

NİTRURASYON TAV FIRINI DİZAYNI VE NİTRURASYONU
ETKİLEYEN PARAMETRELERİN İNCELENMESİ

OSMAN NURİ ÇELİK

Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı
Konstrüksiyon ve İmalat Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Orhan Şerif KOMAC

✓

Eylül - 1989

OSMAN NURI ÇELİK'in "YÜKSEK LİSANS" tezi olarak hazırladığı "NİTRÜRASYON TAV FIRINI DİZAYNI VE NİTRÜRASYONU ETKİLEYEN PARAMETRELERİN İNCELENMESİ" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

.08 / .09 / 1989

Üye : Doç. Dr. Macit Yaman

Üye : Yrd. Doç. Dr. Orhan Şerif KOMAÇ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Nedret AYDINBEYLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun **11 EYLÜL 1989** gün ve **219/5**... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Rüstem KAYA
Enstitü Müdürü

İCİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
DZET	iv
SUMMARY	v
SEKİLLER DİZİNİ	vi
TABLULAR DİZİNİ	viii
SİMGELER DİZİNİ	ix
TEŞEKKÜR	x
1. GİRİŞ VE AMAC	1
2. Isıl İşlem	1
2.1. Yüzey Sertleştirme	3
2.2. Sementasyon	4
2.2.1. Karbürizasyon	5
2.2.1.1. Toz ortamda karbürizasyon	5
2.2.1.2. Tuz banyosunda karbürizasyon ...	6
2.2.1.3. Gaz atmosferde karbürizasyon ...	6
2.2.2. Sertleştirme İşlemleri	7
2.2.2.1. Çift sertleştirme	7
2.2.2.2. Basit sertleştirme	8
2.2.2.3. Direkt sertleştirme	8
2.3. Nitrürasyon (Genel)	9
3. NİTRÜRASYON	12
3.1. Nitrürasyon Çelikleri	12
3.2. Nitrürasyon Tipleri	14
3.3. Gaz Ortamda Nitrürasyon	15
3.4. Tuz Banyosunda Nitrürasyon	17
3.5. Sıvı Nitrürasyon Sistemleri	18
3.5.1. Basınç altında sıvı nitrürasyon	19
3.5.2. Hava akımlı nitrürasyon banyosu	22
3.5.3. Basıncsız siyanürsüz nitrürasyon	23
3.6. Sıvı Nitrürasyonda Yüzey Sertliğini Etkileyen Parametreler	24
3.6.1. Çelik kompozisyonunun etkisi	24
3.6.2. Nitrürasyon derinliği ve sürenin etkisi	25
3.7. Katı Ortamda (Toz ile) Nitrürasyon	26

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

3.8. Gaz Nitrürasyon ile Tuz Banyosunda Nitrürasyonun Karşılaştırılması	28
3.9. Nitrürasyon ile Sementasyonun Karşılaştırılması	28
3.10. Nitrürasyonun Kinetiği	29
4. NİTRÜRASYON TAV FIRINI DIZAYNI	32
4.1. Laboratuar Tipi Fırınlarla İlgili Bilgiler	32
4.2. Nitrürasyon Fırını Dizaynı İçin Algoritma	33
4.2.1. Fota boyutlarının tespiti	33
4.2.2. Tuğla boyutları ve cinsinin belirlenmesi	33
4.2.3. Rezistans teli hesabı	37
4.2.4. Isı transferi hesabı	43
4.2.5. Gerilim ve akım hesabı	44
4.3. Amstrad-6128 Bilgisayar İçin Yapılmış Fırın Dizayn Programı	44
4.3.1. Akım şeması	45
4.3.2. Bilgisayar programı	52
4.3.3. Örnek Fırın Dizaynı	57
5. NİTRÜRASYON DENEYLERİ	59
5.1. Deneylerde Kullanılan Cihazlar	59
5.2. Deneye Tabi Tutulan Malzemeler	59
5.3. Deneylerin Yapılışı	60
5.4. Deney Sonuçları ve İrdelenmesi	60
<i>İng makale</i> 6. GENEL SONUÇLAR	62
KAYNAKLAR DİZİNİ	64

EKLER

1. Deneyin Yapıldığı Fırına Ait Teknik Resimler.
2. Deneye tabi tutulan malzemelerin mikro yapıları.

ÖZET

Günümüzde yapı çeliklerinde aranan en önemli özellik, dışta sert ve mukavim, içte ise tok bir yapı elde etmektir. Yüzey sertleştirme işlemleri bu isteklere cevap verebilmektedir. Bu nedenle uzun yıllar boyunca yapılan araştırmalar sonucu yüzey sertleştirme işlemleri geliştirilmiştir.

Bu çalışmada ilk olarak, yüzey sertleştirme işlemlerinden olan nitrürasyon ele alınmış, daha sonra bu işlemin yapılabileceği nitrürasyon tav fırınları anlatılmıştır. Çalışmanın sonunda bu tür fırınları dizayn edebilen bir bilgisayar programı verilmiştir.

Nitrürasyon işlemi çelik yüzeyine azot yayındırılarak, yüzeyde nitrür oluşturulması ile yapılır. Nitrürler işlem sonunda kendi başlarına serttirler, bu nedenle nitrürasyon işlemi sonunda ayrıca bir sertleştirme işlemi gerekmez.

Kullanılacak yere uygun ve işlem görmemiş çelikler bulunması mümkündür. Fakat bu tür çelikler her zaman ekonomik olmayabilir. Bu nedenle yüzey sertleştirme işlemine tabi tutulmuş parçalar kullanmak daha ekonomiktir.

SUMMARY

Today, the most important property in construction steel is that it should be hard and strong outside, and tough inside. Surface hardening processes should meet above requirements. For this reason, these methods have been developed through investigations done for years.

In this study, at first nitriding which is one of the surface hardening processes was handled. Afterwards, nitriding furnaces used for hardening were explained. Finally a computer program which designs such a furnace was presented.

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>		<u>Sayfa</u>
2.1	Fe-C denge diyagramı	2
2.2	Karbon miktarına bağlı olarak çeliklerin tavlama sıcaklıkları	3
2.3	Cift sertleştirme işlemi	8
2.4	Fe-N Denge diyagramı	10
3.1	Alaşım elementlerinin % 0.35 C, % 0.30 Si, %0.70 Mn çeliginin nitrürasyonu sonrası sertliğe etkisi	13
3.2	Alaşım elementlerinin 400 VS değerinde ölçülen nitrürasyon derinliğine etkisi	14
3.3	Gaz nitrürasyonda, çözünen amonyakın bünyesine yayınmasının şematik gösterilişi	16
3.4	410 Paslanmaz çelik için basınç altında nitrürasyon	20
3.5	AISI D2 çeliği için basınç altında nitrürasyon ...	21
3.6	SAE 4140 çeliği için basınç altında nitrürasyon ..	21
3.7	1015 çeliginde azot yüzdesini sürenin ve nitrürasyonun fonksiyonu olarak veren diyagram	22
3.8	Hava akımlı nitrürasyon banyosunda karbon miktarının azot difüzyonuna etkisi	25
3.9	Hava akımlı nitrürasyon banyosunda krom alaşımlı çelikle adi karbonlu çeligin azot difüzyonu açısından karşılaştırması	25
3.10	Hava akımlı nitrürasyon banyosunda 1015 çelicine azot difüzyonunun süreyle değişimi	26
3.11	Hava akımlı nitrürasyon banyosunda sertliğin süreye bağlı değişimi	27

SEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>		<u>Sayfa</u>
3.12	Basınc altında nitrürasyonda süreye bağlı olarak ulaşılan sertlik değerleri	27
4.5	Sıcaklık ve hacme bağlı güç egrileri	37
4.6	Tel cinsi ve yüzey yükünün bulunması için gerekli egriler	38

CİZELGELER DİZİNİ

<u>Tablo</u>		<u>Sayfa</u>
3.1	Nitrürasyon çelikleri	12
4.1	Taco grafit pota ölçüleri	34
4.2	Tuğla boyutları	35
4.3	Refrakter bağlayıcılar	35
4.4	Bazık tuğlaların teknik özellikleri	36
4.5	Tel cinsine göre sıcaklık faktörleri	39
4.6	Rezistans tellerine ait bazı fiziksel özellikler	39
4.7	Tellerin çaplarına ve cinslerine göre özellikleri	41
5.1	Deneye tabi tutulan malzemelerin kimyasal kompo- zisyonları	61

SİMGELER DİZİNİ

<u>Simge</u>	<u>Açıklama</u>
A :	Avagadro sayısı.
C_o :	Malzemenin işlemden önceki karbon konsantrasyonu.
C_t :	Belli bir t süresi sonunda oluşan karbon konsantrasyonu.
C_e :	Yüzeyin karbon konsantrasyonu.
C_β :	Nitrür yapıcı elementlerin konsantrasyonu.
D :	Spiral çapı, mm.
D_M :	Difüzyon katsayısı.
d :	Tel çapı, mm.
F :	Fırın gücü, kW.
G_{top} :	Toplam tel ağırlığı, gr.
G_M :	Telin 1 m'sinin ağırlığı, gr/m.
I :	Akım, Amper.
K :	Malzemenin karbon konsantrasyonuna bağlı katsayı.
k_t :	Tuğlanın ısı iletim katsayısı, kCal/m ² /h/°C.
k_i :	İzocamin ısı iletim katsayısı, kCal/m ² /h/°C.
L_w :	Spiral uzunluğu, mm.
l :	Tel boyu, mm.
N_v :	Azot miktarı (hacimsel).
q :	Yüzey ısı yükü, W/cm ² .
R :	Gaz sabiti, kJ/kg/K.
R_t :	Toplam direnç, Ω.
R_{20° :	20 °C'deki direnç, Ω.

- R_m : Telin 1 m'sinin direnci, Ω/m .
 S : Hatve, mm.
 T : Sıcaklık, $^{\circ}C$.
 U : Gerilim, Volt.
 V : İç hacim, m^3 .
 V_M : Molar hacim, m^3/mol .
 W : Sarım adedi.
 ρ : Öz direnç, Ω .
 ρ_M, ρ_{β} : Alaşım elementlerinin ve demirin yoğunlukları, kg/m^3 .
 μ_M, μ_{β} : Alaşım elementlerinin moleküler ağırlıkları, kg/mol .
 γ_{Mi}^N : Azot aktivite katsayısı.
 σ : Yüzey enerjisi, J/cm^2 .

TESEKKÜR

Nitrürasyon konulu tezimi seçmemde ve hazırlamamda, olumlu eleştirileriyle beni destekleyen ve her türlü konuda yardımını esirgemeyen danışman hocam sayın Yrd. Doç. Dr. Orhan Şerif KOMAÇ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tezimle ilgili deneylerin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen Arş. Grv. Abdullah DZSOY ve Uzm. Müh. Kemal TAŞCI'ya, tezimin yazılması sırasında bana yardımcı olan Arş.Grv. Ahmet Nafi PEKÖZCAN ve Arş. Grv. Melih KUSHAN'a teşekkür ederim.

1. GİRİŞ VE AMAC

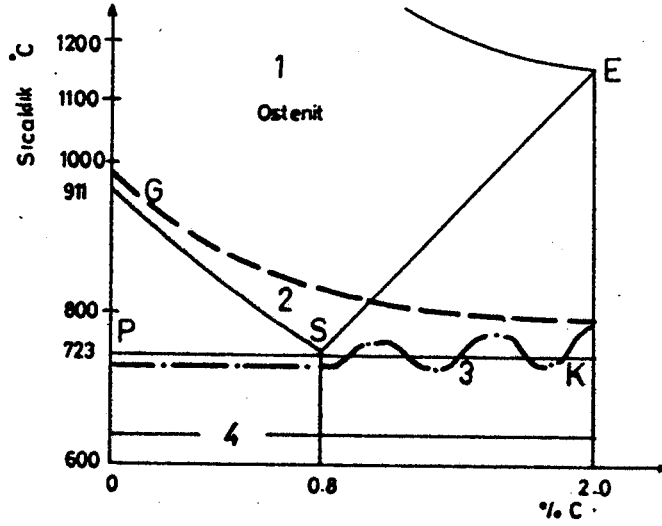
Metalik malzemelere bir takım özellikler kazandırıp, endüstriyel olarak kullanımlarını sağlamak amacıyla çok çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Isıl işlem ve alt grupları bu işlemlerin yalnızca bir bölümüdür. İnsanoglu zaman içinde malzeme de en iyiye ulaşmak için çalışmış ve buna ekonomi faktörünü de ekleyerek olayı bir mühendislik problemi haline dönüştürmüştür. Günümüzde çalışma şartlarına uygun özelliklerde ve hiç bir işlem görmemiş malzemeler bulunması mümkündür, fakat bu yöntem her zaman ekonomik olmayabilir. Bu yüzden, daha ekonomik ve aynı oranda kullanışlı malzeme elde etmenin bir yolu da ısıl işlemdir.

Isıl işlemlerden yüzey sertleştirme işlemleri, günümüzde birçok sahada kullanılmaktadır. Nitrürasyon ve sementasyon yüzey sertleştirme işlemlerinin iki ana şeklidir. Bu çalışmada sementasyona göre daha az incelenmiş olması nedeniyle nitrürasyon ele alınmış ve bu işlemin yapılabileceği fırın tiplerinin dizaynı anlatılmıştır.

2. ISIL İŞLEM

Bütün ısıl işlem türlerinin amacı, malzemenin özelliklerini kulanıcının istediği doğrultusunda değiştirmektir. Bu istekler sertliğin artması, işleme kabiliyetinin artması gibi sıralanabilir. Bu gibi özelliklerin sağlanması için malzemeye ısıl işlem uygulanır (su verme, yumuşatma tavlama-sı v.b). Hazırlanmış veya yarı hazır parçalar da ısıl işleme tabi tutulabildiği için işlem sonunda parçalar boyut değişikliğine uğramamalıdır. Isıl işlemlerde, özellik değişimleri, iç yapı değişimleri ile elde edilir. Tüm ısıl işlemler çeliğin katı haldeki dönüşümleri sonucunda olmaktadır. Dönüşüm sıcaklıkları da malzemenin içerdiği karbon oranına bağlıdır. Bu yüzden, dönüşümler için belli sıcaklıklar verilemez. Dönüşüm sıcaklıkları Fe-C diyagramından belirlenebilir (Şekil 2.1).

Çeliğin ısıl işleminde kullanılan teknik terimler DIN



Sekil 2.2: Karbon Miktarına Bağlı Olanak Çeliklerin Tavlama Sıcaklıkları (Anık, 1977).

1. Difüzyon tavlaması, 2. Normalizasyon tavlaması, 3. Yumuşatma tavlaması, 4. Gerilim giderme tavlaması.
(GS: Ac3 Hattı, PS: Ac1 Hattı)

2. Sertleştirme: Çelikleri mümkün olan en yüksek sertlik derecesine çıkartmak ve aşınma mukavemetini arttırmak amacıyla yapılır.

3. İslah etme: Bu işlem daha çok yapı çeliklerine uygulanır, önce su verme ardından da yüksek sıcaklıkta temperleme işlemini kapsar. İşlemin amacı yüksek süneklik elde etmektir. Çelik, ıslah etme işleminin sonunda normaleştirilmiş hale göre daha yüksek bir akma sınırı ve az miktarda düşürülmüş bir uzama gösterir (Anık, 1977).

2.1. Yüzey Sertleştirme

Sünek yapı çeliklerinden yapılan konstrüksiyon parçalarında sert ve aşınmaya dayanıklı bir yüzey istenir. Örneğin: Yatak muylusu, kavrama tırnağı gibi sürekli başka malzemelerle temas halinde çalışan parçalarda, sünek çelikler düşük karbonlu olduklarından istenen özellikleri sağlamazlar. Bu gibi yerlerde parçada olması istenen özellik, dış kısımlarda yüksek sertlik ve iç kısımlarda sünekliktir.

Malzemede bu özellikleri sağlayabilmek için, çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Malzemeyi istenen hale getirmek için yapılacak işlem malzemenin özelliklerine, çalışacağı ortama, boyutuna ve adedine göre değişir.

Yüzey sertleştirme işlemine tabi tutulan tipik parçalar, krank milleri, kam milleri, dişli çarklar, saplamalar, kavrama parçaları, zincir baklaları gibi çeşitlendirilebilir.

Yüzey sertleştirme işlemleri neticesinde parçalarda birçok özellik değişimleri elde edilebilir. Bu değişiklikler (avantajlar) her tür işlemde farklı farklıdır. Sementasyon ve nitrürasyon işlemleriyle yüzey sertleştirilirken (yüzeyde) malzemenin kimyasal bileşimi değiştirilmektedir.

Yüzey sertleştirme için bir çok yöntem vardır bunlardan bazıları; sementasyon, nitrürasyon, ısı birikimi ile yüzey sertleştirme, OCE usulü, diğer yöntemlerdir.

Bu çalışmada özellikle nitrürasyon işlemi ele alınmış ve gerekli karşılaştırmanın yapılabilmesi için sementasyon işlemine genel olarak değinilmiştir.

2.2. Sementasyon

Yapı parçaları olarak genellikle düşük karbonlu çelikler kullanılır. Bu tür çelikler sünek, fakat sertleştirilemez karakterlidir. Su verme sırasında genellikle hiç sertleşmezler ancak bu çeliklerin akma sınırları çok yüksektir. Bu çelikler karbon miktarı % 0.2'nin altında olan çeliklerdir ve sementasyon çelikleri diye adlandırılırlar. (Bu çelikler DIN 17210'a göre standarda bağlanmıştır). (Anık,1977)

Bu tür çelikler, yüzeylerinin sertleştirilip özelliklerinin iyileştirilmesi ile oldukça büyük bir kullanım alanı bulmuşlardır. Sementasyon işleminde yüzeydeki karbon miktarı % 0.8'e kadar ulaştırılarak yüzey sertleştirilir. Bunun için yüzeye karbon yayındırılır. Bu yüzden

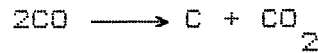
sementasyon işlemi iki kademede yapılır. Karbürizasyon ve esas sertleştirme.

2.2.1. Karbürizasyon

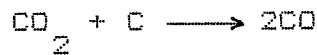
Karbürizasyonda çelik, A_3 sıcaklığının üstünde tamamen ostenit faza geçmesi için ısıtılır. Bu sıcaklıkta ostenit % 1'den fazla karbon çözümlenebilir. Çeliğin ve ortamın karbon miktarına bağlı olarak, karbon atomları yüzey yapısına ve daha içlere doğru girebilirler. Sıcaklık ne kadar yükselirse difüzyon işlemide o kadar çabuk olur. Karbonun yapıya nüfuz etme derinliğini tavlama süresi ve sıcaklık etkiler. Yapıdaki karbon miktarını ise karbürleyici madde etkiler. Karbürizasyon üç değişik şekilde yapılmaktadır. Bunlar toz ortamda, gaz atmosferinde ve tuz banyosunda karbürizasyondur.

2.2.1.1. Toz ortamda karbürizasyon

Parçalar seimentasyon kutuları içine, karbürleyici toz ile konur ve 825° – 925° C'de tavlantılar. Karbürleyici tozun bileşimi, odun kömürü, kok veya kemik kömürü ile alkali bileşiklerin 3–6 mm'lik taneler halinde karışımı şeklindedir. Yüksek sıcaklıkta CO ve CO_2 'den meydana gelen bir gaz karışımı oluşur. Alkali bileşikleri aktivasyon maddeleri olarak tesir ederler, yani karbürizasyon süresini kısaltırlar. Alkali bileşiklerin en etkilileri baryumoksit ve baryumkarbonattır. Malzemenin üzerinde karbonmonoksit;



şeklinde parçalanır. Karbon ostenit tarafından yapıya alınır. CO_2 ise kızgın karbon ile tekrar reaksiyona girer.



Yüzey kısımlarındaki karbon miktarı başlangıçta hızla artar daha sonra yavaşlayarak sıcaklık ve CO ile CO_2 gazlarının oranına bağlı bir değer alır.

Bu yöntem sadece bölgesel olarak karbürlenecek büyük

parçalar için oldukça ekonomiktir. Büyük parçaların karbürleyici toza bulanması ve ısıtılması için gerekli zaman kısadır.

Toz ile karbürizasyonda, parçaların toz ile kaplanması ve temizlenmesi için harcanacak iş gücü fazladır. Karbürizasyon tozu kötü bir ısı iletici olduğundan, sementasyon sıcaklığına ulaşılan kadar daha uzun bir ısıtma süresi gerekmektedir.

2.2.1.2. Tuz banyosunda karbürizasyon

Bu işlemde parçalar bir ön ısıtmaya tabi tutulduktan sonra sudan arındırılmış bir tuz eriyiği içinde asılırlar, sıcaklık 850-990°C civarındadır. Kullanılan tuzlar, NaCN (sodyum siyanür) içeren ve kolay bulunan tuzlardır. Bunun yanında bileşimlerinde ayrışmayı önleyen klorürler ve tuz içerisindeki karbonun parçanın yüzeyine geçişini hızlandıran stronsiyum ve baryum bileşikleri bulunur. Yüksek sıcaklıkta siyanür parçalanarak karbon ve bir miktar azot verir. Azot karbürizasyonu kolaylaştırır. (Anık, 1977)

Tuz eriyikleri ısıyı çabuk ve doğrudan doğruya parçaya verirler. Bu yüzden ısıtma süreleri kısadır. Karbürizasyondan sonra tuz banyosu içinde doğrudan doğruya sertleştirme mümkündür.

2.2.1.3. Gaz atmosferde karbürizasyon

Karbürleyici gaz, fırın dışında oluşturularak, fırına verilir. Bu duruma en uygun gaz propandır (C_3H_8). Gaz karbürizasyonunda; ısı iletimi doğrudan doğruya olduğundan işlem süresi kısadır. Bu nedenle; parçanın büyüklüğü ve karbürleme derinliği gibi nedenler uygulama alanını sınırlandıramaz. Gaz ortamda karbürizasyonun temiz bir yöntem olması sürekli çalışmayı mümkün kılar. Buna karşılık, gazın elde edilmesi, bileşimin sürekli kontrol edilmesi güç ve pahalıdır.

Çoğu zaman yüzeyin tamamının karbürlenmesi istenmez,

böyle durumlarda karbürleşmesi istenmeyen kısımlar macunla veya asbestle örtülebilir.

Karbürizasyondan sonra malzemenin yüzeyi ile merkezi arasında bir farklılaşma meydana gelir. Sementasyon çeliğinin merkez kısmı, sementasyon işleminden sonra değişmez, yaklaşık % 0.2 C'lu olan bu kısmın sertleşme kabiliyeti yoktur. Yüzey kısmı ise yaklaşık % 0.65-0.90 C içerecek şekilde karbürleşmiştir. Bu nedenle karbürleşen kısım sertleşebilir. Parçanın her iki kısmında (yüzey ve merkez kısımları) karbürizasyondan sonra iri taneli bir yapıya sahiptir. Bu yüzden karbürize edilmiş çeliğe su verilmesi halinde sert bir yüzey elde edilir. Aksi takdirde yüzeyde en az merkez kadar yumuşaktır. Karbürize edilen parçaya karbürizasyon sıcaklığında doğrudan su verilirse iri taneli bir iç yapı oluşur ve parça aşırı ısıtılmış olduğu için yüzeyde artık ostenit içeren iri taneli bir martenzitik iç yapı oluşur. (Anık, 1977). Böyle bir yüzey ancak düşük yüklerde kullanılabilir. Daha iyi yüzey özellikleri ve darbeye karşı mukavemet istenirse iç yapının mümkün olan en iyi duruma getirilmesi gerekir. Bunu sağlamak için çeşitli sertleştirme yöntemleri geliştirilmiştir.

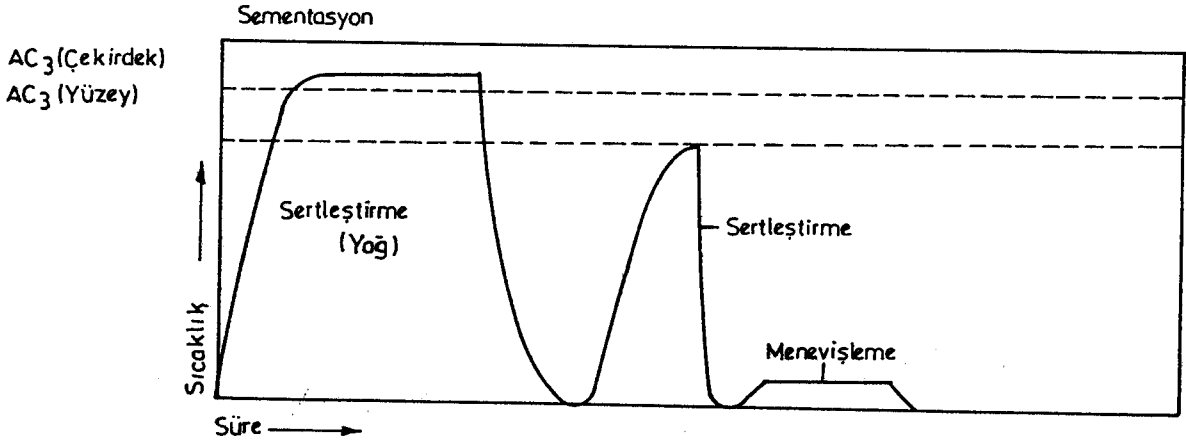
2.2.2. Sertleştirme işlemleri

Karbürizasyon sonunda parça yüzeyine karbon emdirme işlemi tamamlanmış olmaktadır. Bu işlemi takiben yüzeyi sertleştirmek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden en çok kullanılanlar aşağıda açıklanmıştır.

2.2.2.1. Çift sertleştirme

Çift sertleştirme işlemi genel olarak şu sıra ile yapılır; parça yavaş bir şekilde soğutulur (örneğin: sementasyon kutusu içinde), sonra parçanın merkezinde ki sıcaklık A_c 'ün üzerine çıkacak şekilde ısıtılır. Bu aşamada parçaya yağ veya sıcak banyo içinde su verilir (alaşimsız çeliklerde genellikle suda su verilir). Parça A_c sıcaklığının altında yüzeyi $630-650$ °C iken tavllanır ve yavaş bir şekilde

soğutulur. Parça son olarak 200°C'de temperlenir. Çift sertleştirme sırasındaki ısı işlemler şekil 2.3'de verilmiştir.



