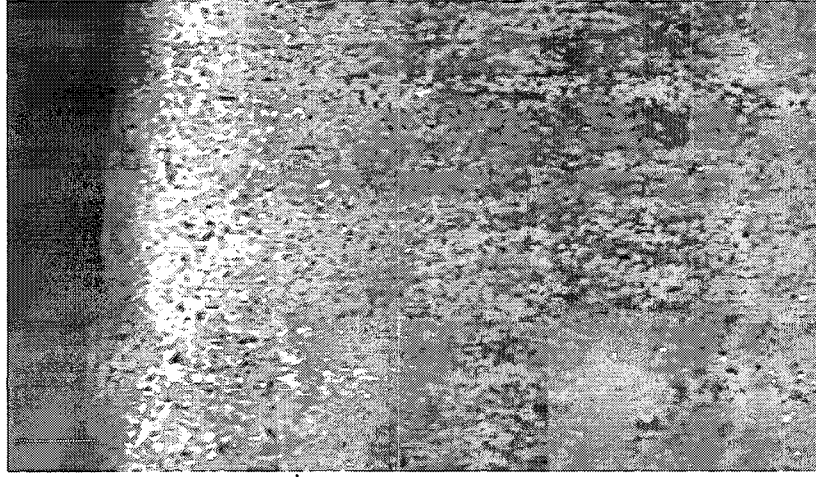
4. MİKROGRAF: DIN 8550 çeliğinin 3 saat nitrürleme işlemi sonrası nitrür tabakası (X100)



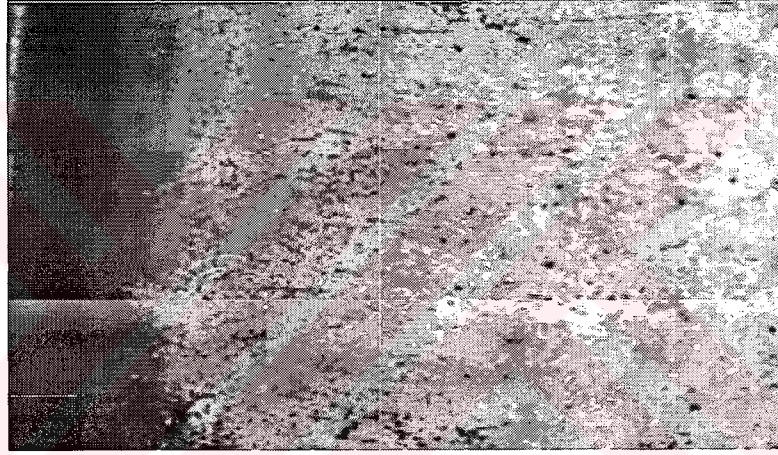
5. MİKROGRAF: AISI 4140 çeliğinin 6 saat nitrürleme işlemi sonrası nitrür tabakası (X100)



6. MİKROGRAF: DIN 8550 çeliğinin 6 saat nitrürleme işlemi sonrası nitrür tabakası (X100)



7. MİKROGRAF: AISI 4140 çeliğinin 12 saat nitrürleme işlemi sonrası nitrür tabakası (X100)



8. MİKROGRAF: DIN 8550 çeliğinin 12 saat nitrürleme işlemi sonrası nitrür tabakası (X100)

11. SONUÇLAR VE İRDELEME

- Akışkan yataklarda nitrasyon işlemi, diğer yöntemlere göre homojen sıcaklık dağılımı, çevreye hiçbir zararın olmaması ve atmosfer kontrolünün kolay oluşu gibi avantajlara sahiptir.
- 3 saat nitrürleme sonrası tabaka kalınlıkları 6,1 - 14,05 μ m arasında değişti. Nitrürleme tabakasının sertliğinde 603 - 1006HV arasında değiştiği görüldü.
- 6 saat nitrürleme sonrası tabaka kalınlıkları 9,92 - 24 μ m arasında değişti. Nitrürleme tabakasının sertliğinde 584 - 1072HV arasında değiştiği görüldü.
- 12 saat nitrürleme sonrası tabaka kalınlıkları 24,6 - 39,73 μ m arasında değişti. Nitrürleme tabakasının sertliğinde 605 - 1114HV arasında değiştiği görüldü.
- Nitrürleme süresi arttıkça, nitrürleme tabakasının sertliği arttı.
- Nitrürleme sıcaklığı arttıkça, nitrürleme tabakasının sertliği azaldı.
- İslah edilmiş DIN 8550 çeliğinin nitrürleme tabakasının sertliği, ıslah edilmemiş DIN 8550 çeliğine göre daha yüksek değerlerde bulundu.
- DIN 8550 çeliği AISI 4140 çeliğine göre nitrürleme tabakasının sertliği daha yüksek değerlerde bulundu.
- Çekirdek sertliği, ıslah edilmiş olan numunelerde ıslah edilmemiş olan numunelere göre daha yüksek değerlerde bulundu.
- İslah edilmiş numunelerde ki nitrürleme tabakasının kalınlığı, ıslah edilmemiş numunelere nazaran daha yüksek değerlerde bulundu.
- Süre arttıkça nitrürleme tabakasının kalınlığında artış görüldü.