Şekil 2.3: Çift Sertleştirme İşlemi. (Asil Çelik, 1981)

2.2.2.2. Basit sertleştirme

Basit sertleştirme işleminde parça karbürizasyondan sonra fırında soğutulur, ardından Ac_3 sıcaklığına kadar ısıtılır ve yağ veya sıcak banyoda (alaşimsız çeliklere suda) su verilir. Bu sırada dönüşüm sonucunda iç yapı normalize olur. Su verme sonucu yüzey sertleşirken merkez iyi bir süneklik kazanır. Daha sonra parça Ac_1 sıcaklığına ısıtılır ve tekrar su verilir. Bu sırada iri taneli merkez kısmı olduğu gibi kalır. Çünkü; dönüşüm için gerekli sıcaklık uygulanan sıcaklıktan daha yüksektir. Yüzeyde yüksek aşınma mukavemeti istenen durumlarda bu sertleştirme yöntemi tavsiye edilmez. Sertleştirmeden sonra parça çift sertleştirmede olduğu gibi yaklaşık 200°C'da temperlenir.

2.2.2.3. Direkt sertleştirme

Direkt sertleştirme karbürizasyon sıcaklığında yapılan basit sertleştirme yöntemidir. Bu işlem çok az enerji ve işgücü gerektirdiğinden çok yaygın biçimde kullanılmaktadır.

2.3. Nitrürasyon

Nitrürasyon bir yüzey sertleştirme işlemidir. Bu işlemdenitrürasyona tabi tutulan çeliğin bünyesindeki nitrür yapıcı elementler, azot verici ortamda, azotun difüzyonu ile nitrürler meydana getirirler. Bu nitrürler kendi başlarına serttirler ve ayrıca bir sertleştirme işlemi gerektirmezler. Aslında nitrürasyon birçok çelik cinsine uygulanabilen bir işlemdir. Fakat literatürde nitrürasyon çelikleri adı altında toplanmış çeliklerde çok iyi sonuçlar alınmıştır.

Nitrürasyon işlemiyle elde edilen sertlik derinliği oldukça azdır, genel olarak 0.1-0.9 mm arasında kalır. Bunun sebebi aynı zamanda nitrürasyonu etkileyen parametrelerdir. Genel olarak bu parametreler sıcaklık, işlem süresi, ortamın azot konsantrasyonu ve çeliğin bileşimidir.

Nitrürasyon işlemi 500-570 °C sıcaklıkları arasında yapılan düşük sıcaklıklı bir yüzey sertleştirme işlemidir. Bu yüzden nitrürasyona ferritik-termokimyasal bir işlemdir denilebilir. (Tekin, 1984)

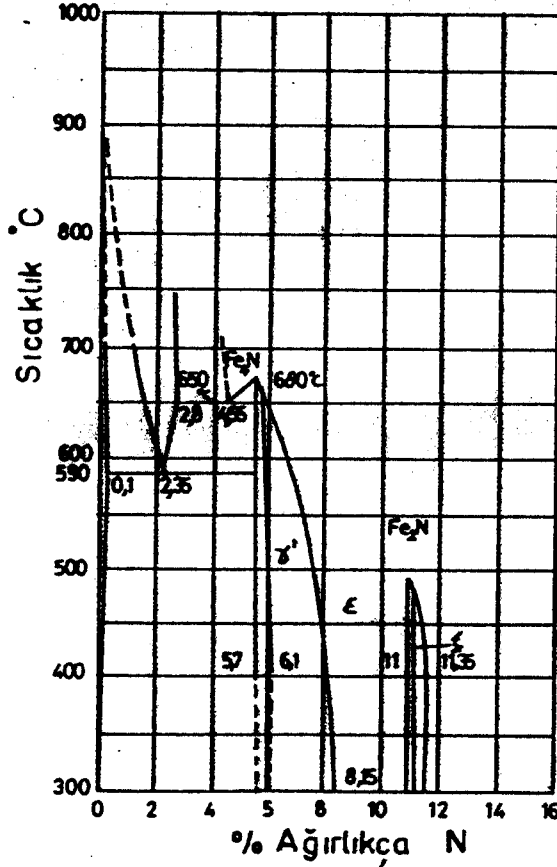
Nitrürasyon işlemi sonunda çeliğin kazandığı özellikler şöyle sıralanabilir.

1. 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. Çeliklerde korozyon direnci.
5. Yüksek boyutsal kararlılık.

Nitrürasyon işlemi sonunda parçada bir miktar hacim artışı görülecektir. Bu artış başlangıçta parçanın boyutlarının hassas kontrolü ile giderilebilir. Bunun yanısıra nitrürasyon sonunda parçada çatlamlar ve distorsiyon yoktur.

Nitrürasyon işlemi ile çalışıldığında Fe-N denge diyagramından yararlanılabilir (Şekil 2.4). Verilen düşük nitrürleme sıcaklıklarında azot demir içinde çözünür. Ancak bu değer % 0.1 gibi küçük bir düzeydedir. Bu orandan daha fazla azot içeriği Fe₄N diye bilinen γ' -nitrürleri oluşturur. Eğer azot % 6'yı aşarsa Fe₂N diye bilinen ϵ -nitrürler oluşur.

Burada azotun parça yüzeyine yayılımı süreye ve parçanın alaşım elementlerinin cinsine bağlıdır. Sıcaklık sabit olduğu halde süre arttıkça parçanın absorbe edebileceği azotta artar.



Şekil 2.4: Fe-N Denge Diyagramı (Tekin, 1984).

Yapıdaki ϵ ve γ' nitrürler "beyaz tabaka" adını alırlar. Beyaz tabaka yüzeyde istenmeyen, kırılğan bir tabakadır. Bu yüzden kalınlığının az olması istenir. Oluşan

beyaz tabaka yaklaşık 50 mikron kalınlığındadır. İstenmeyen bu tabaka nitrürasyon işleminden sonra dökülür. Esas sert tabaka en fazla 0.8-0.9 mm kalınlığa çıkabilmektedir. Nitrürasyon işleminin yüksek karbonlu alaşımsız çeliklere fazla uygulanmayışının en büyük sebebi oluşan beyaz tabakanın daha kalın olmasıdır.

Nitrürasyon çeliklerinin, nitrürlemeden önce gerilim giderme işlemine tabi tutulmaları ve ıslah edilmeleri nitrürasyonda daha iyi sonuçlar vermektedir. (Receboglu, 1969).

3. NİTRÜRASYON

Bölüm 2.3 'de genel tanımı yapılan nitrürasyon işlemi bu bölümde daha detaylı olarak anlatılmıştır.

3.1. Nitrürasyon Çelikleri

Nitrürasyon çelikleri yapısında nitrür yapıcı elementlere sahip olan çeliklerdir. Bu çeliklerde sementasyonda olduğu gibi karbon sınırlaması yoktur. Fakat özellikle içinde alüminyum, krom ve molibden elementleri bulunan çeliklerin nitrürasyonu tavsiye edilmektedir. Alaşimsız düşük karbonlu çeliklerde oluşan nitrürasyon tabakası çok kırıl-
gandır ve çabuk dökülür. Bu yüzden bu tür çeliklerin nitrürasyonu tavsiye edilmez. Literatürde nitrürasyon çelikleri standarda bağlanmıştır. Bu çelik cinsleri tablo 3.1'de verilmiştir.

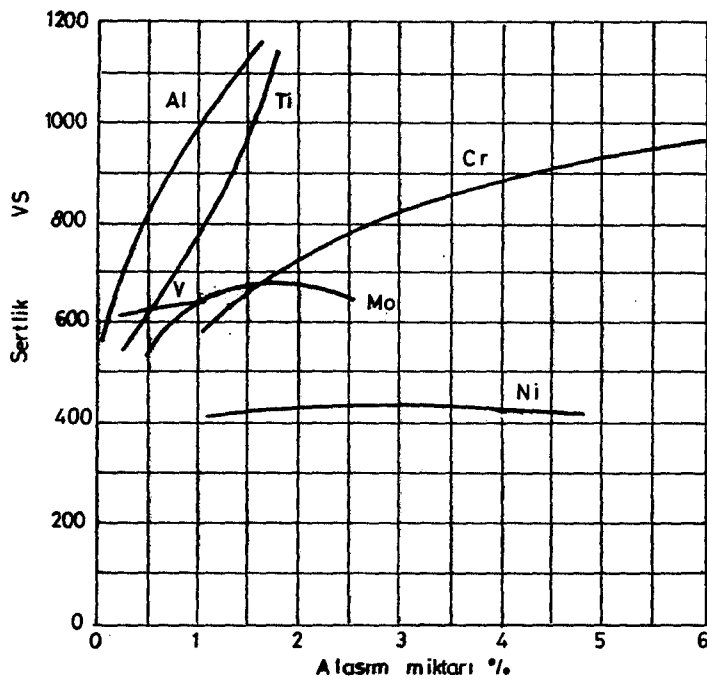
Tablo 3.1: Nitrürasyon Çelikleri. (Stahlshulussel, 1986)

Standard No.	Sembol DIN	Kimyasal Kompozisyon									
		C %	Si %	Mn %	P ≤%	S ≤%	Cr %	Mo %	Ni %	V %	Al %
1.8504	34 CrAl 6	0.30-0.37	0.15-0.35	0.00-0.90	0.035	0.035	1.20-1.50	-	-	-	0.00-1.10
1.8508	34 CrAl 5	0.30-0.37	0.15-0.40	0.00-0.90	0.100	0.07/0.11	1.00-1.30	-	-	-	0.00-1.20
1.8507	34 CrAlNi 5	0.30-0.37	≤ 0.40	0.50-0.90	0.030	0.035	1.00-1.30	0.15-0.25	-	-	0.00-1.20
1.8509	41 CrAlNi 7	0.30-0.45	≤ 0.40	0.50-0.90	0.030	0.035	1.50-1.80	0.25-0.40	-	-	0.00-1.20
1.8515	31 CrNi 12	0.20-0.36	0.15-0.40	0.40-0.70	0.030	0.035	2.00-3.30	0.30-0.50	≤ 0.30	-	-
1.8519	31 CrNi 9	0.20-0.34	≤ 0.40	0.40-0.70	0.030	0.035	2.30-2.70	0.15-0.25	-	0.10-0.20	-
1.8523	38 CrNi 13 9	0.35-0.42	0.15-0.40	0.40-0.70	0.030	0.035	3.00-3.50	0.00-1.10	-	0.15-0.25	-
1.8550	34 CrAlNi 7	0.30-0.37	≤ 0.40	0.40-0.70	0.030	0.035	1.50-1.80	0.15-0.25	0.05-1.15	-	0.00-1.20

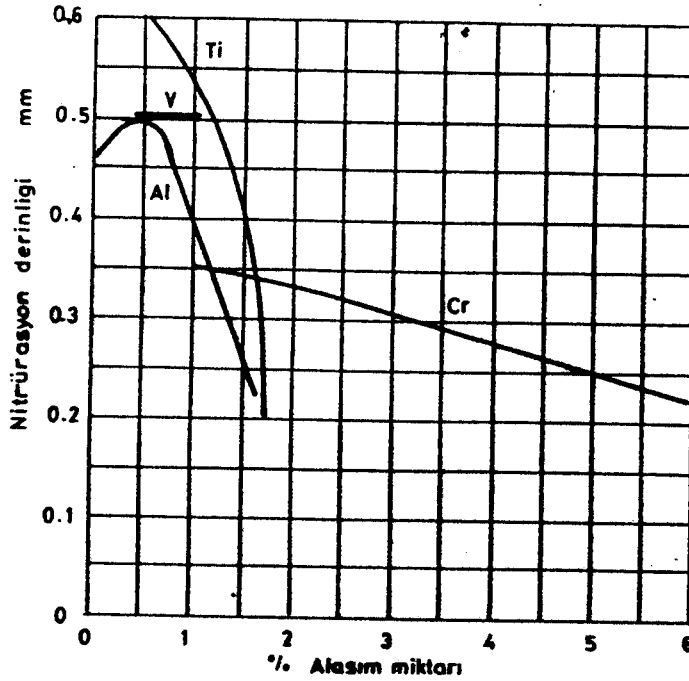
Nitrürasyon çeliklerinin özelliği nitrürlenebilmeleri yani azotu absorbe etme kabiliyetine sahip olmalarıdır. Özellikle yüksek yüzey sertliği istenirse çeliğin yapısında Al, Cr ve Mo elementlerinin olması istenir. Şekil 3.1'de bu elementlerin, diğer elementlerle birlikte nitrürasyon sonrası yüzey sertliğine nasıl etki ettikleri gösterilmiştir.

Alaşım elementleri içinde Al en büyük etkiye sahiptir, ardından Cr, Mo ve V'lu çelikler gelir. Ni alaşımlı çeliklerde ise elde edilen sertlik adi karbonlu çeliklerle hemen hemen aynı düzeydedir.

Nitrürasyon derinliği Şekil 3.2'den görüldüğü gibi alaşım elementi miktarı arttığıa azalır. Çeşitli alaşım elementlerini içeren çeliklerde, alaşım elementlerinin ayrı olarak kullanılmaları halinde yüksek sertlik değerleri elde edilir. Al ve Ti nitrürasyon çeliklerinde en yüksek sertliği sağlayan alaşım elementleridir. Fakat azotun difüzyonu açısından incelendiğinde bu elementler, difüzyonu en çok geciktiren elementlerdir. Bu elementlerin miktarı artarsa azotun difüzyonu zorlaşır.



Şekil 3.1: Alaşım Elementlerini % 0.35 C, % 0.30 Si, % 0.70 Mn eliginin Nitrürasyonu Sonrası Sertliğe Etkisi. (Tekin, 1984).



Sekil 3.2: Alaşım Elementlerinin 400 VS Değerinde Ölçülen Nitrürasyon Derinliğine Etkisi. İşlem Şartları 520 C, 3 saat. (Tekin, 1984).

Alaşım elementlerinin, azot difüzyonunu zorlaştırmalarının nedeni azotla beraber nitrür yapmalarıdır. Karbonunda azotun difüzyonunu engelleyici etkisi vardır. Bu yüzden yapıdaki karbon oranı fazlaysa nitrürasyon süreside fazla olacaktır (Tekin, 1984).

Celiğin mikroyapısında nitrürasyona etkisi vardır. Eger iç yapı yüksek oranda serbest ferrit, düşük oranda karbür içeriyorsa, bu tür iç yapı hem azot difüzyonu hemde yüzeyin sertleşmesi açısından oldukça iyidir (Tekin, 1984).

3.2. Nitrürasyon Tipleri

İlk uygulamaları 1920'li yıllarda yapılmış olan nitrürasyon o günden günümüze, birçok aşama geçirmiş ve sonuçta üç ana grup altında toplanmıştır. Bu gruplarda kendi içlerinde meydana gelen gelişmeler sonucu alt gruplara ayrılmıştır.

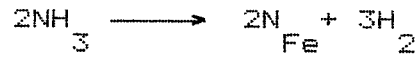
1. Gaz ortamda nitrürasyon,
 - a. Amonyak ile,

- b. Amonyak, azot ve hidrojenle,
 - c. Amonyak ve hidrokarbonla,
 - d. iyon nitrürasyonu.
2. Tuz banyosunda nitrürasyon,
 - a. Basıncı altında sıvı nitrürasyon,
 - b. Hava akımlı sıvı nitrürasyon,
 - c. Basıncısız siyanüresüz nitrürasyon.
 3. Katı ortamda (toz ile) nitrürasyon.

3.3. Gaz Ortamda Nitrürasyon

Amonyakla gaz nitrürasyonu: Gaz ortamda nitrürasyon yaklaşık 510 °C sıcaklıkta amonyağın gaz halinde çözünmesi ve açığa çıkan azotun çeliğin bünyesine yayılması olayıdır. Bu işlem için % 70 amonyak ve % 30 N_2 ve H_2 gazları içeren ortam idealdir.

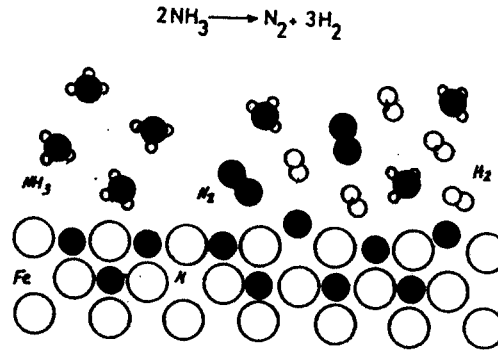
Amonyak:



reaksiyonuna göre ayrışır. Reaksiyon sonucu atomik olarak ayrılan azot çelik tarafından emilir.

Gaz nitrürasyonu sonucunda 0.2-0.7 mm'ye kadar ulaşan sertlik derinlikleri elde edilir. Gaz ortamda nitrürasyon yaklaşık 12-120 saat sürer. İşlem süresince sıcaklığın sabit tutulması istenir. Bu hassas kontrol için gaz nitrürasyonun elektrik ısıtmalı fırınlarda yapılması tavsiye edilir. Gaz nitrürasyonu sırasında amonyağın ayrışması ve azotun çelik bünyesine alınması şekil 3.3'de şematize edilmiştir.

Nitrürasyon için kullanılan potalar gazla reaksiyona girmeyecek malzemelerden yapılmalıdır. Nikel, inkonel ve benzer alaşımlar pota için idealdir. Ayrıca Cr ve Ni içeren ve ısıya dayanıklı olan çelikler kullanılmaktadır. Kısa süreli çalışmalar için sac potalarda kullanılabilir, fakat



Sekil 3.3: Gaz Nitrürasyonda, Çözünen Amonyakın Çelik Bünyesine Yayınmasının Şematik gösterilişi. (Tekin, 1984).

bu potaların ilk kullanımında potadaki demirinde bir miktar azot tüketeceği unutulmamalıdır. Bu nedenle sac potaların ilk kullanımda işlemin kontrolü çok zordur.

Amonyakın, gaz nitrürasyonda kullanımından önce içindeki nemin giderilmesi gerekmektedir. Aksi takdirde bu nem nitrürlenmiş parçaların oksidasyonuna neden olur (Tekin, 1984).

Amonyak ve azot ile gaz nitrürasyonu: Amonyakla gaz nitrürasyonunun bir başka çeşidinde % 20 amonyak ve % 80 azot gazı içeren bir karışım kullanılmaktadır. Bu yöntem hemen hemen hiç yaygın değildir, fakat bu oranda bir gazın, düşük amonyak miktarından dolayı daha tok bir yüzey vereceği bilinmelidir (Tekin, 1984).

Amonyak ve hidrokarbonla gaz nitrürasyonu: Bu işlem amonyakla birlikte propan veya endo gaz gibi hidrokarbonlarında ortama ilavesi ile yapılır. Bu nitrürasyonda sıcaklık normalden bir miktar yüksektir (570°C). İşlem sırasında C ve N aynı anda çeligin yüzeyine yayınırlar. Bu tip gaz nitrürasyonunda yüzeyde yüksek karbon yayınması genel olarak aşınmaya karşı direnci arttırır ve yüzey tabakasının kolayca kırıl-

lıp dökülmesini önler (Tekin, 1984).

iyon nitrürasyonu: Bu işlemde nitrürasyon seyreltik amonyak gazı veya hidrojen ve azot gazı içinde uygulanır. Hidrokarbonlar normal gaz nitrürasyonundaki gibi ilave edilir ve beyaz tabaka ϵ -karbonitrürlerden oluşur. Nitrürasyon işlemi aynı zamanda yüzey tabakasının dekarbürizasyonu ile kontrol edilir.

1930'lu yıllarda bulunan iyon nitrürasyonu pahalı bir yatırım ve uygulanmasında ek bilgiler gerektirdiği için uzun yıllar kullanılmamıştır.

Bu işlemin yapılmasında, nitrürasyona tabi tutulacak parçalar katot olarak elektrik güç kaynağına bağlanır. Çeliğin yüzeyinde meydana gelen iyonizasyon sonucu atomik halde ayrılan azot normal yolla çeliğin yüzeyine yayılır.

iyon nitrürasyonunda süre henüz az iken yayınmış olan azot miktarı, gaz ortama göre fazladır, fakat zaman arttıkça gaz nitrürasyonla iyon nitrürasyonu arasında ulaşılan sertlik derinliği ve sertlik açısından bir fark bulmak zordur. Örneğin: İlk 1.5 saat içinde iyon nitrürasyonunda çok daha fazla azot yayınmıştır, fakat 40. saate ulaşıldığında, gaz nitrürasyonla iyon nitrürasyonunun verdiği sonuçlar aynıdır (Tekin, 1984).

3.4. Tuz Banyosunda Nitrürasyon

Tuz banyosunda nitrürasyon, gaz nitrürasyondaki gibi 510 ile 570°C sıcaklıklar arasında yapılır. Oldukça düşük sıcaklıkta yapılan bu ısıtım işlemin banyosu siyanat ve siyanürlerin her ikisinin de içerir. Fakat tuz banyosunda nitrürasyon, aynı tür banyo ile yapılan siyanatlama işlemi ile karıştırılmamalıdır. Siyanatlama ile tuz banyosunda nitrürasyonun en önemli farkı işlem sıcaklıklarıdır (Metals Handbook, 1985). Tuz banyosunda nitrürasyon A₁ sıcaklığının altında yapılan bir ısıtım işlemidir, dolayısıyla son şekli

verilmiş parçaların nitrürasyonu mümkündür. Ama bu son şekil nitrürasyondan meydana gelecek küçük hacim artışını karşılamalıdır.

Tuz banyosunda nitrürasyon öncelikle yüzey mukavemetini artırmak amacıyla yapılır. Bu ısıl işlem literatürde nitrürasyon çelikleri adı altında verilen çelikler dışında, korozyona dayanıklı birçok çeliklere, düşük alaşımlı takım çeliklerinin büyük kısmına uygulanabilir. (Metals Handbook, 1985). Tuz banyosunda nitrürasyonda diğer nitrürasyon tipleri gibi sertlik derinliği çok olan veya çekirdek sertleşmesi istenen durumlarda uygun değildir. Yalnız yapılan tecrübeler, gaz nitrürasyon ile daha büyük sertlik derinliklerinin elde edildiğini göstermiştir. Bunun temelinde tek sebebi işlem süresidir. Gaz nitrürasyonda yüksek tutulabilen işlem süresi nedeniyle derinlikte fazladır, tuz banyosunda nitrürasyon işleminde ise belli sürelerin aşılması malzeme yüzeyinde aşınmalara sebep olduğundan derinlik daha azdır. Sonuçta heriki nitrürasyon tipide yaklaşık olarak aynı avantajlara sahiptir. Yüzey sertliğini artırmak aşınma direncini artırır. Ayrıca nitrürasyonda diğer ısıl işlemlere göre çok daha az distorsiyon olur. (Metals Handbook, 1985).

3.5. Sıvı Nitrürasyon Sistemleri:

Sıvı nitrürasyon terimi birçok erimiş tuz banyolu nitrürasyon tipini içine alan genel bir terimdir. Tüm nitrürasyon işlemleri A_1 sıcaklığı altında yapılır. Bu sıcaklıklarda yapılan işlem esasen bir kimyasal yayılım olayıdır. Tuz banyosunda nitrürasyon açığa çıkan azotun yayılımı dışında az miktarda karbonunda çelik yüzeyi tarafından emilmesi işlemidir.

Tüm nitrürasyon banyoları sodyum ve potasyum tuzlarının karışımını içerir. Tipik bir banyoda ağırlıkça % 60-70 sodyum, % 30-40 potasyum tuzları bulunur. Takım çeliklerinin nitrürasyonu için şu kompozisyon kullanılmaktadır; (Metals Handbook, 1985).

NaCN	% 30 max.
Na ₂ CO ₃ veya K ₂ CO ₃	% 25 max.
Karışımı oluşturan diğer aktifler ...	% 4 max.
Nem	% 2 max.
KCl	Kalan

Eğer banyo yaşlanırsa, içindeki siyanür miktarı azalır ve siyanat ile karbonat miktarı artar. Bu yüzden ardarda kullanımlarda veya uzun süre kullanıma ara verildiği zaman, tekrar çalışmadan önce banyonun aktivitesini artırmak için ilaveler yapılmalıdır. Tuz banyoları ticari olarak bazı kodlar ile pazarlanırlar. Bunlara örnek olarak DEGUSSA'nın patentine sahip olduğu nitrürasyon tuz banyoları verilebilir. Bunlardan yatak tuzları toz halinde, aktiviteyi artırıcı tuzlar ise hap şeklinde pazarlanmaktadır. Banyonun kimyasal aktivitesini artırarak veya azaltarak değişik çelik cinsleri için uygun banyolar bulunabilir.

Sıvı nitrürasyon yukarıda anlatılan temel ilkelere sadık kalmak koşuluyla, günümüzde üç değişik türde yapılmaktadır. Bunlar basınç altında sıvı nitrürasyon, hava akımlı sıvı nitrürasyon ve basınsız siyanürsüz nitrürasyondur.

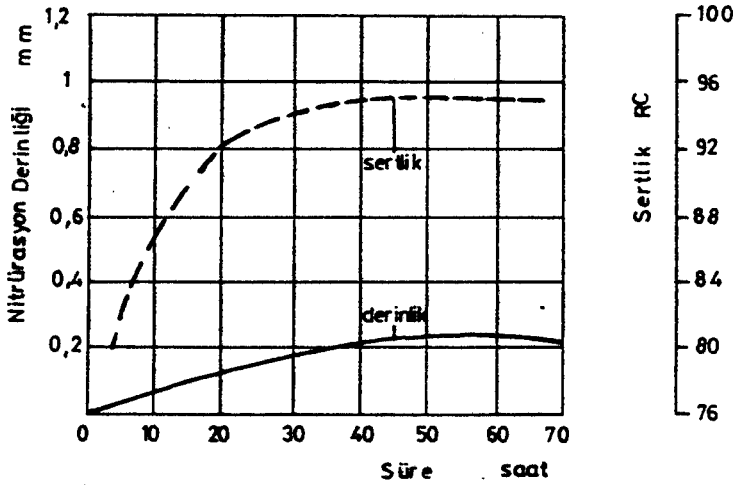
3.5.1. Basınç altında sıvı nitrürasyon

Bu işlemden parçalar siyanür, siyanat ve nemi giderilmiş amonyak içeren karışım içinde 525°- 565°C sıcaklıklar arasında ve 7 ile 205 kPa basınç altında nitrürasyona tabi tutulurlar. Amonyak potanın altına yayıldığı için akış düşeydir. Banyoda oluşması istenen azot yüzdesi amonyak akış oranının kontroluyla sağlanır (Amonyak akışı 0.5-1 m³/saat olmalıdır) (Metals Handbook, 1985). Bu yüzden amonyak hacimce % 15-30 arasında olmalıdır. Bu banyoda siyanür % 30-35 ve siyanat % 15-20 oranlarında olmalıdır. Banyonun verimli olması için bu oranların sabit tutulması çok önemlidir. Bunu sağlamak için banyoya belli aralıklarla yapılan kontrollarda amonyak eklenmelidir.

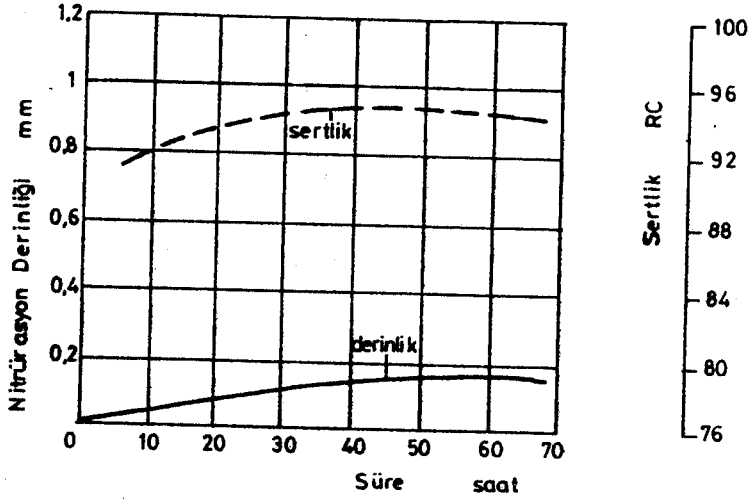
Basınç altında nitrürasyon özel potalı fırınlarda yapı-

lır. Sızdırmazlığın çok iyi sağlandığı bu tip fırınlarda nitrürasyon işlemi sırasında kapağın açılması veya başka bir sebeple kaptaki basıncın düşmesi nitrürasyon işlemi kısmen durdurabilir. Fakat basınç tekrar arttırılırsa işlem düzelmiş olarak devam eder.

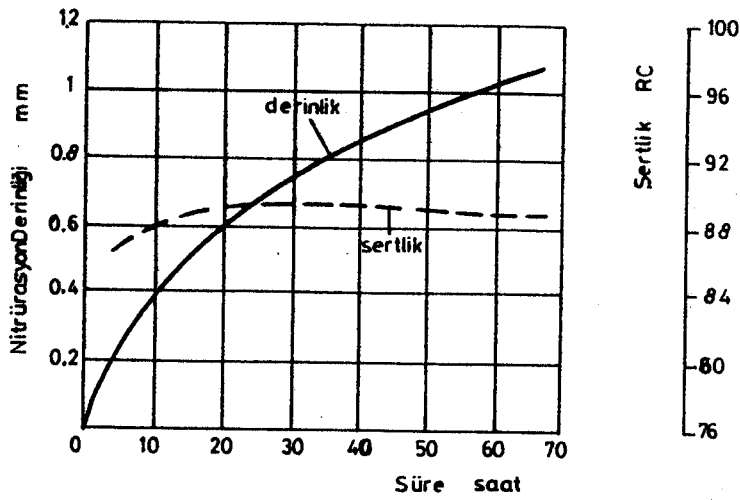
Bu tür banyo için işlem süresi yaklaşık 4 ile 72 saat arasında değişir. Ortalama bir çevrim 24 saattir. İyi bir nitrürasyon işlemi için parçalar potadan alınmadan önce sıcaklık, işlem sıcaklığının 20-30°C kadar üstüne çıkarılmalıdır. Şekil 3.4, 3.5 ve 3.6'da bu tür tuz banyolu nitrürasyon için bazı eğriler verilmiştir.



Sekil 3.4: 410 Paslanmaz Çelik için Basınç Altında Nitrürasyon. (Metals Handbook, 1985)



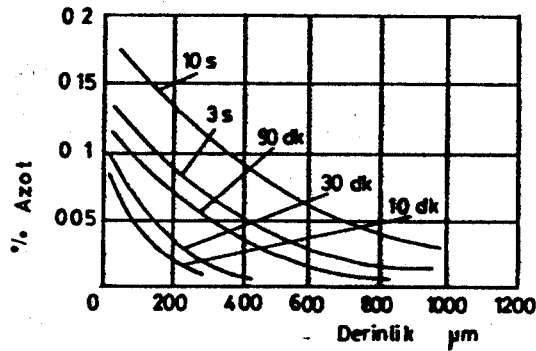
Şekil 3.5: AISI D2 Çeligi İçin Basıncı Altında Nitrürasyon. (Metals Handbook, 1985).



Şekil 3.6: SAE 4140 Çeligi İçin Basıncı Altında Nitrürasyon. (Metals Handbook, 1985).

3.5.2. Hava akımlı nitrürasyon banyosu

Hava akımlı nitrürasyon banyosu, erimiş tuz banyosundan kontrollü olarak hava geçirmek suretiyle yapılan özel bir işlemdir. Hava akımı verilmeye başlanınca kimyasal aktivite artar. Banyodaki siyanür miktarı % 50-60, siyanat miktarı % 32-38 civarındadır. Potasyum tuzu ile yapılmış banyolarda ise % 10-30 arasında potasyum tuzları vardır. Bu tür bir banyo ile az alaşımlı çeliklerde 1.5 saatlik bir işlemle 0.3 mm sertlik derinliği elde edilebilmektedir. Yüzeyde 0.005 ile 0.01 mm arası Fe_3N veya Fe_3C tabakası oluşur, bu tabaka Fe_3N tabakasından farklıdır. Bu yeni tabakanın oluşum nedeni hava akımıyla banyo aktivitesinin sürekli yüksek tutulabilmesinden kaynaklanır. Dıştaki bu tabakanın altında Fe_2N tabakası vardır. 1015 çeliginin hava akımlı nitrürasyon banyosunda 565°C sıcaklıkta nitrürasyonu sonucu elde edilen değerler şekil 3.7'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7: 1015 Çeliginde Azot Yüzdesini Sürenin ve Nitrürasyonun Fonksiyonu Olarak Veren Diyagram. (Metals Handbook, 1985).

Hava akımlı nitrürasyonda eğer daha fazla nitrürasyon derinliği istenirse, banyodaki siyanür miktarı % 45-50, siyanat miktarı % 42-50 arasında tutulur. Banyodaki oranlar sodyum veya potasyum tuzlarıyla tamamlanır.

3.5.3. Basıncısız siyanürsüz nitrürasyon

Bu işlem siyanür bulunmayan sodyum karbonat, potasyum karbonat ve potasyum siyanat veya sodyum klorid-potasyum klorid karışımı ile hazırlanan tuz banyosu içinde yapılır, hava akımı banyo içinden kontrollü olarak geçirilir. Nitrürasyon karışımı ile uzun süre çalışılmak istenirse karışımın aktivitesini yükseltmek için az miktarda siyanür ilave edilebilir. Fakat siyanürün bu karışıma katılması beraberinde distorsiyon problemi yaratır (Metals Handbook, 1985). Bunu önlemek için tuzdaki aktivitenin ayarlanmasında sülfür miktarıyla da oynanabilir.

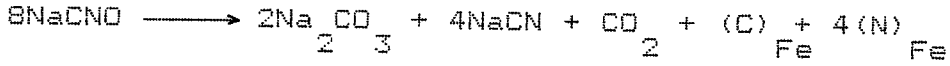
Siyanürsüz nitrürasyon sıvı nitrürasyonun gelişmesi sonucu ortaya çıkmış etkili bir yöntemdir. Difüzyon eğrisinden elde edilen nitrürasyon derinliği bu işlemde de diğerlerine benzerdir. Çünkü yüksek siyanat miktarı ve siyanürün olmayışı nitrürlenmiş malzeme yüzeyinde karbonun azalması ve azotun artması sonucuna neden olur.

Sıvı ortamdaki nitrürasyonda, son gelişmelerden biri de titanyum pota kullanımınıdır. Böylece demir pota ile temas sonucu oluşan tuz ayrışması önlenmiştir. DEGUSSA tarafından geliştirilen bu yöntem "Tuffride Prosesi" denilmektedir (Tekin, 1984).

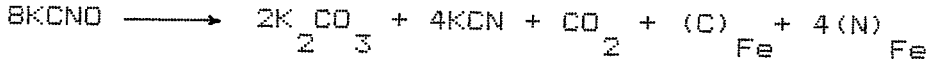
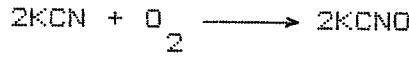
Tuz banyosunda nitrürasyonun bir diğer çeşidi "Sulfinuz" işlemidir. Bu işlemde banyoda NaCN, NaCNO'dan başka aktif olarak Na_2S (sodyum sülfür) bulunmaktadır. Bu işlem sırasında kükürdün bulunması nitrürlenmiş yüzeyin sürtünmeye karşı özelliklerini iyileştirir. Sulfinuz işlemi yaklaşık 570 °C'da 2 saat sürer.

Tuffride veya sulfinuz işlemi sonrası en iyi yüzey, çelik parçaların ılık suda soğutulmaları ile sağlanır. Bu şekilde hızlı bir soğuma α -demirini azotça aşırı doymuş bir katı eriyik haline getirir. Bütün bunlardan başka sıvı banyolardaki nitrürasyon mekanizmalarını bilmek gerekir (Metals Handbook, 1985).

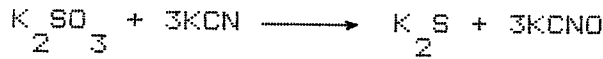
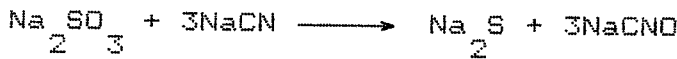
Sodyüm siyanürlü banyoda:



Potasyum siyanürlü banyoda:



Sulfinuz işleminde:



reaksiyonları oluşmaktadır.

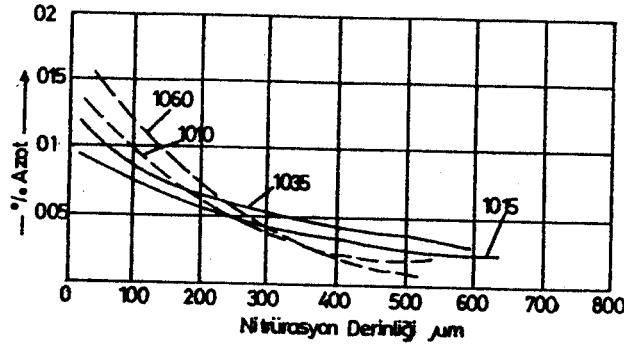
3.6. Sıvı Nitrürasyonda Yüzey Sertliğini Etkileyen Parametreler

Sıvı nitrürasyon sırasında işlemin oluşunu etkileyen birçok parametre vardır. Bu parametreler önem sırasına göre ele alınmıştır.

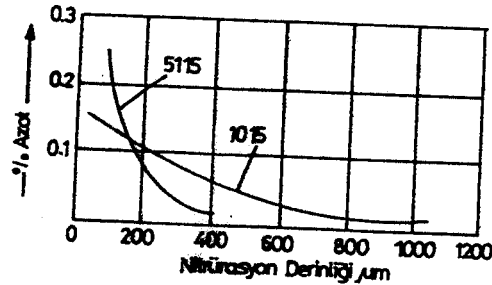
3.6.1. Çelik kompozisyonunun etkisi:

İslah edilmiş alaşımlı çeliklerin nitrürasyonu başarılı sonuçlar vermektedir, çünkü; bu tür çelikler nitrür yapıcı alaşım elementlerine sahiptirler. Bunun yanında düşük veya orta karbon içeren adi karbonlu çelikler ile yapılan nitrürasyon denemelerinde başarılı sonuçlar vermektedir. Örneğin: 1015 çeliğinden yapılmış test çubuğu 565 °C'da 90 dakika nitrürlendiğinde yorulma mukavemetinde % 100'lük bir artış olduğu tespit edilmiştir (Tekin, 1984). Aynı işlem 1060 çeliğine uygulandığında bu artış % 45-50 civarında kalmıştır. Bu iki tecrübeden çıkarılan sonuç karbon çeliklerindeki azot difüzyonunun direkt olarak yapıdaki karbon yüzdesi ile ilgili olduğudur. Şekil 3.8'de çeşitli adi karbonlu çelikler için yapılan deneyler şematize edilmiştir. Şekil 3.8'de görüldüğü gibi karbon miktarının artması nitrojen difüzyonunu azaltmaktadır.

Sekil 3.9'da ise krom alaşımlı çelik ile adi karbonlu çelik (1015 çeligi) karşılaştırılmıştır. Düşük derinliklerde, krom alaşımlı çelike, büyük derinliklerde ise karbonlu çelike daha çok azot yayındığı görülmektedir.



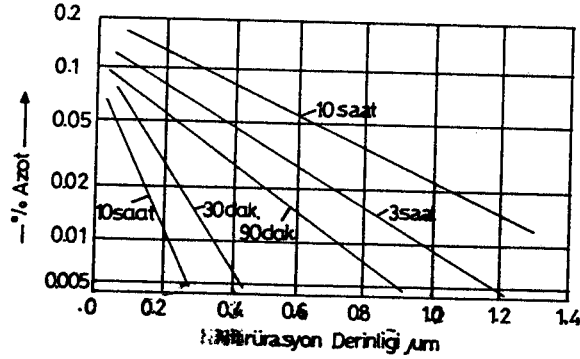
Sekil 3.8: Hava Akımlı Nitrürasyon Banyosunda Karbon Miktarının Azot Difüzyonuna Etkisi. (Metals Handbook, 1985).



Sekil 3.9: Hava Akımlı Nitrürasyon Banyosunda Krom Alaşımlı Çelikle Adi Karbonlu Çeligin Azot Difüzyonu Açısından Karşılaştırılması. (Tekin, 1984).

3.6.2. Nitrürasyon derinliği ve sürenin etkisi:

Sekil 3.11'de 525 °C ve ortalama 70 saat civarında konvensiyonel banyo içinde çeşitli çeliklere uygulanmış sıvı nitrürasyon değerleri gösterilmiştir. Bu çeliklerin üçü



Sekil 3.10: Hava Akımlı Nitrürasyon Banyosunda 1015 Çeliginde azot difüzyonunun süreye göre değişimi. (Metals Handbook, 1985).

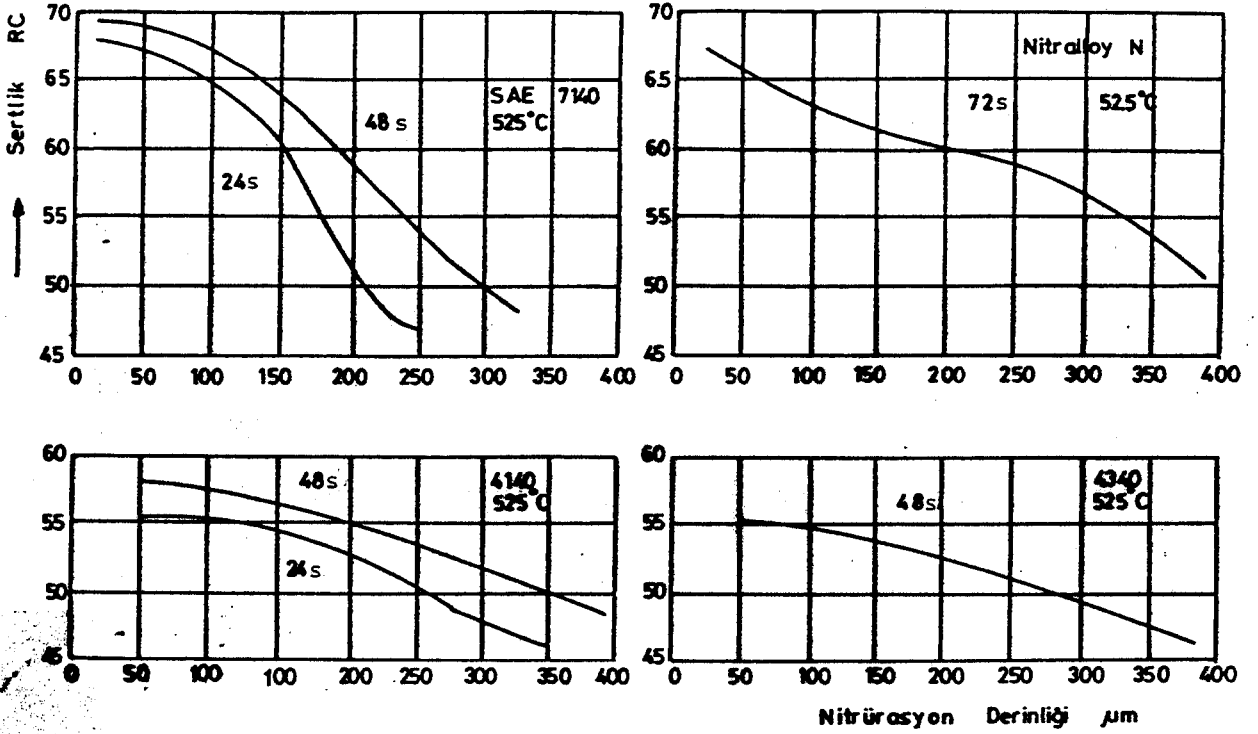
krom içeren düşük alaşımlı çeliklerdir (4140, 4340 ve 6150). İkisi alüminyum içeren nitrürasyon çeligidir (SAE 7140 ve AMS 6475). Diğer dördü takım çeligidir (H11, H12, M50 ve D2). Nitrürasyon banyosundaki etkin siyanür miktarı ağırlıkça % 30-35 ve siyanat miktarı % 15-20 civarındadır. Ulaşılan nitrürasyon derinliği metalurjik olarak % 3 nital ile ölçülmüştür. (Metals Handbook, 1985).

Sekil 3.12'de takım çeliklerine ve düşük alaşımlı nitrürasyon çeliklerine uygulanmış basınçlı sıvı nitrürasyon sonucu elde edilen değerler gösterilmiştir.

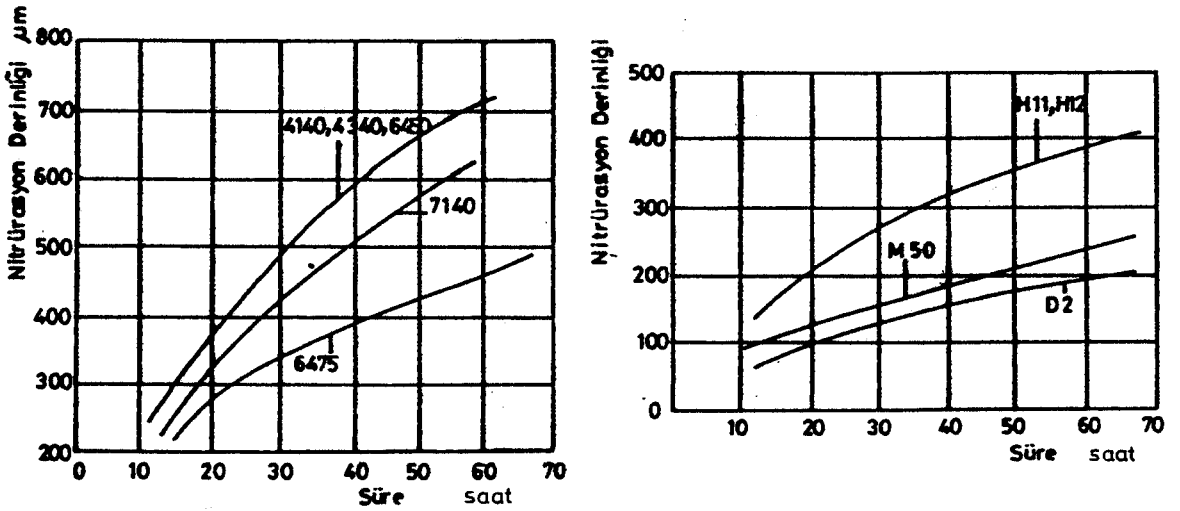
3.7. Katı Ortamda Nitrürasyon

Katı ortamda nitrürasyonda parçalar, toz ile karbürizasyonda olduğu gibi kutular içine yerleştirilir. Kutunun altına yaklaşık olarak ağırlıkça % 15 oranında nitrürasyonu hızlandırıcı maddelerden yerleştirilir. Bu maddelerin üzerine nitrürasyon tozları ve parçalar bu parçaların üzerleri nitrürasyon tozları ile örtülür. Parçaların nitrürasyonu hızlandırıcı tozlarla temas etmemesi sağlanmalıdır. Kutular çok iyi kapatıldıktan sonra sıcaklık 520-570 °C'a çıkarılır. Toz ile nitrürasyonda sürenin 12 saati geçmemesi tavsiye edilir. Daha uzun sürelerde parçaların yüzeyinde

oyuklaşmalar ve pullanmalar görülebilir.



Sekil 3.11: Hava Akımlı Nitrürasyon Banyosunda Sertliğin Süreye Bağlı Olarak Değişimi. (Metals Handbook, 1985).



Sekil 3.12: Basınç Altında Nitrürasyonda Süreye Bağlı Olarak Ulaşılan Sertlik Değerleri. (Metals Handbook, 1985).

3.8. Gaz ve Tuz Banyosunda Yapılan Nitrürasyonun Karşılaştırılması

Gaz nitrürasyon 12-120 saatlik sürelerde yapılır, tuz banyosunda ise nitrürasyon süresi 1-4 saat arasında değişir. Gaz nitrürasyonunda çeligin δ' -nitrür gibi gevrek partiküller oluşturması çelik yüzeyini de gevrek yapar. Tuz banyosunda ise bu durum söz konusu değildir.

Gaz nitrürasyonunda çalışma sahasının ve nitrürlenmiş parçaların kirlenmesi söz konusu değildir. Tuz banyosunda ise etraf da parça da tuz ile kaplanır. Bu yüzden nitrürlenmiş parçaların işlemden sonra muhakkak yıkanması gerekir. Ayrıca siyanür tuzu zehirlidir. Çalışanlar için özel tedbir alınması gereklidir. (Gaz maskesi ve eldiven kullanmak v.b.).

Gaz nitrürasyonunda ulaşılan nitrürasyon derinliği çoğu zaman tuz banyosundaki nitrürasyona göre daha fazladır. Genel olarak tuz banyosunda nitrürasyonda ulaşılan aşınma direnci daha yüksektir. Gaz nitrürasyonu sırasında ortama hidrokarbon ilavesi ile aynı direnç elde edilebilir. (Metals Handbook, 1985).

3.9. Sementasyonla Nitrürasyonun Karşılaştırılması

1. Sementasyonda sertlik dönüşüm sertleşmesine, nitrürasyonda ise çökeltme sertleşmesine bağlıdır.
2. Sementasyon 800-850 °C sıcaklıklarda yapıldığından ostenit alandadır. Nitrürasyon 510-570 °C sıcaklıkları arasında yani A₁ sıcaklığı altındadır.
3. Boyut değişikliği ve çatlama sementasyonda fazladır.
4. Nitrürlenmiş yüzey daha iyi yorulma direnci gösterir.
5. Nitrürlenmiş parçalar sertliklerini kaybetmeden daha yüksek sıcaklıklara çıkabilirler.
6. Nitrürlenmiş yüzey daha ince ama daha serttir.
7. Sementasyonda yüzeyin sertlik kazanması için karbürizasyondan sonra bir yüzey sertleştirme işlemi yapılması zorunludur. Nitrürasyonda ise işlemden sonra parçalar sertleşmiş durumdadır ve ayrı bir yüzey sertleştirme işlemi gerektirmez.

3.10. Nitrürasyonun Kinetiği

Nitrürasyonun kinetiğini çalışırken temelde yine fick kanunları kullanılır. Fakat bu kanunlar çeşitli literatürlerde nitrürasyon için uyarlanmıştır (BULGACH, 1984).

$$x = \frac{C_o - C_t}{C_o - C_e} \dots \dots \dots (1)$$

C_o : Alaşım elementlerinin başlangıçtaki konsantrasyonu.

C_t : Belli bir t süresinden sonra katı eriyikteki alaşım elementi konsantrasyonu.

C_e : Yüzeydeki alaşım elementi konsantrasyonu.

Nitrürasyon için şu model verilmiştir: (BULGACH, 1984)

$$\frac{dx}{dt} = (K.N_v^{2/3} . D_M) . x^{1/3} . (1-x) \dots \dots \dots (2)$$

D_M : Difüzyon katsayısı.

N_v : Hacimsel nitrür miktarı.

K : Katsayı (bu katsayı aşağıdaki gibi hesaplanır)

$$K = [48 \pi^2 . \frac{C_o - C_e}{C_\beta}]^{1/3} \dots \dots \dots (3)$$

C_β : Nitrür içindeki alaşım elementi konsantrasyonu.

(2) numaralı diferansiyel denklemin çözümünden ve (1) numaralı denklemin bu çözümde yerine konmasından C_t değeri bulunabilir.