Çekme Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi :

- Sürenin artması ile sertlik arttı ve bu da kopma uzamasının düşmesine neden oldu.
- Sıcaklık artışı ile sertlik ters orantılıdır. Sıcaklık arttıkça sertlik azaldı ve buna bağlı olarak kopma uzaması artmıştır.
- DIN 8550 %1 Al alaşımlı bir çelik olduğu için içerisinde AlN parçacıkları içerir ve AISI 4140'a göre daha serttir Buna göre DIN 8550' nın kopma uzaması daha düşüktür.
- Akma sınırı ıslahlı numunelerde ıslahsız olanlara göre daha yüksektir.
- İslahlı numunelerde kopma uzaması ıslahsız numunelere nazaran daha yüksektir. Çünkü ıslah işlemiyle numunelerin sertlik değerleri artırılmıştır.

Sonuç olarak nitrasyon ile yüzey sertleştirme işlemi yapılarak parçaların çekmeye karşı dayanımları da arttırılır.

Çentik Darbe Deneyinin Sonuçlarının Değerlendirilmesi :

- Islahsız AISI 4140 çeliğinde bir problemten dolayı çentik darbe dayancı hiç işlem görmemiş halindeki çentik darbe dayancından daha yüksek çıkmıştır.
- Süre sabit, sıcaklık arttıkça çentik darbe dayanımının çok az miktarda arttığı görüldü.
- Sıcaklık sabit, süre arttıkça çentik darbe dayanımının azaldığı görüldü.
- Islahlı numunelerin çentik darbe dayancının ıslahsız olan numunelerden daha yüksek olduğu tespit edildi.
- DIN 8550 çeliğinin çentik darbe dayanımının AISI 4140 çeliğine göre daha yüksek olduğu tespit edildi.

Sonuç olarak nitrasyon ile yüzey sertleştirme işlemi yapılarak parçaların çentik darbe dayanımlarının etkilenmediği, farklılıkların numunelerin ıslahlı veya ıslahsız olmasından kaynaklandığı anlaşılmıştır.

KAYNAKLAR

- Aydın, E., (2000), "Akışkan Yataklı Fırında Nitrasyon", YTÜ Lisans Tezi.
- Reynoldson, R.W., (1993), Heat Treatment in Fluidized Bed Furnaces, U.S.A.
- Çimen, Ö., Çep H., Zeytin S., (1995), "Akışkan Yatak Sisteminde Isıl İşlem Uygulamaları", 8. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, 6-9 Haziran 1995, İstanbul.
- Safaoğlu, R., "Nitrürasyon", Doçentlik Tezi.
- Sönmez, M., "Nitrürasyon" İTÜ Maden Fakültesi.
- Herbers, H., Çev: Recepoglu, A.O., (1969), Çeliğin Sertleştirilmesi ve Islahı.
- Theining, K.E., Tekin, A., (1984), Çelik ve Isıl İşlemi, Bofors El Kitabı.
- Karamış, M.B., "İyon nitrürleme Esasları ve Çelikleri Uygulanması".
- Bargel, H.J., Schulze, G., Güleç, Ş. vd., (1995), Malzeme Bilgisi 2. cilt, İTÜ, İstanbul.
- Conrad, H. Kneer, Metlob, Thomas, C. Rose, "Alloy Hard Surfacing Inc. And James H. Filkowski, Litton Precion Gear.
- Porter, D.A., Easterlink, K.E., (1981), "Face Transformation in Metals", Van Nastrand Rein Hold Co. Ltd.
- İzgiz, S., Çelik El Kitabı Fasikül 4, TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası, Ankara.
- Lakhtin, Y., Komaç, Ş., Altaç, Z. vd., (1994), Fiziksel Metalurji ve Isıl İşlem, Osmangazi Ün. Makine Müh. Böl., Eskişehir.
- Topbaş, M.A., (1983), Isıl İşlemler, Yıldız, İstanbul.
- Bell, T., Lee, S.Y., (1975) "Gaseous Atmospheric Nitrocarburizing Heat Treatment".
- Sağın, A., (1994), "Sementasyon ve Nitrasyonla Sertleştirilmiş Çeliklerin Korozyon Davranışları Açısından İncelenmesi", YTÜ Yüksek Lisans Tezi.
- Reynoldson, R.W., (1989), Heat Treatment in Fluidized Bed Furnaces, U.S.A

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	11.07.1977	
Doğum Yeri	İstanbul	
Lise	1992-1994	Fatih Şehremini Lisesi
Lisans	1995-1999	Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya-Metalurji Fak. Metalurji Müh. Bölümü
Yüksek Lisans	1999-Devam ediyor	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji Müh. Anabilim Dalı, Malzeme Programı

Çalıştığı kurumlar

1999-Devam ediyor	Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya-Metalurji Fak. Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü Araştırma Görevlisi
-------------------	--