Belli bir t süresi sonunda oluşan nitrür yarıçapı:

$$r_t = [\frac{3(C_o - C_t)}{4 \pi N_v C_\beta}]^{1/3} \dots \dots \dots (4)$$

Yüzeydeki alaşım elementi konsantrasyonu elementin % ağırlığına bağlı olarak yazılabilir.

$$C_i = \frac{A \cdot \rho_{Fe}}{\mu_M} \cdot \frac{[M]}{100} \dots \dots \dots (5)$$

$$C_\beta = \frac{m \cdot A \cdot \rho_\beta}{\mu_\beta} \dots \dots \dots (6)$$

A : Avogadro sayısı.

μ_M , μ_β : Alaşım elementlerinin moleküler ağırlıkları.

ρ_{Fe} , ρ_β : Alaşım elementlerinin ve demirin yoğunlukları.

Belli bir t süresi sonunda yüzeyden y mesafede azot konsantrasyonu şöyle bulunur:

$$[N] = [N]_0 \operatorname{erfc} \left(\frac{y}{2 \sqrt{D_N t}} \right) \dots \dots \dots (7)$$

$$[N]_0 = \exp \left(- \frac{4575}{T} + 3 - \sum \ln \gamma_{Mi}^N \right) \dots \dots \dots (8)$$

T : Sıcaklık.

γ_{Mi}^N : Azot aktivite katsayısı.

$[N]_0$: Yüzeydeki azot konsantrasyonu.

y : Yüzeyden itibaren difüzyon derinliği.

t : Süre.

D_N : Azotun difüzyon katsayısı.

Malzemedeki alaşım elementlerinin difüzyon katsayısına etkisi vardır. Bunlar her bir alaşım elementi için belli bir katsayı ile tanımlanmıştır. (γ_{Mi}^N). Toplam difüzyon katsayısı:

$$D_N^a = \prod \left(\gamma_{Mi}^N \right)^{D_M} \dots \dots \dots (9)$$

$$N_V = \frac{C_0}{\pi} \cdot A \cdot 10^{B/T} \dots \dots \dots (10)$$

A^1 ve B : Malzeme ve sıcaklığa bağlı sabit değerler.

Bir örnek verilecek olursa, % 3 Mo içeren α -Demiri için 500 °C'da $A=8.7 \times 10^8$, $B=7000$.

$$r_t^3 - r_p^3 = \frac{B D_M \sigma V_M^2 C_\alpha}{9 R T} \cdot t \quad \dots \dots \dots (11)$$

$$C_\alpha = C_e$$

R : Gaz sabiti

V_M : Molar hacim

σ : Yüzey enerjisi

D_M : Alaşım elementi difüzyon katsayısı

r_p : Belli bir süre sonra oluşan tabakadaki nitrürlerin ortalama yarıçapı.

(2) numaralı diferansiyel denklemin integre edilmesi ve bilinenlerinde yerine konulması ile:

$$\frac{1}{K N^{2/3} D_M} \left[\frac{1}{2} \ln \frac{1+X^{1/3} + X^{2/3}}{(1+X^{1/3})^2} - \sqrt{3} \operatorname{Arctg} \frac{1/3 + 2X}{\sqrt{3}} + \frac{\pi}{2\sqrt{3}} \right] - t = 0$$

Çözümü elde edilir.

4. NİTRÜRASYON TAV FIRINI DİZAYNI

Laboratuvar tipi fırın dizayn ederken kullanılan en yaygın metod üretici firma kataloglarını kullanmaktır. Bu kataloglarda tecrübe sonucu elde edilmiş diyagramlarla fırına ait gerekli tüm bilgiler bulunabilmektedir.

4.1 Laboratuvar Tipi Fırınlarla İlgili Bilgiler

Laboratuvar fırınları çok çeşitlidir ve hepsi endüstriyel fırın prensibine dayanır. Endüstriyel fırınlarla laboratuvar fırınları arasındaki farklar sadece ölçek, erişilebilecek sıcaklık ve bu sıcaklığın kontrol hassasiyetinden ibarettir. Fırın atmosferinin kontrolü, fırının doldurulup boşaltılması, ölçü aletlerinin yerleştirilmesi ve bazı hallerde çok yüksek sıcaklıklara çıkılması özel şartlar gerektirebilir. Bu durumlarda laboratuvar fırınları kullanıcının isteğine uygun olarak dizayn edilmelidir.

Temizlik ve kontrol kolaylıkları açısından laboratuvarlarda genellikle elektrikli fırınlar kullanılır. Sıvı ve gaz yakıtlı fırınlar, laboratuvar fırınları olarak kullanıldıklarında iyi sonuçlar vermektedir, fakat çok gürültülü çalışmaları ve atmosfer kontrolleri güç olduğu için tercih edilmezler.

Elektrikli fırınlar direnç telleri ile ısıtılır. Platin, radyum, tungsten gibi pahalı teller çok yüksek sıcaklıkların istendiği durumlarda kullanılır (2000 °C gibi). Bu sıcaklıklar için ısıtıcı tel bulmak, refrakter malzeme bulmaktan daha kolaydır. Bu nedenle başka maddelerin kullanılması mümkünse refrakter olarak tuğla kullanılmasından kaçınılmalıdır.

Orta ve düşük sıcaklıklarda genellikle kanthal ve nichrothal tipi teller kullanılır. Günümüzde tek parça molibden levha ile ısıtılan fırınlarda vardır. Bu tip fırınlarda soğutma için, molibden levha içinde hidrojen kanalları bulunmaktadır. Bu fırınlarda yalıtkan olarak alümina zırh kullanılmaktadır. Yaklaşık 1800 °C sıcaklığa çıkılabilen bu

fırınlarında soğutmada kontrollu olarak yapılabilir.

Laboratuvar fırınlarında çeşitli refrakter malzeme tipleri kullanılmaktadır. Sodyum silikat veya alümina türü refrakter malzemeler yaklaşık 1350 °C sıcaklığa kadar iyi sonuç verir. Bunun üzerindeki sıcaklıklarda ise refrakter malzeme silimanit, müllit ve alümina veya toryumlu ve zirkonyumlu özel refrakterler arasından seçilebilir (CİĞDEM-ÖGLU, 1970).

Laboratuvar fırın projeleri büyük bir tecrübe gerektirir. En büyük problem ise fırını istenen sıcaklığa çıkarmak için gereken gücü hesaplamaktır. Bu güç; ısıtılacak hacme, çıkılacak sıcaklığa ve fırın izolasyonuna bağlıdır. Günümüzde bazı firmalar tarafından hazırlanmış ve tecrübeye dayanan katalogların tavsiye ettiği hesap yöntemleri oldukça hassas sonuçlar vermektedir.

4.2. Nitrürasyon Tav Fırını Dizaynı İçin Algoritma

Nitrürasyon fırını dizayn ederken aşağıdaki gibi bir yol izlenmesi tavsiye edilmektedir. Takip edilen bu yol hesap kolaylığını beraberinde getirmektedir.

4.2.1. Pota boyutları tespiti:

Dizaynı yaparken ilk olarak kaç derece sıcaklığa çıkılacağına ve istenen iç hacmin ne kadar olacağına karar verilmelidir. Tablo 4.1'den seçilen iç hacim değerine en yakın pota seçilir. Bu tablodan seçilen potanın diğer ölçüleride okunur.

V: İç Hacim , T : Sıcaklık

4.2.2. Tuğla boyutları ve cinsinin belirlenmesi:

Tuğla seçimi yaparken pota boyutları gözönüne alınarak tuğla ile örülecek kısmın yüksekliği ve ağız çapı hesaplanmalıdır.

Tuğla ağız çapı = Pota ağız çapı * 1.1

Tuğla yüksekliği = Pota yüksekliği * 1.1
alınabilir.

Burada bulunan tuğla ağız çapı, tablo 4.2'de verilen tuğla boyutları ile (tuğla ağız çapının yarısı, tablodaki yarıçapları arasından seçilmeli) karşılaştırılır ve kullanılacak tuğla boyutları bu tablodan alınır.

Tablo 4.1: TACO Grafit Pota Dışçüleri. (TACO pota katalogu, 1989).

BOY No	Bakır veya Pirinç ile takribi çalınma kapasitesi		DİŞ EBATLAR						Kapasite (iç hacim) LITRE
	KG	LB	Yükseklik		Ağız Çapı ϕ		Taban Çapı ϕ		
			MM.	INS.	MM.	INS.	MM.	INS.	
6	8	18	100	67%	140	8 3/4	85	3 3/4	1.3
8	12	26	125	67%	160	8 3/4	100	3 3/4	1.7
10	14	31	150	75%	180	8 3/4	115	4 1/4	2.3
12	17	37	175	67%	170	8 3/4	120	4 1/4	2.6
14	18	40	200	67%	170	8 3/4	120	4 1/4	2.9
16	20	44	225	67%	185	7 1/2	125	4 1/4	3.2
18	22	48	240	67%	185	7 1/2	130	5 1/4	3.5
20	27	60	255	67%	200	7 1/2	140	5 1/4	4.2
25	33	73	280	67%	220	8 1/2	150	5 1/4	5.0
30	39	84	300	67%	230	8 1/2	160	6 1/4	5.8
40	54	119	310	67%	260	10 1/2	180	7 1/4	8.7
50	66	145	330	67%	270	10 1/2	190	7 1/4	9.5
60	82	180	345	67%	285	11 1/2	200	7 1/4	10.8
70	96	211	360	67%	290	11 1/2	205	8 1/4	12.0
80	110	242	375	67%	305	12 1/2	215	8 1/4	14.1
90	126	277	390	67%	315	12 1/2	225	8 1/4	15.5
100	144	317	405	67%	325	12 1/2	235	9 1/4	17.2
120	174	384	410	67%	345	12 1/2	245	9 1/4	19.3
140	207	457	420	67%	370	14 1/2	250	10 1/4	21.5
160	243	534	430	67%	370	14 1/2	250	10 1/4	23.2
175	267	588	430	67%	400	14 1/2	250	10 1/4	24.6
200	315	694	430	67%	400	14 1/2	250	11 1/4	26.0
250	370	814	430	67%	400	14 1/2	250	11 1/4	28.0
300	435	954	440	67%	440	17 1/2	315	12 1/4	34.0
350	510	1114	440	67%	440	17 1/2	315	12 1/4	36.0
400	590	1294	450	67%	480	19 1/2	340	13 1/4	42.0
500	735	1614	450	67%	510	20 1/2	350	13 1/4	48.0
600	885	1954	450	67%	510	20 1/2	350	14 1/4	52.0
700	1050	2314	450	67%	510	20 1/2	350	14 1/4	56.0
800	1230	2704	450	67%	510	20 1/2	350	14 1/4	60.0
1000	1560	3444	450	67%	510	20 1/2	350	14 1/4	72.0
1200	1800	3960	450	67%	510	20 1/2	350	14 1/4	84.0
1400	2060	4554	450	67%	510	20 1/2	350	14 1/4	96.0
1600	2340	5148	450	67%	510	20 1/2	350	14 1/4	108.0
1800	2640	5814	450	67%	510	20 1/2	350	14 1/4	120.0
2000	2960	6544	450	67%	510	20 1/2	350	14 1/4	132.0
2500	3700	8148	450	67%	510	20 1/2	350	14 1/4	168.0
3000	4500	9864	450	67%	510	20 1/2	350	14 1/4	204.0
4000	5900	13044	450	67%	510	20 1/2	350	14 1/4	276.0
5000	7500	16548	450	67%	510	20 1/2	350	14 1/4	348.0
6000	9300	20364	450	67%	510	20 1/2	350	14 1/4	420.0
7000	11300	24444	450	67%	510	20 1/2	350	14 1/4	492.0
8000	13500	28764	450	67%	510	20 1/2	350	14 1/4	564.0
9000	15900	33348	450	67%	510	20 1/2	350	14 1/4	636.0
10000	18500	38164	450	67%	510	20 1/2	350	14 1/4	708.0

Tuğla boyutları belirlendikten sonra bağlayıcı harç ve tuğla cinsi belirlenmelidir. Bunlarda gerekli tablolarından fırının çıkarılacağı sıcaklık, T, göz önüne alınarak seçilir.

Fe_2O_3 oranları düşük olduğundan yüksek sıcaklıklarda bazik tuğlalar tercih edilmelidir. Eger buna dikkat edilmezse tel ile refrakter malzeme birlikte reaksiyona girebilirler (SÖRMAŞ TUĞLA KATALOGU, 1989).

Tablo 4.2: Tuğla Boyutları. (SORMAS Tuğla Kataloğu, 1989)

Pozu	Boyutları (mm)				Hacim dm ³	R (dağı) r (kg)
	a	b	h	l		
35AZ	237	150	100	100	1.93	275 175
40A8	228	151	100	100	1.89	300 200
50A10	214	153	100	100	1.83	350 250
60A12	205	153	100	100	1.79	400 300
70A14	198	153	100	100	1.75	450 350
80A16	193	152	100	100	1.72	500 400
55T6	398	273	125	100	4.19	400 275
60T6	423	298	125	100	4.50	425 300
70T7	410	302	125	100	4.45	475 350
80T8	400	304	125	100	4.40	525 400
90T9	391	306	125	100	4.35	575 450
100T10	384	307	125	100	4.32	625 500
55S10	245	168	125	100	2.58	400 275
60S12	218	153	125	100	2.32	425 300
70S14	210	154	125	100	2.28	475 350
80S16	202	154	125	100	2.23	525 400
90S18	198	154	125	100	2.20	575 450
100S20	196	154	125	100	2.19	625 500
60B6	448	298	150	100	5.60	450 300
70B7	432	302	150	100	5.50	500 350
80B8	419	304	150	100	5.42	550 400
100B10	400	307	150	100	5.30	600 450
120B12	386	308	150	100	5.20	750 600
130B13	380	309	150	100	5.17	800 650
15315	378	316	150	100	5.20	915 765
KU0	297	155	180	123	5.00	200 360
KU1	249	155	180	123	4.48	300 480
KU2	202	155	180	123	3.95	600 780
KU3	190	155	180	123	3.82	800 980
KU4	175	155	100	187	3.09	780 880
KU5	171	155	100	187	3.05	980 1080

Tablo 4.3: Refrakter Bağlayıcılar. (SORMAS Tuğla Kataloğu, 1989).

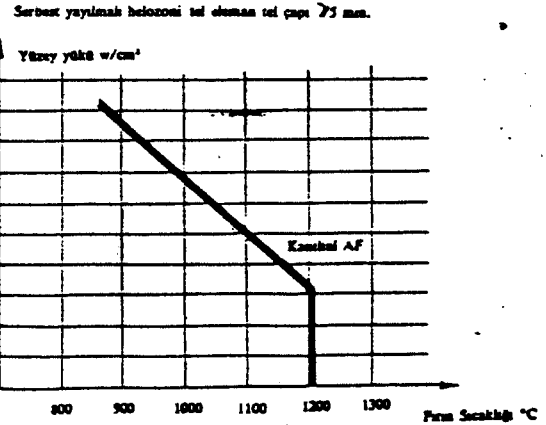
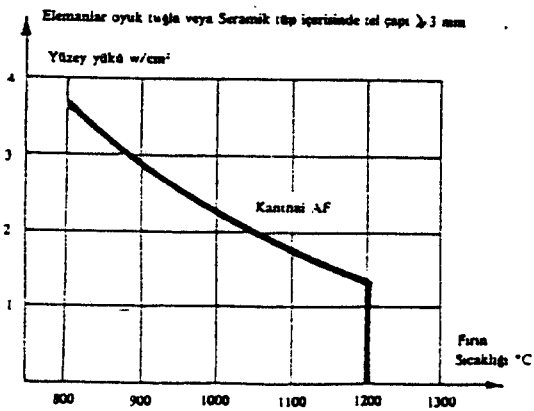
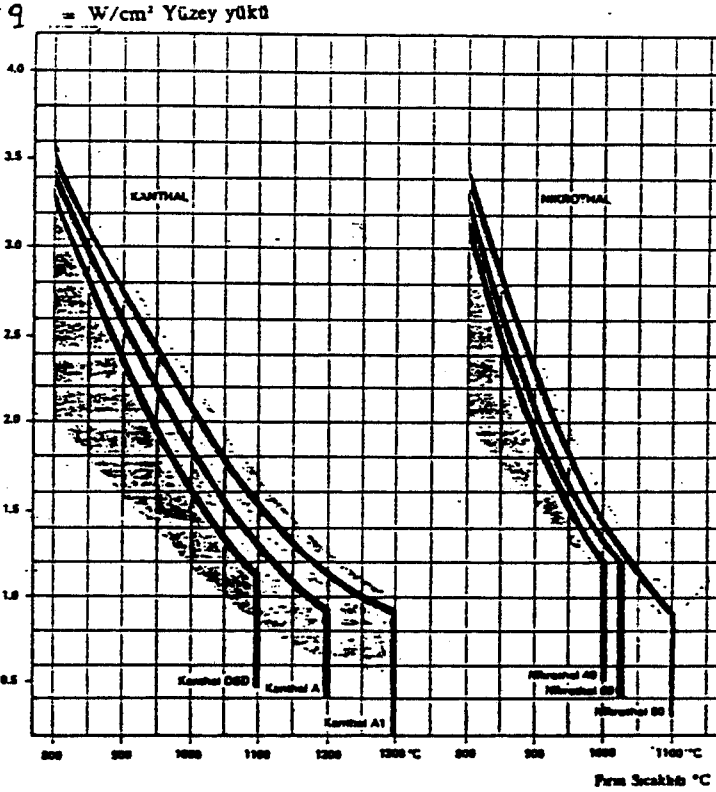
KALİTE	Bağlayıcı Çesitleri			
	AI-30	AI-38	AI-42	AI-46
Fiziksel Özellikleri				
Hacim Ağırlığı (Pazı): (gr/cm ³)	2.0	2.0	2.0	2.0
Tane büyüklüğü (mm)	0-0.1	0-0.1	0-0.1	0-0.1
Servis Temperatüründe °C	1330	1350	1420	1480
Soğutma Müddet(Servis Temp'de)/cm ³	200	200	200	200
Lineer Genleşme (1000°C)	0.5	0.5	0.5	0.5
İzolasyon Kapasitesi (kcal/mh°C)	400	1.03	1.03	1.35
	600	1.08	1.08	1.36
	800	1.13	1.13	1.39
	1000	1.18	1.18	1.42
	1200	1.23	1.23	1.44
Kazırma Kaybı (%)	5	5	5	5
Kimyasal Kompozisyon %				
Al ₂ O ₃	30.0	36.0	42.0	45-46
TiO ₂ max.	2.0	2.0	2.0	2.0
Fe ₂ O ₃ max.	3.0	3.0	3.0	3.0
Hazırlama Suyu %	25-30	25-30	25-30	25-30

Tablo 4.4: Bazik Tuğlaların Teknik Özellikleri. (SORMAS Tuğla Kataloğu, 1987)

Ürün Adı Brick Name	Hacim Ağırlığı B Density (g/cm ³)	Genürlük Porozite Ağırlık Porozite Ags Porosity (%)	Soğukta Sıcaklık Değişimi C.C.S.	Yük Altında Puzulme R.U.L.	SK Seper Gases	Termal Şok Dayanımı Thermal Shock 500°C. Avevalık	Termal İletkenlik (k. cal/m °C h.) Thermal Conductivity	400°C 600°C 1800°C Thermal Linear Expansion (%)	H ₂ O %	C ₂ O ₃ %	CaO %	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %
SOR K M 96	2.96-3.10	14-18	600	1750 min.	42 min.	50 min.	2.3 2.6 2.6	0.5 1.1 1.8	26 min.	-	2.0 max.	2.0 max.	0.5	0.5
SOR K M 90	2.96-3.15	13-17	500-500	1600 min.	42 min.	50 min.	2.5 2.8 2.6	0.5 1.1 1.7	26 min.	-	2.0 max.	2.0 max.	0.5	0.8
SOR K MC 10	2.9-3.1	18-19	500-500	1800 min.	42 min.	50 min.	2.9 2.4 2.2	0.47 1.1 1.78	26-28	8-8	2.0 max.	2.0 max.	2-3	2-4
SOR K MC 18 A	2.9-3.1	14-18	400-500	500 min.	42 min.	50 min.	2.9 2.4 2.2	0.47 1.1 1.78	26-28	4-4	2.0 max.	2.0 max.	2-3	2-4
SOR K MC 36	2.96-3.1	17-20	300-400	1800 min.	42 min.	50 min.	2.9 1.8 1.5	0.28 0.7 1.2	24-28	18-18	2.0 max.	2.0 max.	5-7	5-7
SOR K MC 48	2.96-3.1	18-21	200-400	1800 min.	42 min.	50 min.	1.7 1.6 1.4	0.28 0.7 1.2	24-28	18-21	2.0 max.	2.0 max.	5-7	5-7
SOR K MC 56	2.9-3.1	16-20	300-400	1600 min.	42 min.	50 min.	1.4 1.3 1.3	0.3 0.9 1.2	24-28	18-21	2.0 max.	2.0 max.	7-8	8-10
SOR K MC 66	2.9-3.1	16-20	300-400	1600 min.	42 min.	50 min.	1.4 1.3 1.3	0.3 0.9 1.2	24-28	18-21	2.0 max.	2.0 max.	9-11	8-10
SOR K MC 78	2.9-3.1	16-23	200-400	1600 min.	42 min.	50 min.	1.4 1.3 1.3	0.3 0.7 1.2	24-28	21-28	2.0 max.	2.0 max.	11-14	10-13
SOR K MC 88	3.1-3.2	17-22	200-400	1600 min.	42 min.	50 min.	1.3 1.2 1.1	0.27 0.28 1.18	24-28	27-28	2.0 max.	2.0 max.	12-15	10-13
SOR K MC 40 K	3.0-3.15	-	500-700	-	-	25 min.	1.7 1.5 1.4	0.3 0.7 1.2	25-30	17-21	2.5	4.0 max.	7-8	6-8
SOR K MC 64 K	3.1-3.2	-	500-700	-	-	25	1.4 1.3 1.3	0.3 0.8 1.28	24-28	24-27	2.0 max.	3.8 max.	7-8	8-10
SOR K MGP 10	2.88-2.96	16-20	400 min.	1800 min.	42 min.	50	4.3 3.8 2.7	0.8 1.0 1.7	24-28	-	2.0	2.0	6-10	-

Bazik tuğlalar (Basic bricks)

ii) Şekil 4.6'dan sıcaklığa bağlı olarak tel cinsi ve yüzey yükü belirlenir. (Bu şekilde tel cinsi için karşınıza birkaç seçenek çıkabilir. Bu durumda kanthal tipi tellerin daha pahalı olduğu gözönüne alınabilir).



Şekil 4.6: Tel Cinsi ve Yüzey Yükünün Bulunması için gerekli Egriler. (ALARKO Rezistans Tel Kataloğu, 1989).

iii) Fırın trifaze alternatif akımla çalıştırılıyorsa hesaplar bir faza gelen güç ile, monofaze alternatif akımla çalışıyorsa belirlenmiş güç değeri (F) ile yapılır.

Trifaze alternatif akım için:

$$\text{Bir faza gelen güç} = F/3$$

olarak alınır.

Tablo 4.5'den seçilen tel cinsine göre ve sıcaklığa bağlı olarak, sıcaklık faktörü (Ct) okunur.

Tablo 4.5: Tel Cinsine Göre Sıcaklık Faktörleri. (ALARKO Rezistans Tel Kataloğu, 1989).

	°C	20	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400
Kanthal DSD	Ct	1.00	1.00	1.01	1.01	1.02	1.03	1.04	1.05	1.06	1.07	1.07	1.07	1.08	1.08	—
Kanthal A-1	Ct	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.02	1.02	1.03	1.03	1.04	1.04	1.04	1.04	1.05
Kanthal AF	Ct	1.00	1.00	1.01	1.01	1.02	1.03	1.04	1.04	1.05	1.05	1.06	1.06	1.06	1.06	—
	°C	20	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400
Nikrothal 80	Ct	1.00	1.01	1.02	1.03	1.04	1.05	1.04	1.04	1.04	1.05	1.06	1.06	1.07		
Nikrothal 60	Ct	1.00	1.02	1.04	1.05	1.06	1.08	1.09	1.09	1.10	1.10	1.11	1.12	1.13		
Nikrothal 40	Ct	1.00	1.03	1.06	1.10	1.12	1.15	1.17	1.19	1.21	1.22	1.23	1.24			
Nikrothal 20	Ct	1.00	1.04	1.10	1.14	1.17	1.21	1.23	1.26	1.28	1.30	1.32	1.34			

Tablo 4.6'dan seçilen telin cinsine göre öz direnç okunur.

Tablo 4.6: Rezistans Tellerine Ait Bazı Fiziksel Özellikler. (ALARKO Rezistans Tel Kataloğu, 1989).

Rezistans Elemanının cinsi		AF	A-1	DSD	Nikrothal 80	Nikrothal 60	Nikrothal 40	Nikrothal 20
Max. kullanma sıcaklığı (eleman sıcaklığı)	°C	1400	1375	1280	1200	1125	1100	1050
Alaşımı	% Cr	22	22	22	20	15	20	25
	% Al	5,25	5,5	4,5	—	—	—	—
	% Fe	Kalanı	Kalanı	Kalanı	—	25	45	55
	% Ni	—	—	—	80	60	35	20
Özgül ağırlığı (gr/cm ³)		7,15	7,1	7,25	8,3	8,2	7,9	7,8
Özdirenç (20°C de) (Ω mm ² /m).....		1,39	1,45	1,35	1,9	1,11	1,04	0,95
Isı iletim katsayısı W/m °C.....		16	16	16	15	13	13	13
Isınma ısısı (KJ/kg°C)		0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,50	0,50
Manyetik özelliği.....		Manyetik	Manyetik	Manyetik	Manyetik Değil	Kısmen Manyetik	Manyetik Değil	Manyetik Değil

iv) Gerilim farkı U ile gösterilirse toplam direnç:

$$R = \frac{U^2}{t}$$

20 °C'da Direnç:

$$R_{20^\circ} = \frac{R}{t}$$

v) Tel çapı:

$$d = \frac{1}{2.91} \sqrt[3]{\left(\frac{F}{U}\right)^2 \frac{\rho}{q} C_t}$$

ampirik bağıntısı ile hesaplanır. (Alarko rezistans tel katalogu, 1989).

Bu bağıntıda;

- d : Tel çapı
- F : Bir faza gelen güç
- U : Gerilim farkı
- ρ : Öz direnç
- q : Yüzey yükü
- C_t : Sıcaklık Faktörü

vi) Tel çapı hesaplandıktan sonra tablo 4.7'den seçilen tel cinsi gözönüne alınarak en yakın d çapı seçilir ve telin bir metresinin direnci (R_m) ile bir metresinin ağırlığı okunur (G_m).

vii) Tel boyu: $l = R_{20} / R_m$

(Eğer akım trifaze ise toplam tel boyu $l_t = l * 3$ olarak alınır).

Tel ağırlığı: $G_{top} = l * G_m$

viii) Spiral ölçülerinin tayini:

Tablo 4.8 'den D/d tel oranı seçilir. (D:Spiral çapı).

Bu tablodan D/d oranı seçerken küçük oranların telde aşırı esneme büyük oranların gevşek sarım meydana getireceği

Tablo 4.7: Rezistans Tellerinin Çaplarına ve Cinslerine Göre Özellikleri. (ALARKO Rezistans Tel Kataloğu, 1989).

(Kanthal Tipi Teller İçin)

Çapı mm	Birim Uzunluğun Direnci Ω/m 20°C	cm^2/Ω 20°C	Birim Uzunluğunun Ağırlığı g/m	Birim Uzunluğunun Yüzeyi cm^2/m	Kesit Alanı mm^2	Çapı mm.	Çapı mm.	Birim Uzunluğunun Direnci Ω/m 20°C	cm^2/Ω 20°C	Birim Uzunluğunun Ağırlığı g/m	Birim Uzunluğunun Yüzeyi cm^2/m	Kesit Alanı mm^2
6.5	0.0407	5020	241	204	33.2	6.5	9.50	0.0196	152.30	508.9	298.5	70.9
6.0	0.0477	3950	205	188	28.3	6.0	8.00	0.0277	9027	388.8	251.3	50.3
5.5	0.0568	3040	172	173	23.8	5.5	7.50	0.315	7479	318.9	235.6	33.2
5.0	0.0688	2280	147	157	19.6	5.0	7.00	0.0361	6091	275.3	219.9	38.5
4.5	0.0849	1670	115	141	15.9	4.5	6.50	0.04189	4875	237.3	204.2	33.2
4.0	0.107	1170	81.1	128	12.6	4.0	6.00	0.04916	3834	202.2	188.5	28.3
3.5	0.140	784	69.8	110	9.82	3.5	5.50	0.05851	2953	169.9	172.8	23.8
3.0	0.181	493	51.2	94.2	7.07	3.0	5.00	0.07079	2219	140.4	157.1	19.6
2.5	0.275	286	35.6	78.5	4.91	2.5	4.75	0.07844	1903	126.7	148.2	17.7
2.2	0.355	195	27.8	69.1	3.80	2.2	4.50	0.08740	1618	113.7	141.4	15.9
2.0	0.430	146	22.8	62.8	3.14	2.0	4.25	0.08798	1363	101.4	133.5	14.19
1.5	0.764	61.7	12.8	47.1	1.77	1.5	4.00	0.1106	1136	88.86	125.7	12.6
1.2	1.19	31.8	8.20	37.7	1.13	1.2	3.75	0.1259	936.1	78.97	117.8	11.04
1.0	1.72	18.3	5.89	31.4	0.785	1.0	3.50	0.1445	761.1	68.79	110.0	9.82
0.90	2.12	13.3	4.61	28.3	0.636	0.90	3.25	0.1676	609.4	59.32	102.1	8.30
0.80	2.69	9.36	3.64	25.1	0.503	0.80	3.00	0.1966	479.3	50.54	94.25	7.07
0.70	3.51	6.27	2.79	22.0	0.385	0.70	2.50	0.2832	277.4	35.10	78.54	4.91
0.60	4.77	3.95	2.05	18.8	0.283	0.60	2.00	0.4425	142.0	22.48	62.83	3.14
0.55	5.68	3.04	1.72	17.3	0.263	0.55	1.90	0.4903	121.8	20.27	58.89	2.84
0.50	6.88	2.28	1.42	15.7	0.196	0.50	1.80	0.5462	103.5	18.20	56.55	2.54
0.45	8.49	1.67	1.15	14.1	0.159	0.45	1.70	0.6124	87.21	16.23	53.41	2.27
0.40	10.7	1.17	0.911	12.8	0.126	0.40	1.60	0.6913	72.71	14.38	50.27	2.01
0.35	14.0	0.784	0.698	11.0	0.0962	0.35	1.50	0.7866	59.91	12.64	47.12	1.77
0.30	19.1	0.493	0.512	9.42	0.0707	0.30	1.40	0.9030	48.71	11.01	43.98	1.54
0.25	27.5	0.286	0.356	7.85	0.0491	0.25	1.30	1.047	38.00	9.490	40.84	1.33
0.20	43.0	0.146	0.228	6.28	0.0314	0.20	1.25	1.133	34.67	8.775	39.27	1.23
0.15	76.4	0.0817	0.128	4.71	0.0177	0.15	1.20	1.229	30.88	8.087	37.70	1.13
0.10	172	0.0183	0.0589	3.14	0.00785	0.10	1.10	1.463	23.63	6.795	34.56	0.95
							1.00	1.770	17.75	5.616	31.42	0.785

Çapı mm	Birim Uzunluğunun Direnci Ω/m 20°C	cm^2/Ω 20°C	Birim Uzunluğunun Ağırlığı g/m	Birim Uzunluğunun Yüzeyi cm^2/m	Kesit Alanı mm^2	Çapı mm.
9.5	0.0205	14800	503	298	70.9	9.5
8.0	0.0288	8710	367	251	50.3	8.0
6.0	0.0513	3880	201	188	28.3	6.0
5.5	0.0610	2830	189	173	23.8	5.5
5.0	0.0738	2130	157	157	19.6	5.0
4.5	0.0912	1680	113	141	15.9	4.5
4.0	0.115	1090	88.2	128	12.6	4.0
3.5	0.151	730	69.3	110	9.82	3.5
3.0	0.206	488	50.2	94.2	7.07	3.0
2.5	0.295	286	34.9	78.5	4.91	2.5
2.2	0.381	181	27.0	69.1	3.80	2.2
2.0	0.462	136	22.3	62.8	3.14	2.0
1.5	0.821	57.4	12.5	47.1	1.77	1.5
1.2	1.28	29.4	8.03	37.7	1.13	1.2
1.0	1.85	17.0	5.58	31.4	0.785	1.0

(Tablo 4.7 Devam.)

(Nikrothal Tipi Teller İçin)

Tablo değerleri her bir tel için aşağıda verilen düzeltme faktörleri ile birlikte kullanılmalıdır.

Nikrothal 80	1.00	1.00	1.00			
Nikrothal 60	1.02	0.98	0.99			
Nikrothal 40	0.95	1.05	0.95			
Nikrothal 20	0.87	1.15	0.94			
Çapı mm.	Birim Uzunluğunun Direnci Ω/m 20°C	cm^2/Ω 20°C	Birim Uzunluğunun Ağırlığı g/m	Birim Uzunluğunun Yüzeyi cm^2/m	Kesit Alanı mm^2	Çapı mm
6.5	0.0328	6220	275	204	33.2	6.5
6.0	0.0386	4890	236	188	28.3	6.0
5.5	0.0459	3770	197	173	23.8	5.5
5.0	0.0555	2830	163	157	19.6	5.0
4.8	0.0602	2500	150	151	18.1	4.8
4.5	0.0695	2060	132	141	15.9	4.5
4.2	0.0787	1680	115	132	13.9	4.2
4.0	0.0867	1450	104	126	12.6	4.0
3.8	0.0961	1240	94.1	119	11.3	3.8
3.5	0.113	971	79.9	110	9.62	3.5
3.2	0.136	742	66.8	101	8.04	3.2
3.0	0.154	611	58.7	94.2	7.07	3.0
2.8	0.177	497	5.1	88.0	6.16	2.8
2.5	0.222	354	40.7	78.5	4.91	2.5
2.2	0.287	241	31.6	69.1	3.80	2.2
2.0	0.347	181	26.1	62.8	3.14	2.0
1.9	0.384	155	23.5	59.7	2.84	1.9
1.8	0.428	132	21.1	56.5	2.54	1.8
1.7	0.480	111	18.8	53.4	2.27	1.7
1.6	0.542	92.7	16.7	50.3	2.01	1.6
1.5	0.617	76.4	14.7	47.1	1.77	1.5
1.4	0.708	62.1	12.8	44.0	1.54	1.4
1.3	0.821	49.7	11.0	40.8	1.33	1.3
1.2	0.964	39.1	9.39	37.7	1.13	1.2
1.1	1.15	30.1	7.89	34.6	0.950	1.1
1.0	1.39	22.6	6.52	31.4	0.785	1.0
0.95	1.54	19.4	5.88	29.8	0.709	0.95
0.90	1.71	16.5	5.26	28.3	0.636	0.90
0.85	1.92	13.9	4.71	26.7	0.567	0.85
0.80	2.17	11.6	4.17	25.1	0.503	0.80
0.75	2.47	9.55	3.67	23.6	0.442	0.75
0.70	2.83	7.76	3.19	22.0	0.385	0.70
0.65	3.28	6.22	2.75	20.4	0.332	0.65
0.60	3.86	4.89	2.35	18.8	0.283	0.60
0.55	4.59	3.77	1.97	17.3	0.238	0.55
0.50	5.55	2.83	1.63	15.7	0.196	0.50
0.48	6.02	2.50	1.50	15.1	0.181	0.48
0.45	6.85	2.06	1.32	14.1	0.159	0.45
0.42	7.87	1.68	1.15	13.2	0.139	0.42
0.40	8.67	1.45	1.04	12.6	0.126	0.40
0.38	9.61	1.24	0.941	11.9	0.113	0.38
0.35	11.3	0.971	0.799	11.0	0.0962	0.35
0.32	13.6	0.742	0.668	10.1	0.0804	0.32
0.30	15.4	0.611	0.587	9.42	0.0707	0.30
0.28	17.7	0.497	0.511	8.80	0.0616	0.28
0.26	20.5	0.398	0.441	8.17	0.0531	0.26
0.25	22.2	0.354	0.407	7.85	0.0491	0.25
0.24	24.1	0.313	0.375	7.54	0.0452	0.24
0.23	26.2	0.275	0.345	7.23	0.0415	0.23
0.22	28.7	0.241	0.316	6.91	0.0380	0.22
0.21	31.5	0.210	0.287	6.60	0.0346	0.21
0.20	34.7	0.181	0.261	6.28	0.0314	0.20

Tablo 4.8 : Rezistans Tellerinde Tavsiye Edilen D/d Oranları (ALARKO Rezistans Tel Kataloğu, 1989).

	AF, A-1, DSD Tiplerinde	Nikrothal Tiplerinde
Endüstriyel fırınlarda $< 1000^{\circ}\text{C}$: D/d =	6-8	6-9
Endüstriyel fırınlarda $> 1000^{\circ}\text{C}$: D/d =	5-6	5-8
Elektrikli ısıtıcılarda : D/d =	4-10	4-12

düşünülmeli ve konstrüksiyona bağlı özel bir durum yoksa ortalama oranlar alınmalıdır.

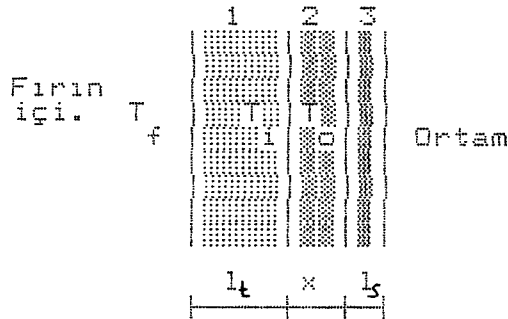
Sarım adedi:
$$W = \frac{1000 * l_t}{(D-d) * \pi}$$

Spiral boyu:
$$L = W * d \quad (\text{kapalı boy})$$

Açılmış spiral boyu:
$$L = W * S$$

Bu formülde S hatvedir ve $S/d = 2 - 4$ oranları arasında seçilir.

4.2.4. Isı transferi hesabı:



1: Tuğla kısım

2: Cam yünü

3: Sac muhafaza

l_s : Sac muhafaza boyu

l_t : Tuğla genişliği

T_f : Fırın iç sıcaklığı

T_2 : Cam yünü ile tuğla arası sıcaklık

T_0 : Ortam sıcaklığı

q : Yüzey yükü

Cam yünü için ısı iletim katsayısı $k_i = 0.038 \text{ Watt/m } ^{\circ}\text{C}$

Tuğla için ısı iletim katsayısı seçilen tuğla cinsine göre tablo 4.4'den okunur (k_t)

1.Adımı:

$$q = k_t \frac{T_f - T_i}{l_t}$$

buradan T_i bulunur. $T_o = 20$ °C olacağı için:

$$q = k_i \frac{T_i - T_o}{x}$$

bağıntısı ile kullanılacak cam yünü kalınlığı bulunur.

4.2.5. Gerilim ve akım hesabı:

$I = F / U$ bağıntısı ile fırının çektiği akım bulunur, bulunan değere akımın durumuna ve bağlama şekline göre akım, voltaj ve sıcaklık göstergesi seçilir.

4.3. Amstrad 612B Bilgisayar İçin Yapılmış Fırın Dizayn Programı

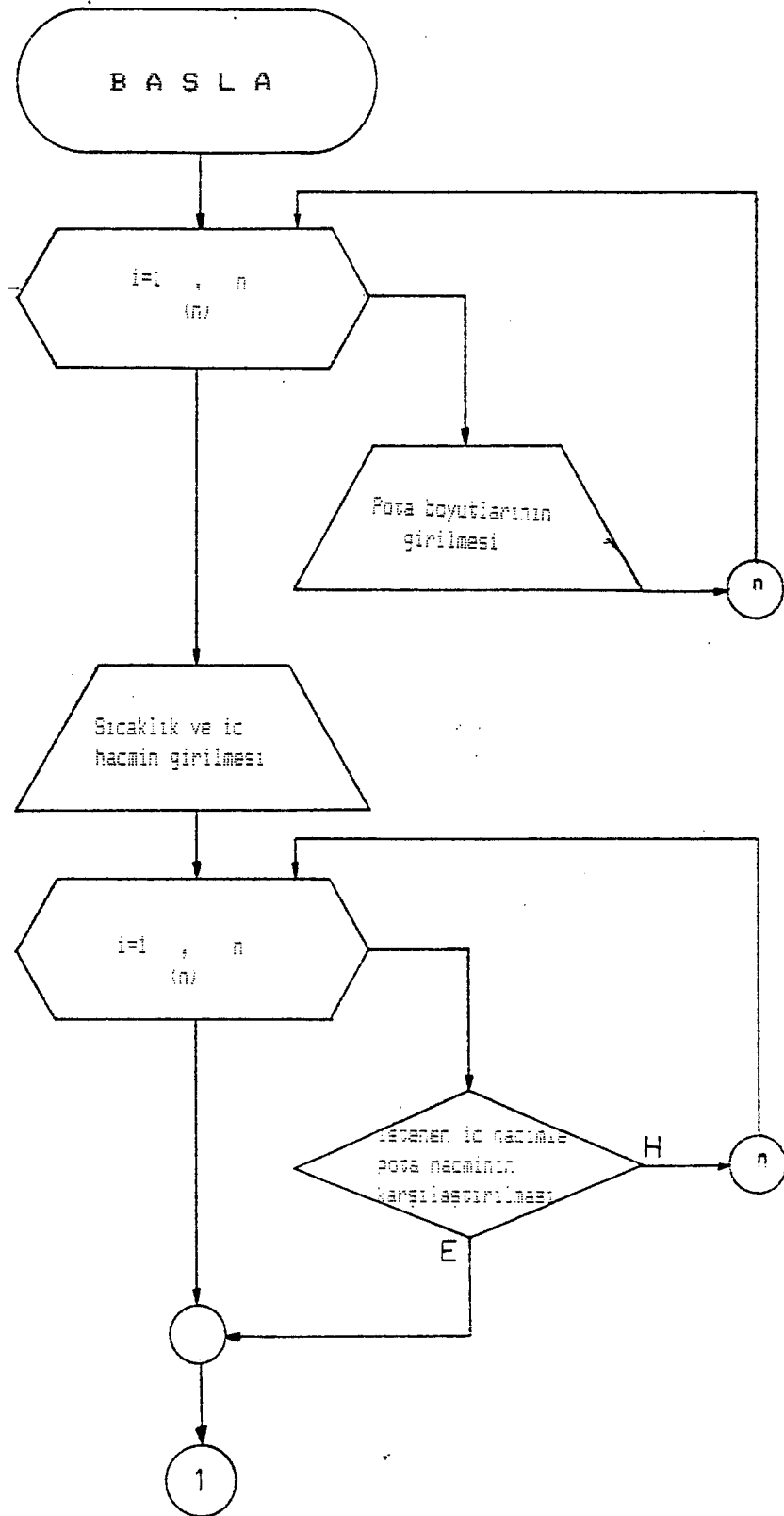
Günümüzde bilgisayar kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Özellikle çok fazla hesap gerektiren uzun problemlerde bilgisayar kolaylığı tartışılmaz bir gerçektir. Bu nedenle, dizaynı düşünülen fırın için daha genel kullanım alanına sahip bir bilgisayar programı geliştirilmiştir.

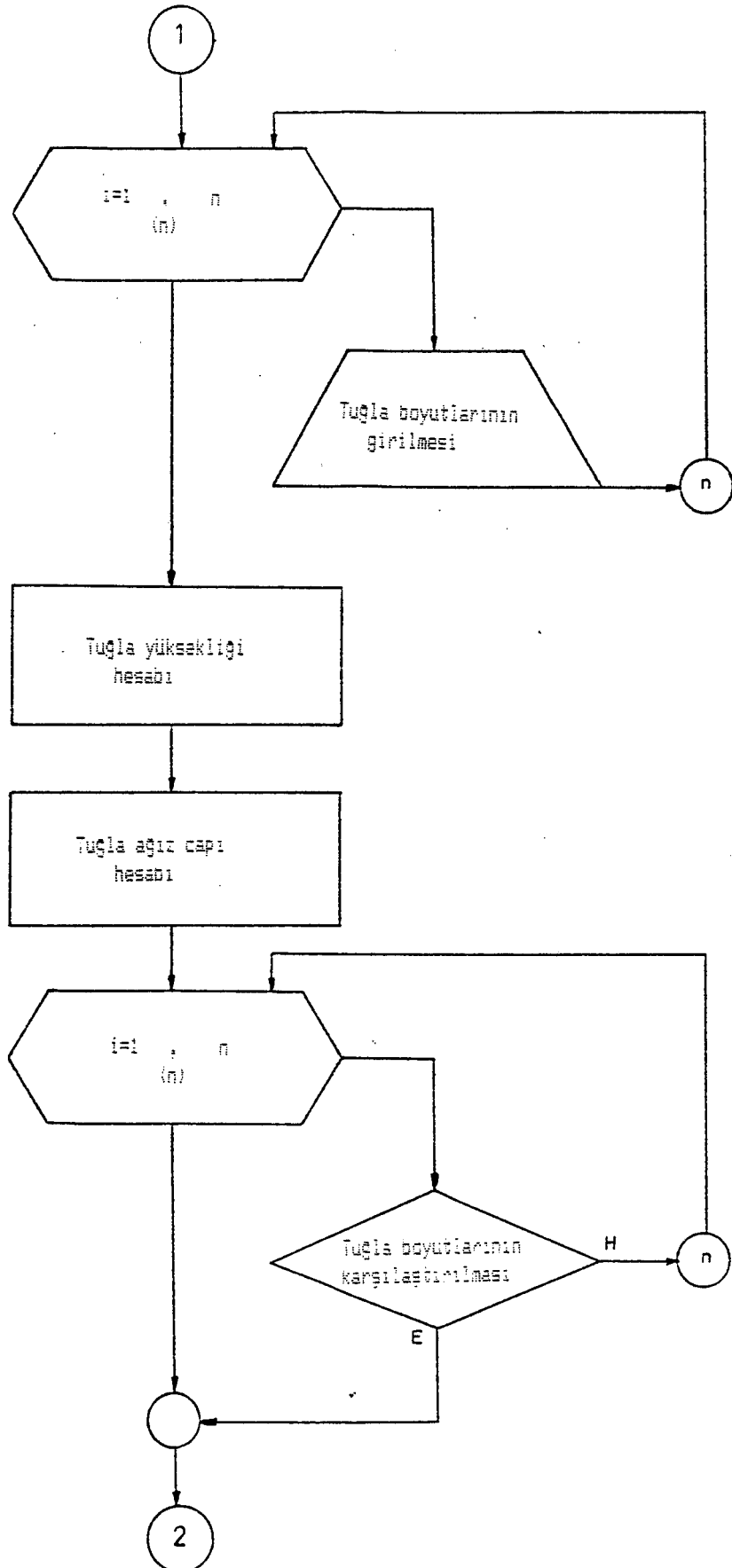
Yapılmış olan fırın dizayn programı 236 satırdan oluşmaktadır. Programda SI birim sistemi kullanılmıştır.

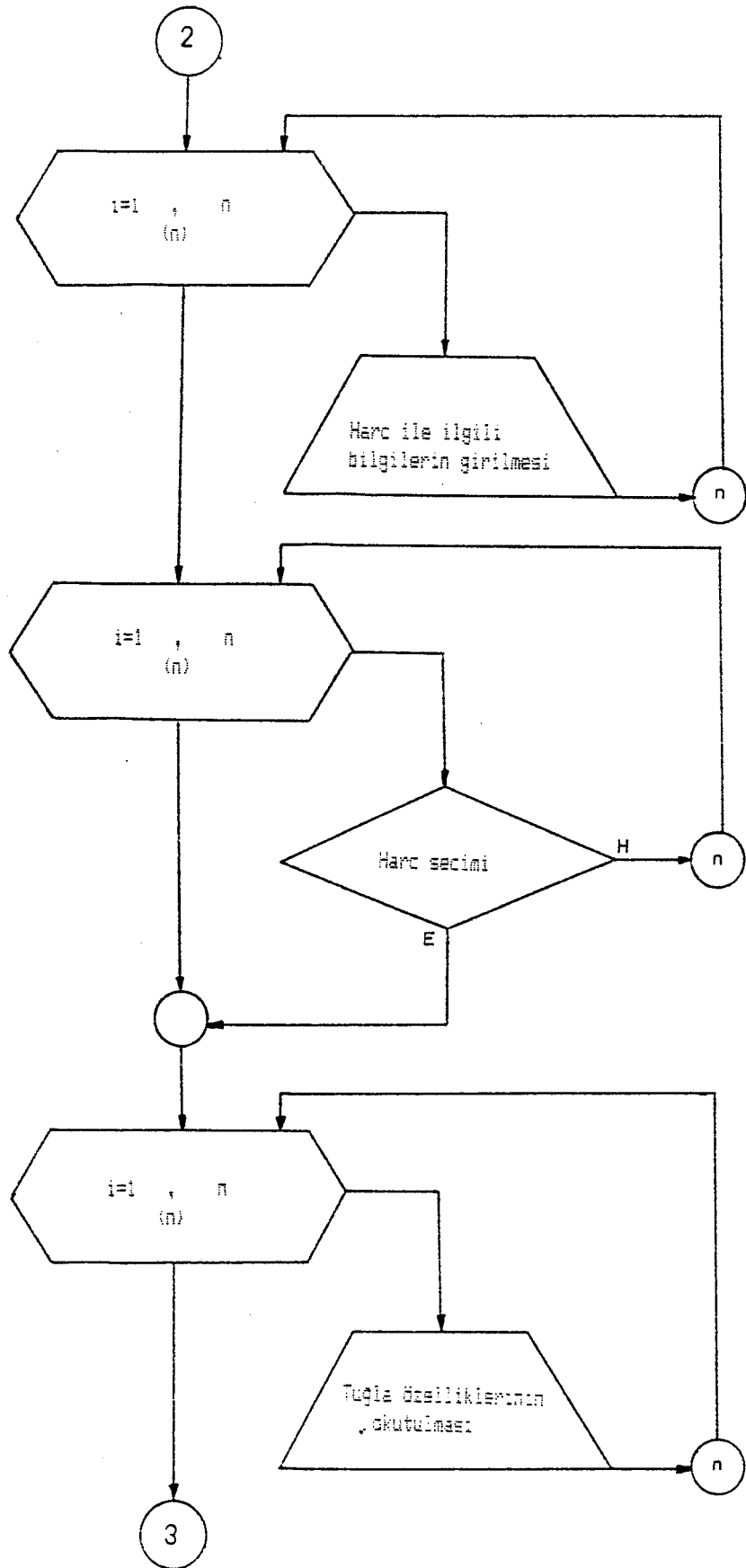
Program, verilen iç hacim ve çıkılması istenen sıcaklık değeri ile nitrürasyon tav fırınının sahip olması gereken donanımlara ait tüm bilgileri verebilmektedir.

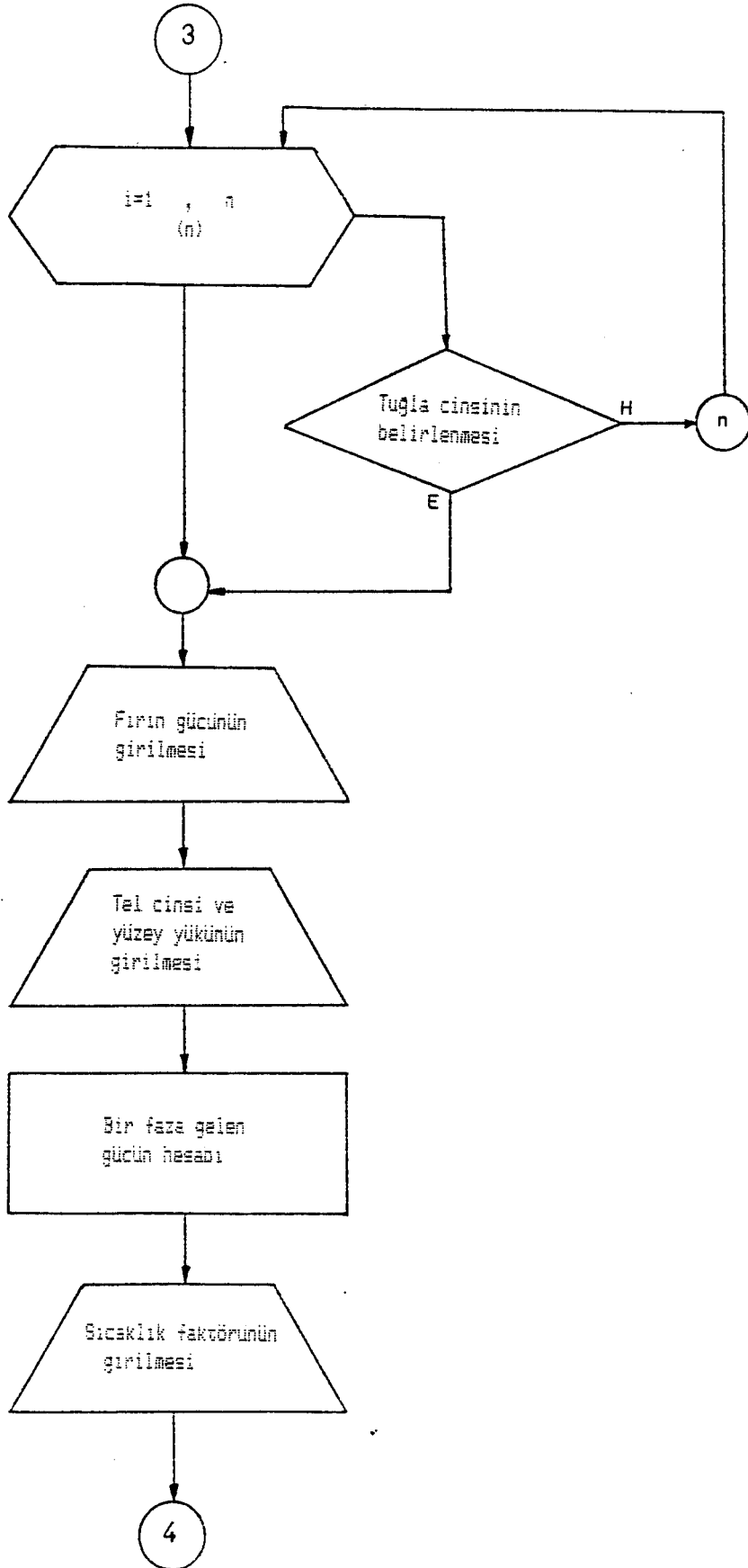
4.3.1. Akım şeması

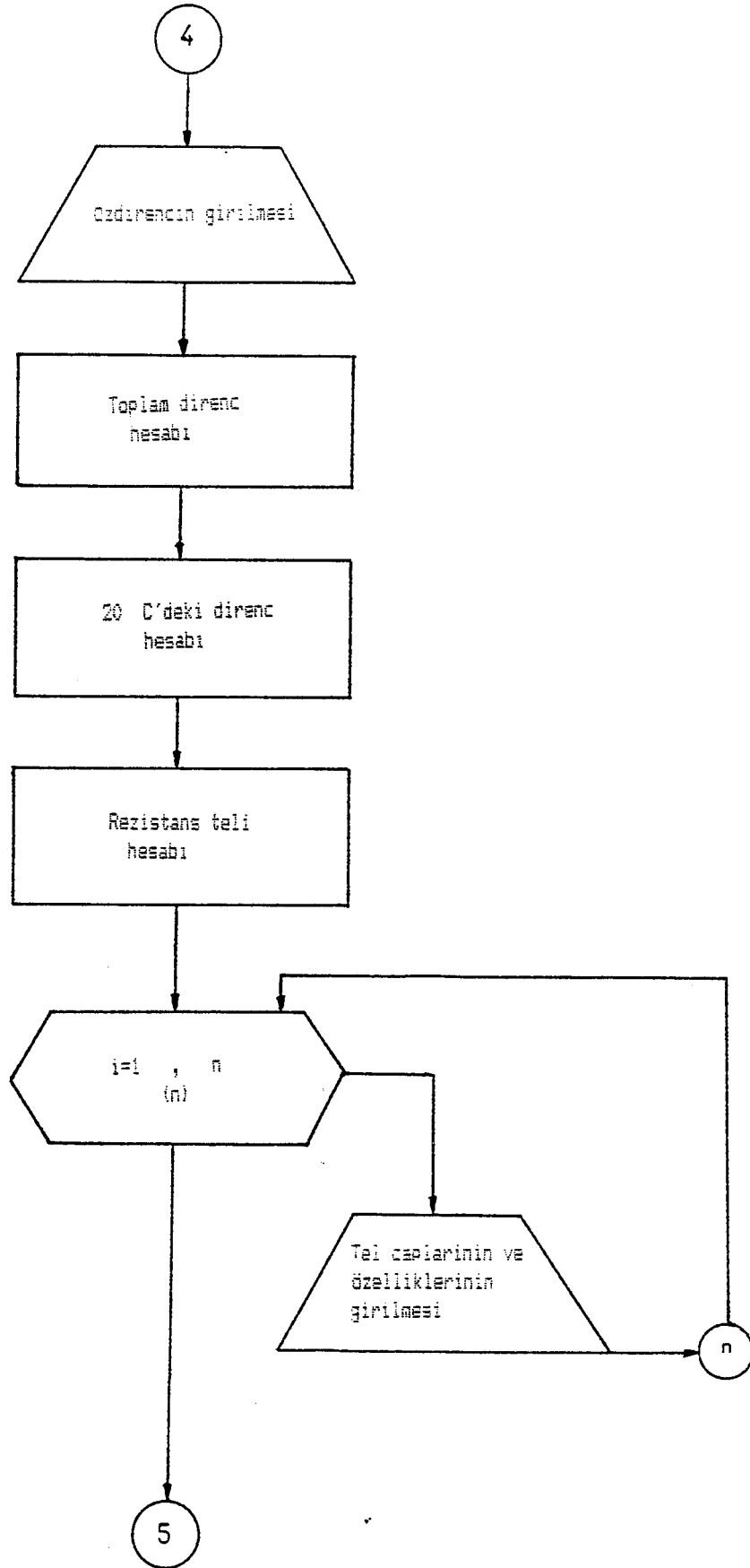
Fırın dizaynı programında bu bölümde verilen algoritma kullanılmıştır. Akım şeması ise programın adım adım incelenmesini kolaylaştırmak amacıyla hazırlanmıştır.

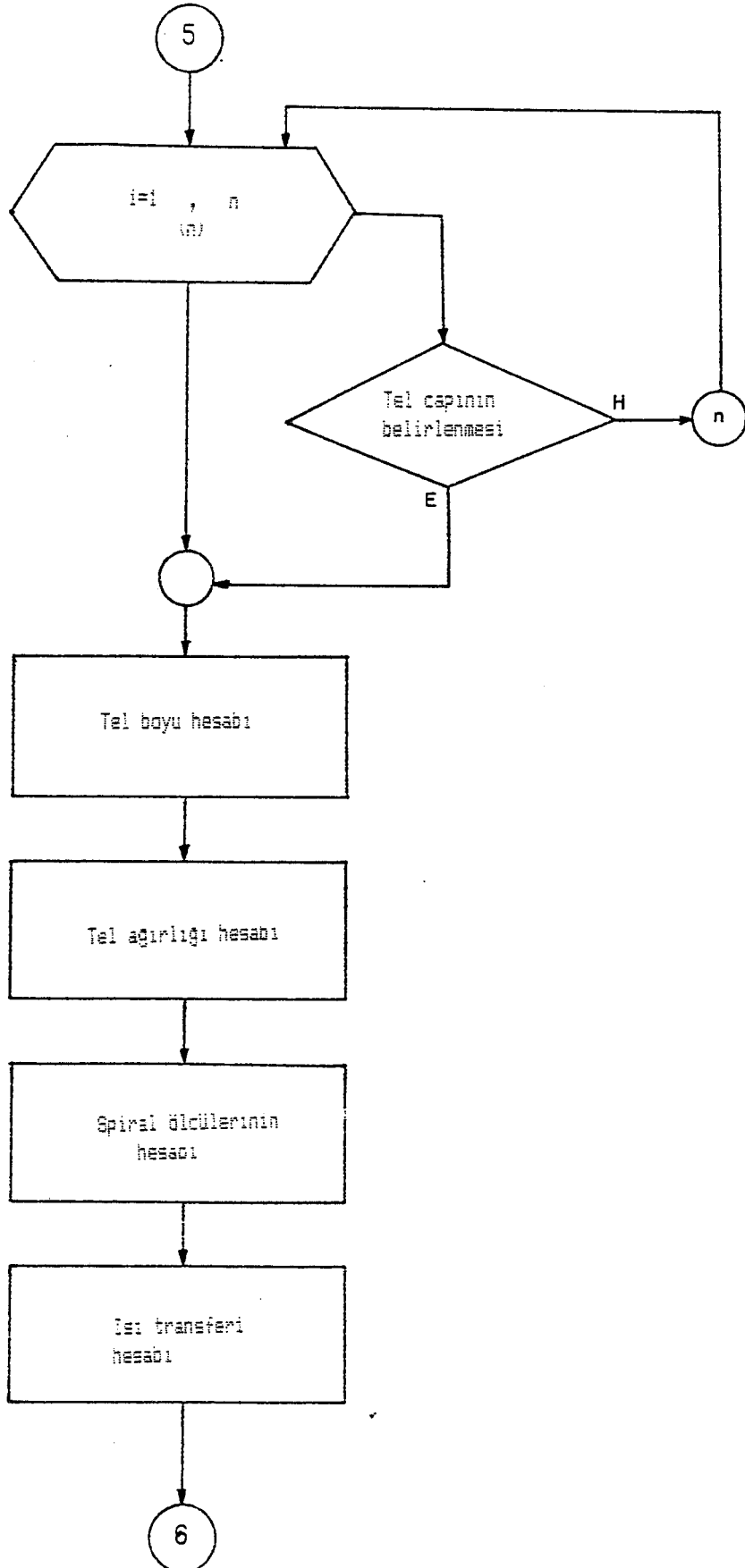


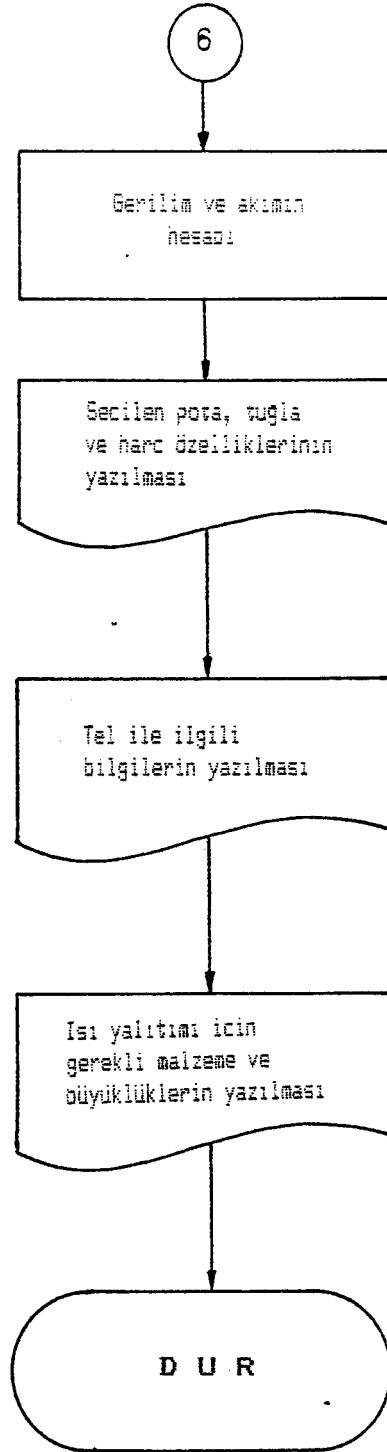












```

10 *****
20 *
30 *      BU PROGRAM VERILEN SICAKLIK VE IC HACIME GORE
40 *      TAV FIRININA AIT BUYUKLUKLERI HESAPLAR...
50 *
60 *      HAZIRLAYAN : Osman Nuri DELIK
70 *
80 *****
90 MODE 2
100 INPUT"Yazici icin <B> ekran icin <O> tusuna basiniz";q
110 INPUT"Ic Hacim max 300 dm3 olmalı =";H
120 H=INT(H)+1
130 IF H>301 THEN PRINT:PRINT "Lutfen Degeri Kucultunuz !";PRINT:GOTO 110
140 INPUT"Sicaklik max 1750 C olmalı =";T
150 T=T-1
160 IF T>1751 THEN PRINT:PRINT "Lutfen Degeri Kucultunuz !";PRINT:GOTO 140
170 'Pota Boyutlarinin Tayini
180 DIM H1(40),TC(40),AC(40),Y(40)
190 FOR I=1 TO 36
200 READ Y(I),AC(I),TC(I),H1(I)
210 NEXT
220 DATA 160,140,95,1.3,175,150,100,1.7,200,160,115,2.3
230 DATA 210,170,120,2.6,220,175,120,2.9,230,185,125,3.2
240 DATA 240,195,130,3.6,255,200,140,4.2,260,220,150,5
250 DATA 290,230,160,6,310,260,190,8.7,330,270,195,9.8
260 DATA 345,285,200,10.8,360,295,205,12,375,305,215,14.1
270 DATA 380,315,225,15.5,400,325,230,17.2,410,345,245,19.5
280 DATA 450,370,260,26.3,520,370,260,30.5,480,400,285,31.2
290 DATA 500,400,285,34,515,420,300,41,540,440,315,44.8
300 DATA 570,440,315,47.3,600,500,340,68.9,650,510,350,72.5
310 DATA 680,530,380,82,800,560,380,108.9,820,635,420,135
320 DATA 950,635,420,166,1050,635,420,190,1130,635,420,209
330 DATA 900,780,410,265,1000,780,410,302,750,780,410,220
340 H1(0)=0
350 FOR I=0 TO 35
360 IF H>H1(I) AND H<H1(I+1) THEN GOTO 380
370 NEXT
380 H=H1(I+1):AC=AC(I+1):TC=TC(I+1):Y=Y(I+1)
390 DH=PI*Y/12*(ACB2+AC*TC+TCB2)*1.1
400 TY=1.1*Y
410 TGD=1.1*AC
420 'Tugla Boyutlarinin Tayini
430 DIM A(40),B(40),C(40),L(40),RD(40),RI(40)
440 FOR I=1 TO 29
450 READ A(I),B(I),C(I),L(I),RD(I),RI(I)
460 NEXT
470 DATA 237,150,100,100,275,175,228,151,100,100,300,200
480 DATA 214,153,100,100,350,250,205,153,100,100,400,300
490 DATA 198,153,100,100,450,350,193,152,100,100,500,400
500 DATA 398,273,125,100,400,275,423,298,125,100,425,300
510 DATA 410,302,125,100,475,350,400,304,125,100,525,400
520 DATA 391,306,125,100,575,450,384,307,125,100,625,500
530 DATA 245,168,125,100,400,275,218,153,125,100,425,300
540 DATA 210,154,125,100,475,350,202,154,125,100,525,400
550 DATA 198,154,125,100,575,450,196,154,125,100,625,500

```

```

660 DATA 448,298,150,100,450,300,432,302,150,100,500,350
670 DATA 417,304,150,100,550,400,400,307,150,100,650,500
680 DATA 386,308,150,100,750,600,380,309,150,100,800,650
690 DATA 378,316,150,100,915,765,297,155,180,123,200,780
700 DATA 190,155,180,123,800,980,175,155,100,187,780,880
710 DATA 171,155,100,187,980,1080
720 RI(0)=0
730 FOR I=0 TO 28
740 IF TGC>RI(I)*2 AND TGC<RI(I+1)*2 THEN GOTO 660
750 NEXT
760 TGC=RI(I+1)*2:A=A(I+1):B=B(I+1)
770 C=C(I+1):L=L(I+1):RD=RD(I+1):RI=RI(I+1)
780 'Tuğla Cinsleri ve Özellikleri
790 'i Tuğlaların Adları
800 DIM TUA$(40),TS(40)
810 FOR I=1 TO 9
820 READ TUA$(I),TS(I)
830 NEXT
840 DATA "SOR KIZ 70",950,"SOR SIZ 45",1200,"SOR SIZ 55",1300
850 DATA "SOR SIZ 55/S",1450,"SOR K MC 35",1500,"SOR K MC 55",1550
860 DATA "SOR K MC 90",1600,"SOR K M 95",1750,"SOR K MSP 10",1600
870 DIM IKAT(10)
880 FOR I=1 TO 9
890 READ IKAT(I)
900 NEXT
910 DATA .2,.5,.46,.56,1.5,1.3,1.1,2.6,2.7
920 TS(0)=0
930 Z=1
940 FOR I=0 TO 8
950 IF T>TS(I) AND T<TS(I+1) THEN GOTO 880
960 Z=Z+1
970 NEXT
980 ADI$=TUA$(Z)
990 T=TS(Z)
1000 IK=IKAT(Z)
1010 DIM B1(10),B2(10),B3(10),B4(10),B5(10),B6(10),B7(10),B8(10)
1020 FOR I=1 TO 4
1030 READ B1(I),B2(I),B3(I),B4(I),B5(I),B6(I),B7(I),B8(I)
1040 NEXT
1050 DATA 75,20,4.5,1,1.5,1,1.5,2,70,30,2,1,1.5,1,1,2
1060 DATA 70,30,3,1,1,1,1,2,42,58,1.5,.5,.5,.5,.5,.7
1070 DIM B9(10),B10(10),B11(10),B12(10),B13(10),B14(10)
1080 FOR I=5 TO 9
1090 READ B9(I),B10(I),B11(I),B12(I),B13(I),B14(I)
1100 NEXT
1110 DATA 68,18,2,3.5,7,7,52,27,2,3.5,9,10,35,42,2,5,15,13
1120 DATA 95,0,2,2,.5,.5,88,0,2,2,10,0
1130 PRINT #q,SPC(20)"DIZAYN EDILEN FIRINA AIT BILGILER"
1140 PRINT #q,SPC(20)"===== "
1150 PRINT #q,
1160 PRINT #q,SPC(20)"Firin İç Hacmi = ";H;" dm "
1170 PRINT #q,SPC(20)"Firinın Dikabileceği Maksimum sıcaklık = ";T;" C"
1180 PRINT #q,
1190 PRINT #q,
1200 PRINT #q,
1210 PRINT #q,SPC(20)"* * * * * "

```

```

120 PRINT #q,
130 PRINT #q,SPC(20)" TACO Grafite Pota Katalogundan Alinan Pota Diculeri"
140 PRINT #q,SPC(20)"=====
150 PRINT #q,
160 PRINT #q,SPC(20)"Yukseklk Agiz Capi Taban Capi Hacin"
170 PRINT #q,SPC(20)"-----"
180 PRINT #q,
190 PRINT #q,USING " ##### ## # ## #";Y,AC,TC,H
200 PRINT #q,SPC(20)"-----"
210 PRINT #q,
220 PRINT #q,SPC(20)"* * * * * "
230 PRINT #q,
240 PRINT #q,SPC(20)" Sormas Tugla Katalogundan Alinan Tugla Diculeri"
250 PRINT #q,SPC(20)"=====
260 PRINT #q,
270 PRINT #q,SPC(20)" A B C L Rd Ri"
280 PRINT #q,SPC(20)"-----"
290 PRINT #q,
300 PRINT #q, USING " ### ## ## ## ## ##";A,B,C,L,RD,RI
310 PRINT #q,
320 PRINT #q,SPC(20)"-----"
330 PRINT #q,
340 PRINT #q,SPC(20)"* * * * * "
350 PRINT #q,
360 PRINT #q,SPC(20)"Tugla ve Harc Ozellikleri SORMAS Tugla Katalogundan Alinmistir."
370 PRINT #q,SPC(20)"=====
380 PRINT #q,
390 PRINT #q,SPC(20)"Tuglanin Dikabilecegi sicaklik=";T;" C"
400 PRINT #q,SPC(20)"Tugla Adi =";ADI#
410 PRINT #q,SPC(20)"Isi Iletim Katsayisi =";IK;" Gkcal/m Chi"
420 PRINT #q,
430 PRINT #q,SPC(20)"=====
440 IF Z<=4 THEN GOTO 1450 ELSE GOTO 1550
450 'Tuglanin Kimyasal Ozellikleri
460 PRINT #q,
470 PRINT #q,SPC(20)" Tuglanin Kimyasal Kompozisyonu."
480 PRINT #q,SPC(20)"=====
490 PRINT #q,SPC(20)" SiO Al O Fe O TiO CaO MgO Na O K O"
500 PRINT #q,SPC(20)" % % % % % % % % %"
510 PRINT #q,SPC(20)"-----"
520 PRINT #q, USING" ###.# ##.# ##.# ##.# ##.# ##.# ##.#";B1(Z),B2(Z),B3(Z),B4(Z)
),B6(Z),B7(Z),B8(Z)
530 GOTO 1620
540 PRINT #q,
550 PRINT #q,SPC(20)" Tuglanin Kimyasal Kompozisyonu."
560 PRINT #q,SPC(20)"=====
570 PRINT #q,SPC(20)" MgO Cr O CaO SiO Al O Fe O "
580 PRINT #q,SPC(20)" % % % % % %"
590 PRINT #q,SPC(20)"-----"
600 PRINT #q, USING" ###.# ##.# ##.# ##.# ##.# ##.#";B9(Z),B10(Z),B11(Z),B12(Z),B13(Z),B14(Z)
610 PRINT #q,
620 PRINT #q,SPC(20)"* * * * * "
630 PRINT #q,
640 'Harc Cinsi ve Adi
650 IF T>0 AND T<1300 THEN PRINT #q,SPC(20)"Harc Cinsi Al-30 Olmalidir."
660 IF T>1301 AND T<1400 THEN PRINT #q,SPC(20)"Harc Cinsi Al-38 Olmalidir."
670 IF T>1401 AND T<1500 THEN PRINT #q,SPC(20)"Harc Cinsi Al-42 Olmalidir."

```

```

680 IF T>1501 AND T<1750 THEN PRINT #q,SPC(20)"Harc Cinsi A1-46 Olmalidir."
690 H=y*R162*PI/1000000
700 IF T>=1000 THEN GOTO 1710 ELSE GOTO 1790
710 IF H>0 AND H<=20 THEN F=4
720 IF H>20 AND H<=40 THEN F=5.5
730 IF H>40 AND H<=60 THEN F=6.5
740 IF H>60 AND H<=80 THEN F=7.5
750 IF H>80 AND H<=100 THEN F=25
760 IF H>100 AND H<=200 THEN F=30
770 IF H>200 AND H<=300 THEN F=40
780 GOTO 1860
790 IF H>0 AND H<=20 THEN F=2.5
800 IF H>20 AND H<=40 THEN F=3.5
810 IF H>40 AND H<=60 THEN F=4.5
820 IF H>60 AND H<=80 THEN F=5
830 IF H>80 AND H<=100 THEN F=15
840 IF H>100 AND H<=200 THEN F=20
850 IF H>200 AND H<=300 THEN F=25
860 PRINT #q,SPC(20)"FIRIN GUCU=";F;" kWatt"
870 F=F*1000
880 F1=F/3
890 ' tel cinsi tayini
900 IF T<1000 THEN PRINT #q,SPC(20)"Tel Cinsi Nikrothal 40"
910 IF T>=1000 AND t<1100 THEN PRINT #q,SPC(20)"Tel Cinsi Kanthal DSD veya Nikrothal 60"
920 IF T>=1100 AND t<1200 THEN PRINT #q,SPC(20)"Tel Cinsi Kanthal A"
930 IF T>=1200 AND t<1300 THEN PRINT #q,SPC(20)"Tel Cinsi Kanthal A1"
940 IF T>=1300 AND t<1300 THEN PRINT #q,SPC(20)"Tel Cinsi Kanthal A1"
950 PRINT "Tespit edilen tel cinsine gore asagidaki degerleri giriniz"
960 INPUT "Tablo 3.7'den Ct sicaklik faktorunu giriniz=";CT
970 INPUT "Tablo 3.8'den ozdirenci giriniz=";RO
980 INPUT "Tablo 3.6'dan yuzey yukunu giriniz=";W
990 RT=38062/F
000 R20=RT/CT
010 D=(1/2.91)*((F1/380)62*RO/W*CT)6(1/3)
020 PRINT "Hesaplanmis olan d capina en yakin degeri Tablo 3.9'dan bulup su degerleri giriniz"
030 PRINT "Hesaplanmis olan tel capi = ";d
040 INPUT "Sectigioniz Tel Capi=";d
050 INPUT "Telin 1 metresinin direnci";RM
060 INPUT "Telin 1 metresinin agirligi";GM
070 L=R20/RM
080 LT=L*3
090 GTOF=LT*GM
100 DD=7*D
110 W1=1000*LT/((DD-D)*PI)
120 LW=W1*D
130 S=D*3
140 LA=W1*S
150 PRINT #q,
160 PRINT #q,SPC(20)"           Tele ait bilgiler."
170 PRINT #q,SPC(20)"-----"
180 PRINT #q,
190 PRINT #q,SPC(20)"Sicaklik Faktoru      = ";CT
200 PRINT #q,SPC(20)"Yuzey Yuku              = ";W;" W/cm"
210 PRINT #q,SPC(20)"Ozdirenci                = ";RO;" ohm mm/m"
220 PRINT #q,SPC(20)"Firin Gucu                = ";F;" Watt"
230 PRINT #q,SPC(20)"Bir Faza Gelen Guc      = ";INT(f1);" Watt"

```

```
240 PRINT #q,SPC(20)"Tel Capi          = ";D;"mm"
250 PRINT #q,SPC(20)"1 metre tel direnci = ";RM;"ohm/m"
260 PRINT #q,SPC(20)"1 metre tel agirligi= ";GM;"Gram/m"
270 PRINT #q,SPC(20)"Toplam Tel Boyu     = ";INT(lt);"m"
280 PRINT #q,SPC(20)"Toplam Tel Agirligi = ";INT(qtop);"gram"
290 PRINT #q,SPC(20)"Spiral Capi        = ";DD;"mm"
300 PRINT #q,SPC(20)"Hatve              = ";S;"mm"
310 PRINT #q,SPC(20)"Sarim Adedi         = ";INT(W1)
320 PRINT #q,SPC(20)"Kapali Spiral Boyu = ";INT(lw);"mm"
330 PRINT #q,SPC(20)"Acik Spiral Boyu   = ";INT(la);"mm"
340 IF T>=1000 THEN PRINT #q,SPC(20)"Izocam Kalinligi = 8 cm" ELSE PRINT #q,SPC(20)"Izocam Kalinligi = 5 cm"
350 STOP
360 END
```

DIZAYN EDILEN FIRINA AIT BILGILER

Fırın İc Hacmi = 3.2 dm³
 Fırının Çıkabileceği Maksimum sıcaklık = 950 °C

TACO Grafıt Pota Katalogundan Alınan Pota Ölçüleri

Yükseklik	Agız Çapı	Taban Çapı	Hacim
230	185	125	3.2

Sormas Tuğla Katalogundan Alınan Tuğla Ölçüleri

A	B	C	L	Rd	Ri
237	150	100	100	275	175

Tuğla ve Harç Özellikleri SORMAS Tuğla Katalogundan Alınmıştır.

Tuğlanın Çıkabileceği sıcaklık= 950 °C
 Tuğla Adı =SOR KIZ 70
 İsi İletim Katsayısı = 0.2 kcal/m²Ch.

Tuğlanın Kimyasal Kompozisyonu.

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
%	%	%	%	%	%	%	%
75.0	20.0	4.5	1.0	1.5	1.0	1.5	2.0

Harç Cinsi Al-30 Dımalıdır.
 FIRIN BÜDÜ= 3.5 kWatt
 Tel Cinsi Nikrothal 40

Tele ait bilgiler.

Sicaklik Faktoru	=	1.21
Yuzey Yuku	=	2.5 W/cm ²
Ozdirenc	=	1.04 ohm mm/m
Firin Gucu	=	3500 Watt
Bir Faza Gelen Guc	=	1166 Watt
Tel Capi	=	0.6 mm
1 metre tel direnci	=	3.85 ohm/m
1 metre tel agirligi	=	2.35 Gram/m
Toplam Tel Boyu	=	26 m
Toplam Tel Agirligi	=	62 gram
Spiral Capi	=	4.2 mm
Hatve	=	1.8 mm
Sarim Adedi	=	2349
Kapali Spiral Boyu	=	1409 mm
Acik Spiral Boyu	=	4228 mm
Izocam Kalinligi	=	5 cm

5. NİTRÜRASYON DENEYLERİ

Bu bölümde yalnızca tuz banyosunda nitrürasyon deneyleri yapılmıştır. Günümüzde en çok kullanılan nitrürasyon tipi olması ve gaz ortamda nitrürasyona göre daha kısa sürelerde yapılması nedeniyle tuz banyosunda nitrürasyon deneyleri tercih edilmiştir.

5.1. Deneylerde Kullanılan Cihazlar

Nitrürasyon deneyleri laboratuvar tipi elektrikli bir tav fırınında yapılmıştır. Bu fırının dizaynı ve imali laboratuvarda yapılmıştır. Fırının iç hacmi 2 dm^3 , çıkabileceği maksimum sıcaklık $800 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir. Fırın nikrothal 40 tipi rezistans teli ile ısıtılmıştır. Yalıtım 2 cm kalınlığında izocam ve bunun dışında sac muhafaza ile sağlanmıştır. Rezistans teli direkt olarak refrakter malzeme üzerine yerleştirilmiştir. Fırın içindeki pota Cr Ni alaşımlı paslanmaz çelikten imal edilmiştir. Fırının ısı yükü 1.2 W/cm^2 olarak hesaplanmıştır. Fırın $600 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklığa 25 dakikalık bir sürede çıkabilmektedir. Fırının sıcaklık kontrolü hassas bir termostat ve termokupl yardımı ile yapılmıştır.

5.2. Deneye Tabi Tutulan Malzemeler

Nitrürasyon deneyleri için içinde nitrür yapıcı elementler içeren malzemelerden 41 Cr 4 ve 50 CrV 4 seçilmiştir. V ve Cr nitrür yapıcı elementlerdir. Bu malzemelerin kimyasal kompozisyonları tablo 5.1 de verilmiştir.

41 Cr 4 ve 50 CrV 4 malzemelerinin seçiminde vanadyumun tek başına nitrürasyona etkisi gözlenmek istenmiştir. Her iki malzemenin içerdiği alaşım elementlerinin yüzdeleri hemen hemen aynıdır. Yalnızca 50 CrV 4 % 0.1-0.2 oranında V içermektedir.

Tablo 5.1: Deneye tabi tutulan malzemelerin kimyasal kompozisyonları. (Stahlschlüssel, 1986).

DIN no	Sembolü	Kimyasal Kompozisyon (%)						
		C	Si	Mn	P	S	Cr	V
1.7035	41 Cr 4	0.45	0.4	0.9	0.035	0.03	1.2	-
1.8159	50 CrV 4	0.55	0.4	1.1	0.035	0.03	1.2	0.2

5.2. Deneylerin Yapılışı

Deneyler iki ayrı sıcaklık ve her malzeme için iki ayrı sürede yapılmıştır. Deney süreleri 3.5 saat ve 5 saattir. Sıcaklıklar ise 570 °C ve 600 °C'dir. Deney süreleri kısa tutulduğundan sıcaklıklar üst sınırlarda alınmıştır.

Parçalar nitrürasyon işlemine tabi tutulmadan önce 850 °C sıcaklıkta yarım saat normalize edilmiştir. Böylece homojen bir yapı elde edilmiştir.

Nitrürasyon işleminde ilk olarak 540 yatak tuzu fırına konmuş ve 570 °C de eritilmiştir. Aktiviteyi arttırmak için yatak tuzu eridikten sonra C3 nitrürasyon tuzları ilave edilmiştir. Banyo tamamen sıvı hale geldikten sonra ilk deney için parçalar fırına konmuştur. Nitrürasyon işleminin sonu fırından alınan parçalar ılık su ile yıkanarak tuzdan arındırılmış ve parçalar kalıplanıp hazırlandıktan sonra metalografik olarak incelemeye alınmıştır.

5.3. Deney Sonuçları ve İrdelenmesi

570 °C , 3.5 saat sonunda elde edilen değerler;

41 Cr 4 için; Sertlik: 600 VS, Nitrürasyon derinliği: 10 µ
50 CrV 4 için; Sertlik: 640 VS, Nitrürasyon derinliği: 15 µ

570 °C , 5 saat sonunda elde edilen değerler;

41 Cr 4 için; Sertlik: 610 VS, Nitrürasyon derinliği: 15 µ
50 CrV 4 için; Sertlik: 640 VS, Nitrürasyon derinliği: 15 µ

600 °C , 3.5 saat sonunda elde edilen değerler;

41 Cr 4 için; Sertlik: 610 VS, Nitrürasyon derinliği: 15 µ
50 CrV 4 için; Sertlik: 650 VS, Nitrürasyon derinliği: 20 µ

600 °C , 5 saat sonunda elde edilen değerler;

41 Cr 4 için; Sertlik: 610 VS, Nitrürasyon derinliği: 20 µ
50 CrV 4 için; Sertlik: 660 VS, Nitrürasyon derinliği: 25 µ

570 °C , 1.5 saat sonunda heriki malzemedede nitrürasyon tabakasına rastlanmamıştır.

Nitrürasyon deneyleri sonucu, deneye tabi tutulan tüm parçalarda belli ölçülerde nitrürasyon tabakasına rastlanmıştır. Yalnızca 570 °C sıcaklıkta ve 1.5 saat süre ile yapılan deneyde herhangibir nitrürasyon tabakasına rastlanmamıştır. Bunun nedeni sürenin kısa olması ve deneyin yapıldığı fırının yeterli düzeyde yalıtılmamış olmasıdır. Yapılan deneylerde, en az 10 µ en çok 25 µ nitrürasyon derinliği elde edilmiştir. Bu değerler beklenen düzeydedir. Fakat hava akımının sürekli sağlandığı ve pota basıncının yükseltilebildiği fırınlarda daha yüksek derinlik değerleri elde edilebilir.

Nitrürasyonda yaklaşık olarak 90 µ'a kadar nitrürasyon derinliği elde edilebilmektedir. Yapılan deneylerde elde edilen değerlerin bu seviyeye erişmemesi ortamla ve malzeme ile ilgilidir. Parçalarda nitrür yapıcı alaşım elementlerinin bulunması azot difüzyonunu geciktirmiştir. Bunu önlemek için deney süresinin uzun tutulması gerekmektedir.

6. GENEL SONUCLAR

Nitrürasyon işleminin uygulandığı parçalar için sonuç olarak şunlar söylenebilir.

1. Nitrürasyon işlemine tabi tutulan parçalarda ortalama 10 μ ile 90 μ arasında nitrürasyon derinliği elde edilebilmektedir. Fazla nitrürasyon derinliği istendiği takdirde süre uzun tutulmalı ve sıcaklık arttırılmalıdır. Süre ve sıcaklık dışında nitrür yapıcı elementlere sahip çeliklerin nitrürasyonu daha iyi sonuç vermektedir.
2. Nitrürasyonda işlem tamamlandığı zaman sertlik elde edilmiş olur. Ayrıca bir sertleştirme işlemi yapılmasına gerek yoktur.
3. Yüzey sertliği aşınma mukavemetini arttırır. Nitrürasyon ile sertleştirilmiş yüzeylerde 700-1000 VS arasında sertlik değerlerine ulaşılabilir. Ayrıca nitrürleşmiş yüzeylerde sürtünme katsayısı düşer, dolayısıyla sürtünmeye karşı aşınma direnci artar.
4. Nitrürasyon işlemine tabi tutulmuş çelikler temperlemeye karşı yüksek direnç gösterirler. Yüksek sıcaklıklarda sertliklerini kaybetmezler ve çalışabilirler.
5. Nitrürasyon işlemi basınç kontrolü yapılabilen ve sürekli hava akımı sağlanabilen fırınlarda yapılırsa daha kısa sürelerde daha derin tabakalar elde edilmesine imkan verir. Tuz banyolu nitrürasyonda banyo içinden sürekli hava akımı geçirilmesi, banyodaki tuzların aktivitesini sabit tutmak için en iyi yöntemdir.
6. Nitrürasyon işlemi diğer yüzey sertleştirme işlemleri ile karşılaştırılacak olursa birçok avantaja sahiptir. Gaz nitrürasyonunda işlem süresi uzundur, bu dezavantaj sıvı nitrürasyonla ortadan kaldırılmaktadır. Bu nedenle tuz banyosunda nitrürasyon işlemi süre açısından daha ekonomiktir.

7. Nitrürasyon işleminde kullanılan azot verici ortam son derece zehirlidir. Bu nedenle güvenlik önlemleri alınmadan (gaz maskesi eldiven v.b.) nitrürasyon işlemi yapılmamalıdır.
8. Nitrürasyon tav fırını dizaynı yapılırken gözönüne alınması gereken önemli özelliklerden biri pota seçimidir. Nitrürasyon işlemi uzun süre yapılacaksa pota titanyum, grafit veya inkonel gibi malzemelerden seçilmelidir. Bir kere kullanım için, sac potalar kullanılabilir.

Sonuç olarak, nitrürasyon işlemi yapılacağı zaman fırın, malzeme cinsi, istenen nitrürasyon derinliği gibi faktörler gözönüne alınmalı ve işlem yapılmalıdır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- ANIK S., ANIK E. Malzeme Bilgisi Ve Muayenesi. Kutulmuş Matbaası 1977.
- ASM International Metals Handbook Vol.4 Heat Treatment. 1985
- BOYER H. E. Case Hardening Of Steel. ASM International 1987.
- BULGACH A. A. SOLODKIN G. A. et.all. Computer Simulation Of The Kinetics Of The Growth Of Nitrides In Nitrided Layers. Metal. Science May 1984.
- ÇİĞDEMOĞLU M. Fırın Atmosferi Ve Karbon Kontrolü. Makina Mühendisleri Odası Yayını 1970.
- ÇİĞDEMOĞLU M. Endüstri Fırınları. Makina Mühendisleri Odası Yayını 1970
- DAWES C. and COOKSEY A. Surface Treatment Of Engineering Components. 1985.
- HEILMAN P. Modern Heat Treatment Processes And Systems. Metallurgia June-1985.
- PAN J. et.al. Mathematical Model Of Controlled Nitriding And Its Application. Heat Treatment Shanghai 1983.
- PONUHALIN V. ALEKSANDROV N. Nitriding Of Restored Crankshafts. Metal Science February-1984.
- PROKOSHKIN A. et.al. Nitriding Of Tantalum. Metal Science May-1984.
- RECEBOĞLU O. A. Çeligin Sertleştirilmesi Ve Islahı. İ.T.Ü Türk Teknik Haberleşme Merkezi Yayını 1969.
- SAFOĞLU R. A. Malzeme Bilimine Giriş. Kipaş Dağıtım-cılık 1980.

SAGIŞMAN M. Çelik Nedir. Osmanbey Matbaası 1971.

SOSHKIN S. et.al. Surface Of The Diffusion Layer With Vacuum Nitriding. Metal Science July-1984

TEKİN A. Çelik Ve Isıl İşlemi Bofors El Kitabı. 1984.

Alarko Rezistans Tel Katalogu 1988.

Sörmaş Refrakter Malzemeler Ve Bağlayıcılar Katalogu 1988.

Taco Grafit Pota Katalogu 1988.

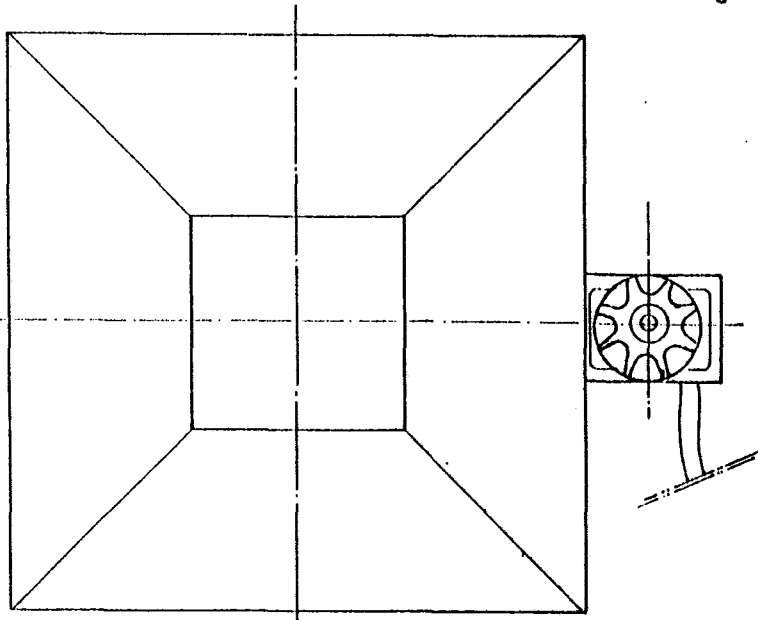
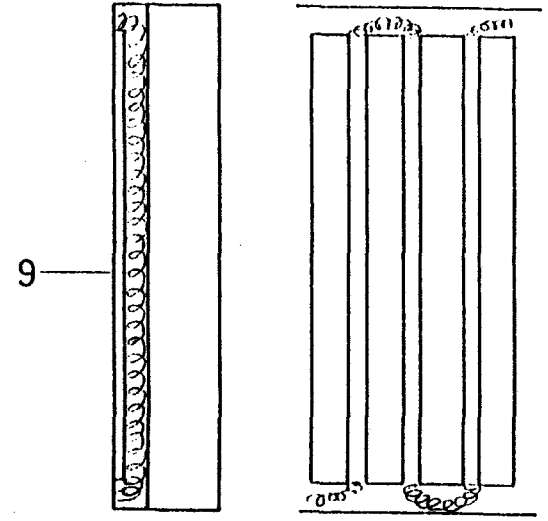
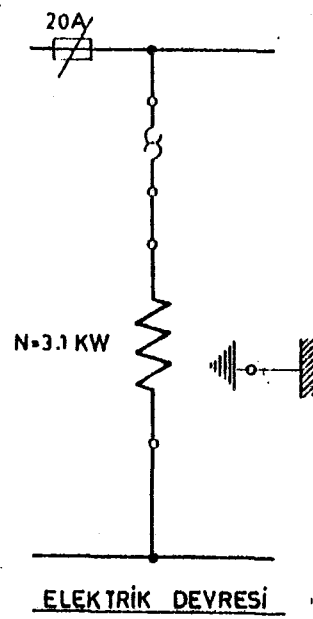
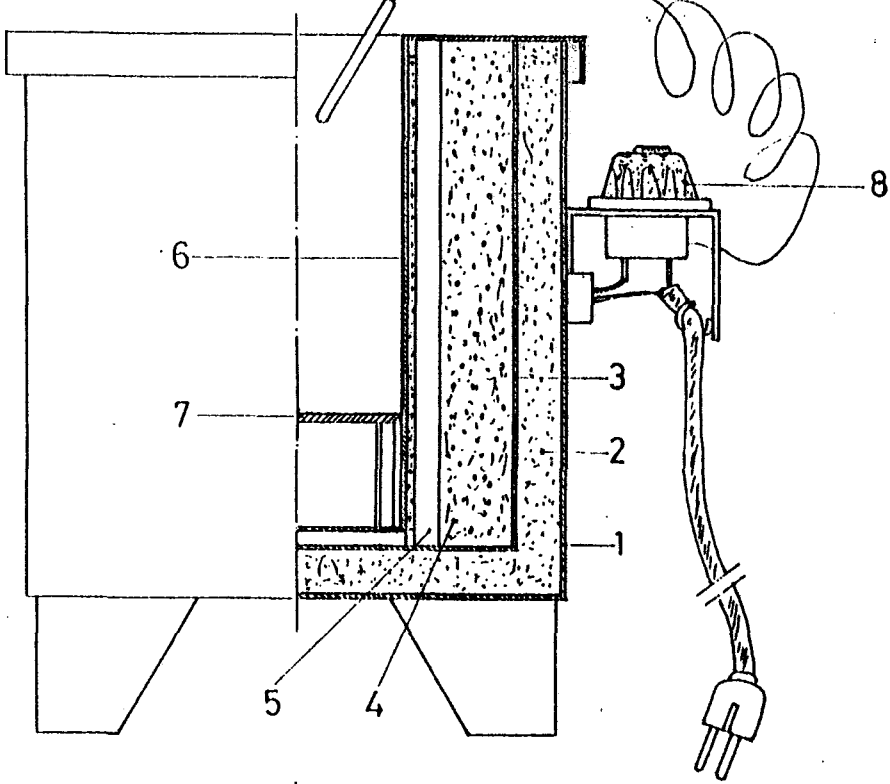
STAHL-SLUSSEL Çelik Katalogu 1986.

Asil Çelik Katalogu 1981.

EK - 1:

Deneylerin yapıldığı fırına ait teknik resimler.

1. Fırının komple resmi.
2. Fırın dış kutusu.
3. Dış kutu yan sacları.
4. Dış kutu ayakları.
5. Pota.
6. Pota yan sacları.
7. Pota üst sacları.
8. Pota üst sacları.
9. Izgara.
10. Izgara üst sacı.



1	Ocak teli	9	Cr Ni	
1	Termostat	8		
1	Izgara	7	x 12 Cr Ni 18	
1	Pata	6	x 12 Cr Ni 18	
1	Ocak tuğlası	5		
1	Tuğla çamuru	4		
3	İç kutu	3	St 37	
1	Perlit	2		
1	Dış kutu	1	St 37	
ADET	İSİM	Montaj No	Malzeme	Açıklamalar

1/10

ÇİZEN D. A. Çelik

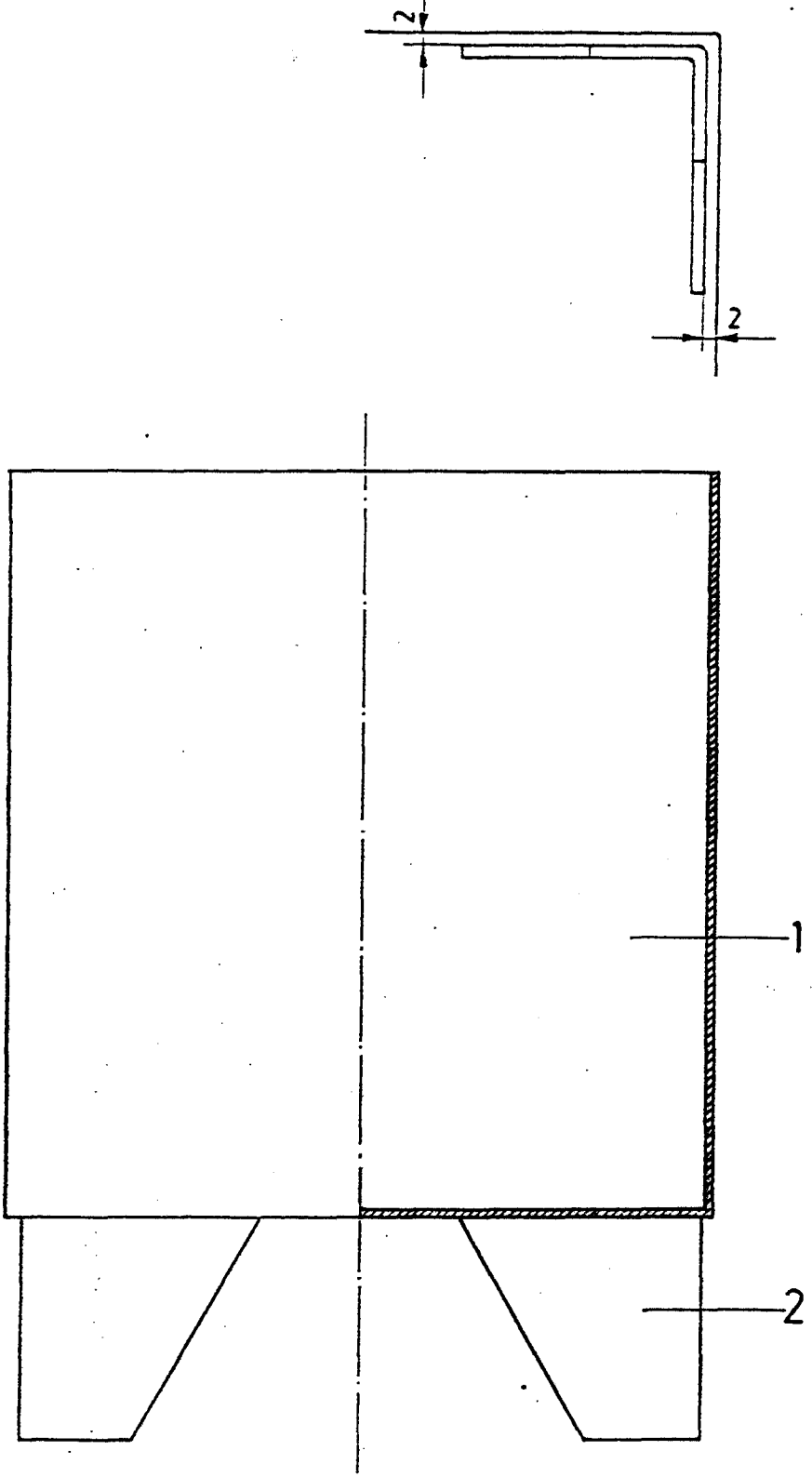
KONTROL O.Ş. Komac

A. Ü. M. M. F

ÖLÇEK

TUZ BANYOSU
(KOMPLE)

Resim No: 1



1/2.5

ÇİZEN O.N. Gelik

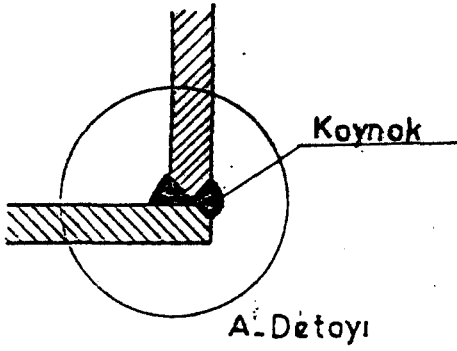
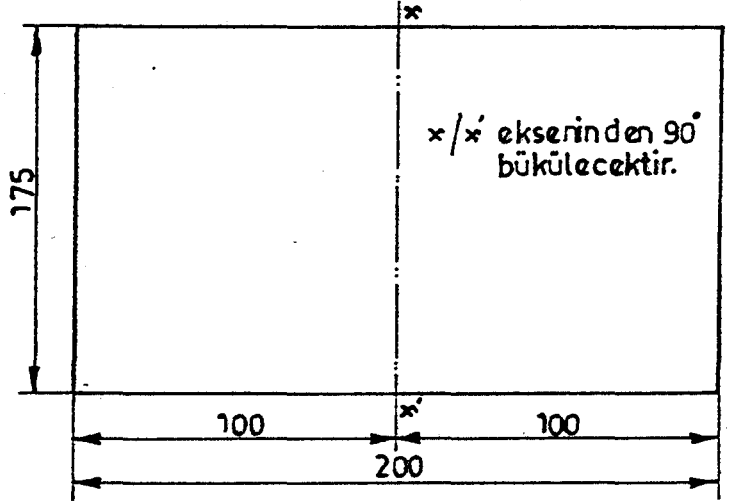
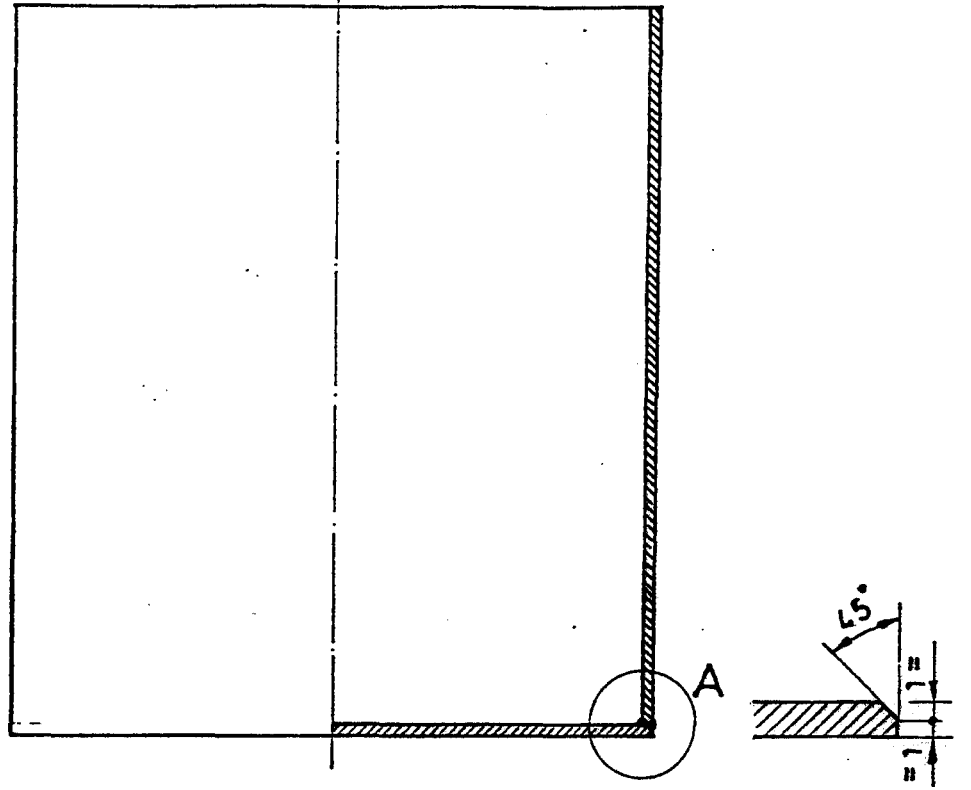
KONTROL O.Ş.Komac

A . Ü . M . M . F

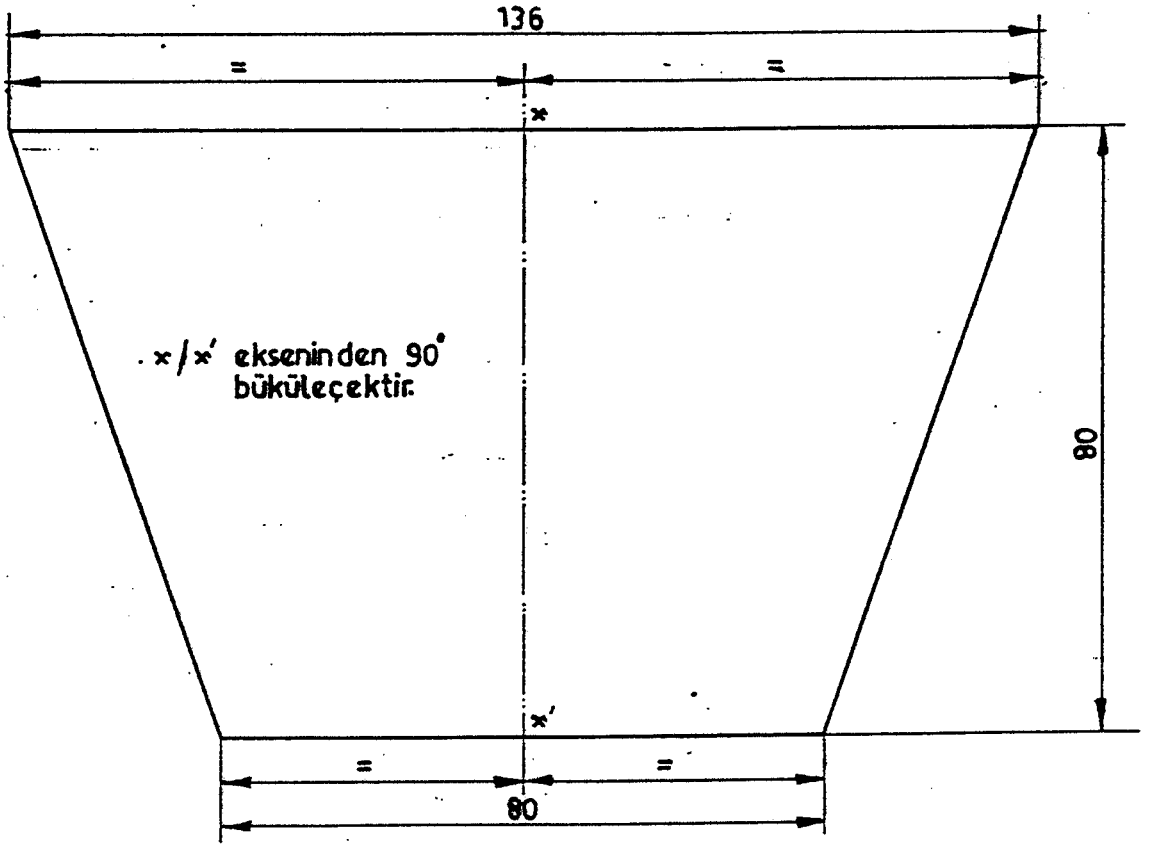
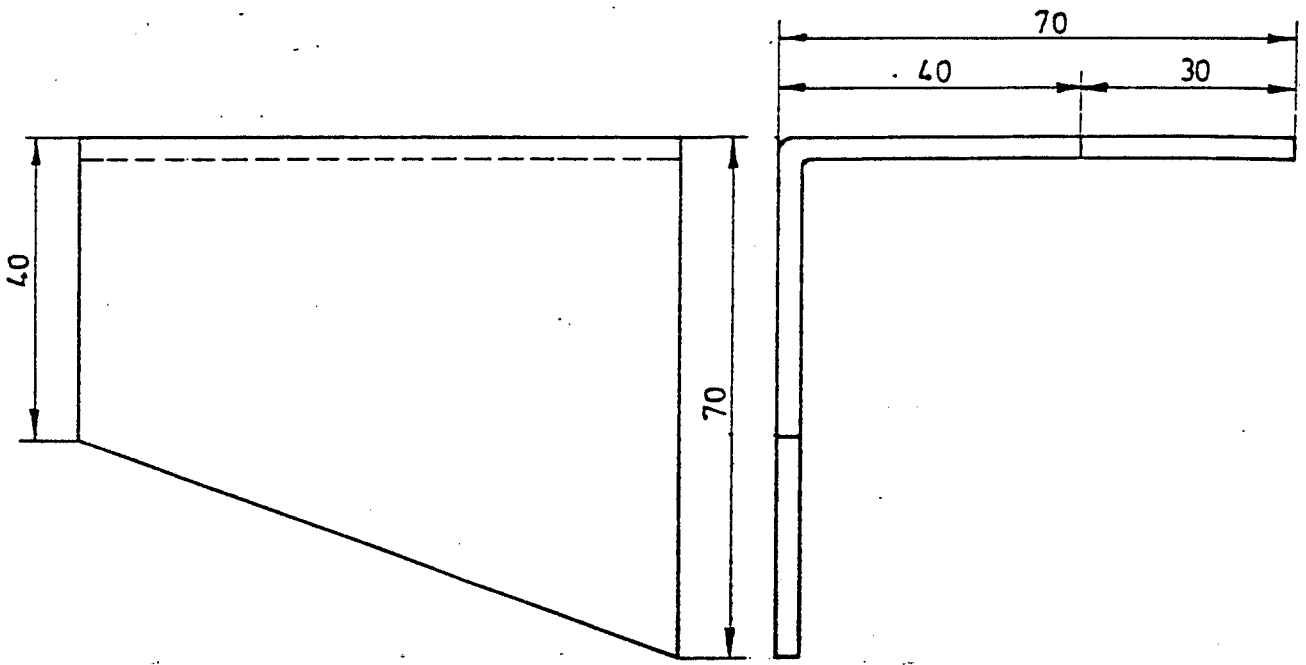
ÖLÇEK

TUZ BANYOSU DIŞ KUTUSU

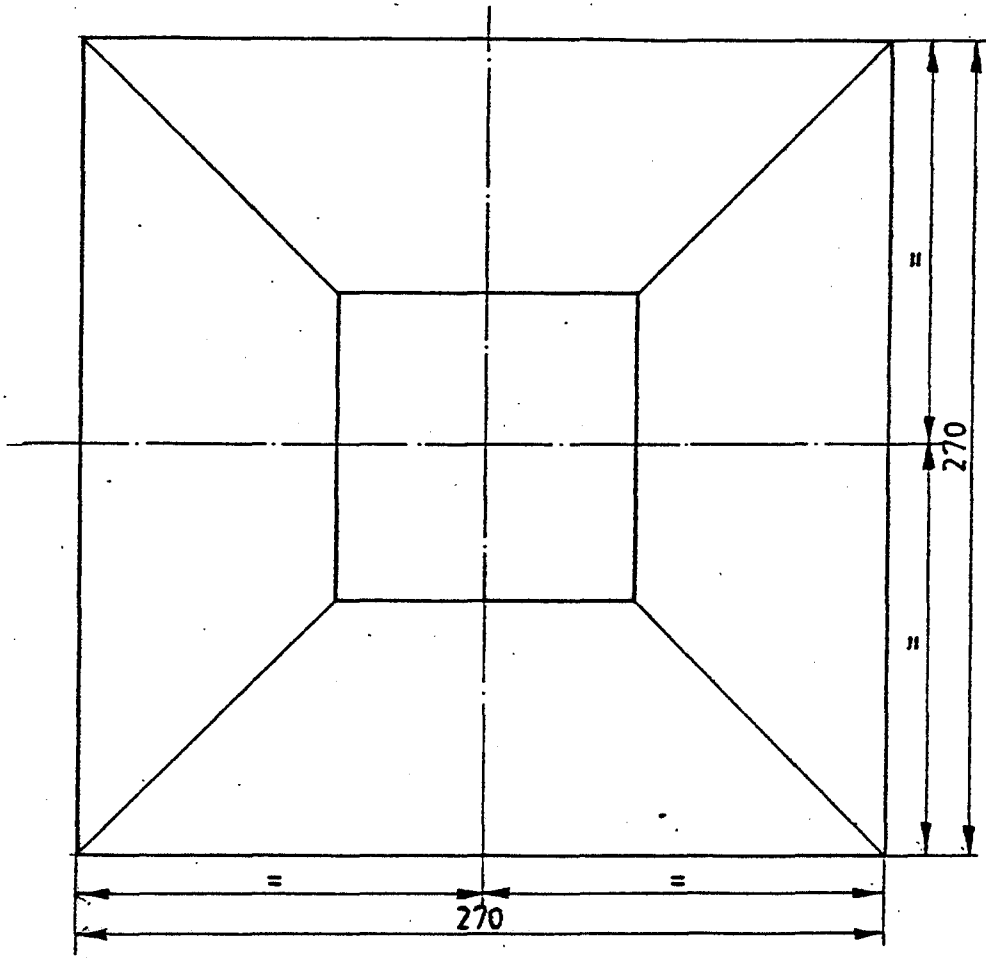
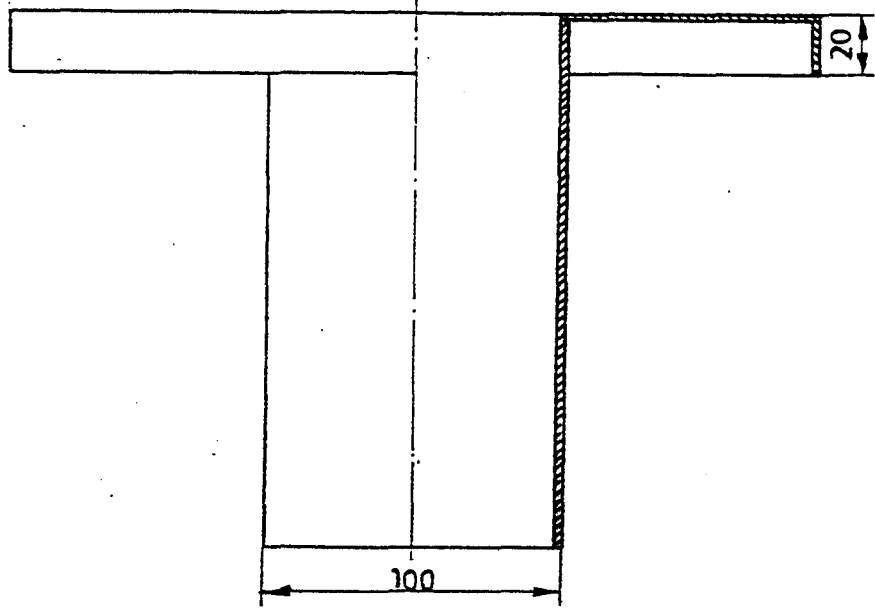
Resim No : 2



1/2.5 2/1	CİZEN	O.N.Çelik	A . Ü . M . M . F
	KONTROL	O.Ş.Komac	
ÖLÇEK	DİŞ KUTU YAN SAÇLARI		Resim No: 3



1/1	ÇİZEN	O.N. Çelik	A.Ü.M.M.F
	KONTROL	O.Ş.Koçoç	
ÖLÇEK	TUZ BANYOSU DIŞ KUTU AYAKLARI		Resim No: 4



1/2.5

ÇİZEN

O.N. Gelik

KONTROL

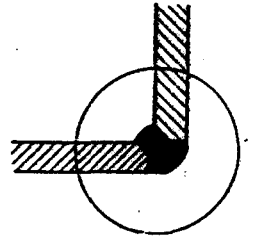
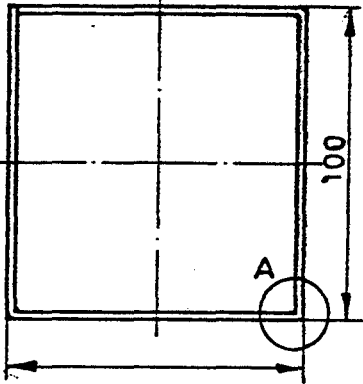
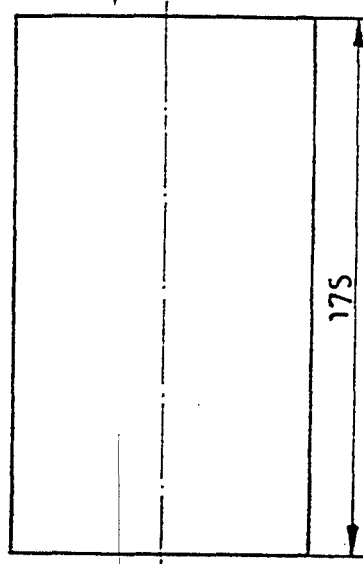
O.Ş.Komacı

A . Ü . M . M . F

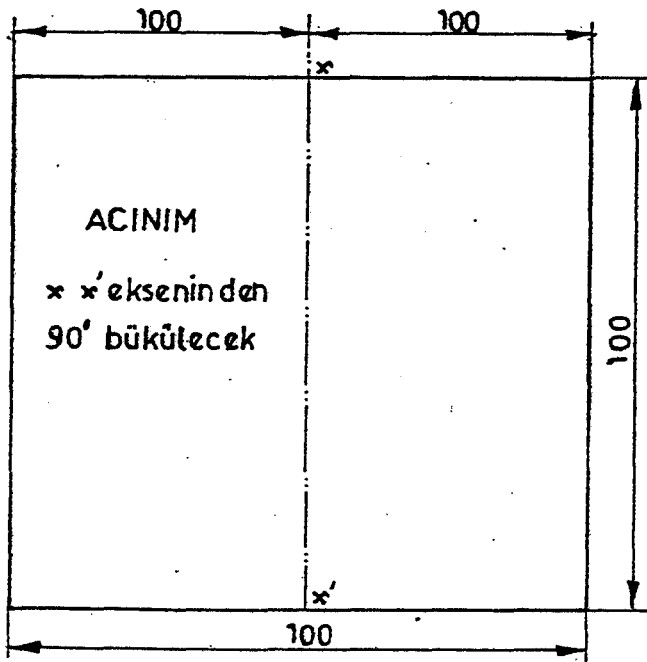
ÖLÇEK

POTA (Komple)

Resim No: 5



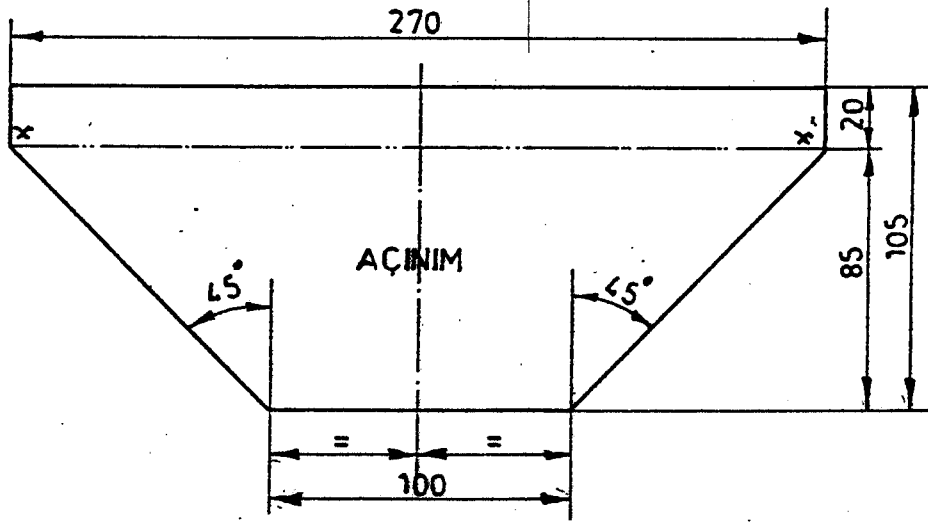
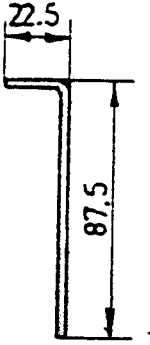
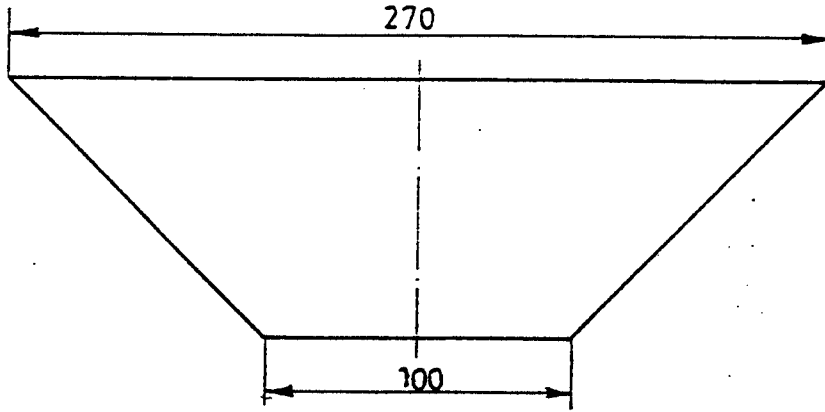
A-Detayı



ACINIM

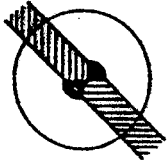
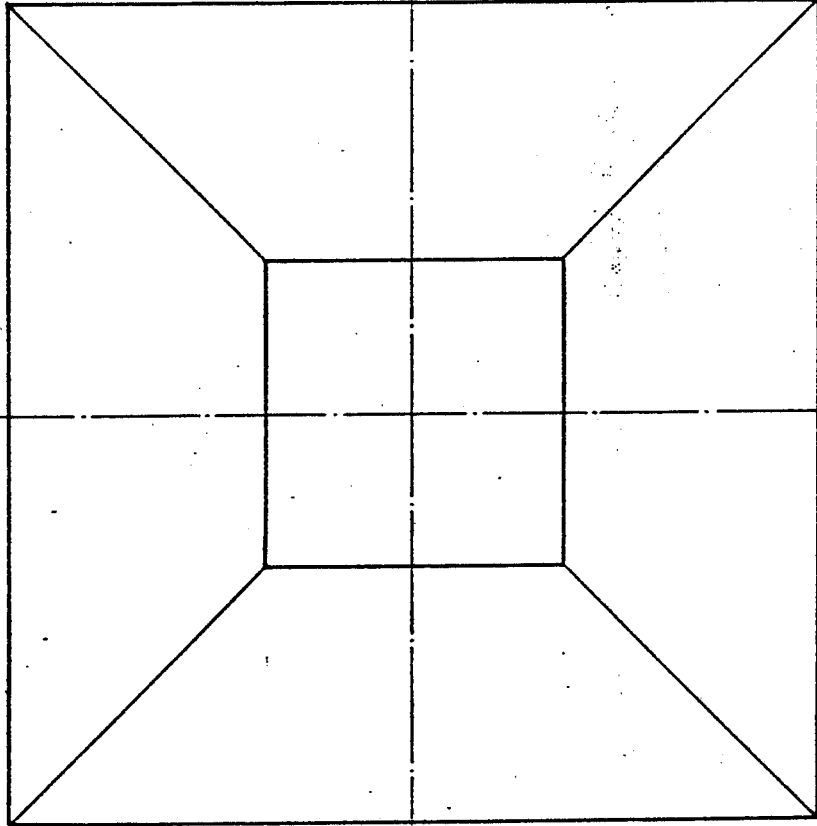
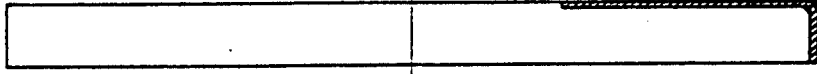
x x' ekseninden
90° bükülecek

1/1 1/2.5	ÇİZEN	O.N. Çelik	A . Ü . M . M . F
	KONTROL	O.S.Komaç	
ÖLÇEK	POTA YAN SAÇLARI (kompie)		Resim No: 6



x x' ekseninde 90° bükülecektir.

1/2.5	ÇİZEN	O.N.Çelik	A.Ü.M.M.F
	KONTROL	O.Ş.Komacı	
ÖLÇEK	POTA ÜST SAÇLARI		Resim No : 7



1/2.5

CİZEN O.N. Gelik

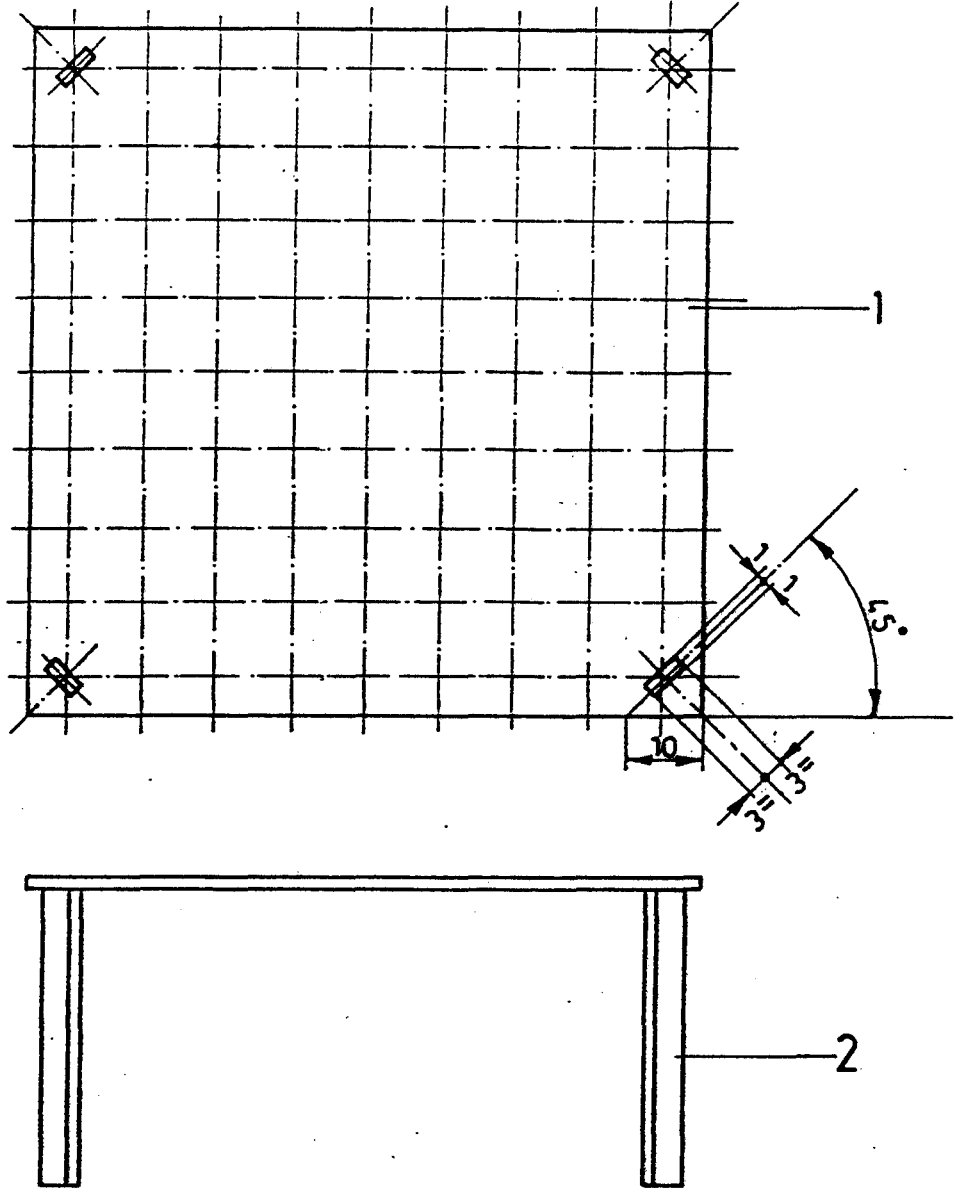
KONTROL O.Ş.Komac

A . Ü . M . M . F

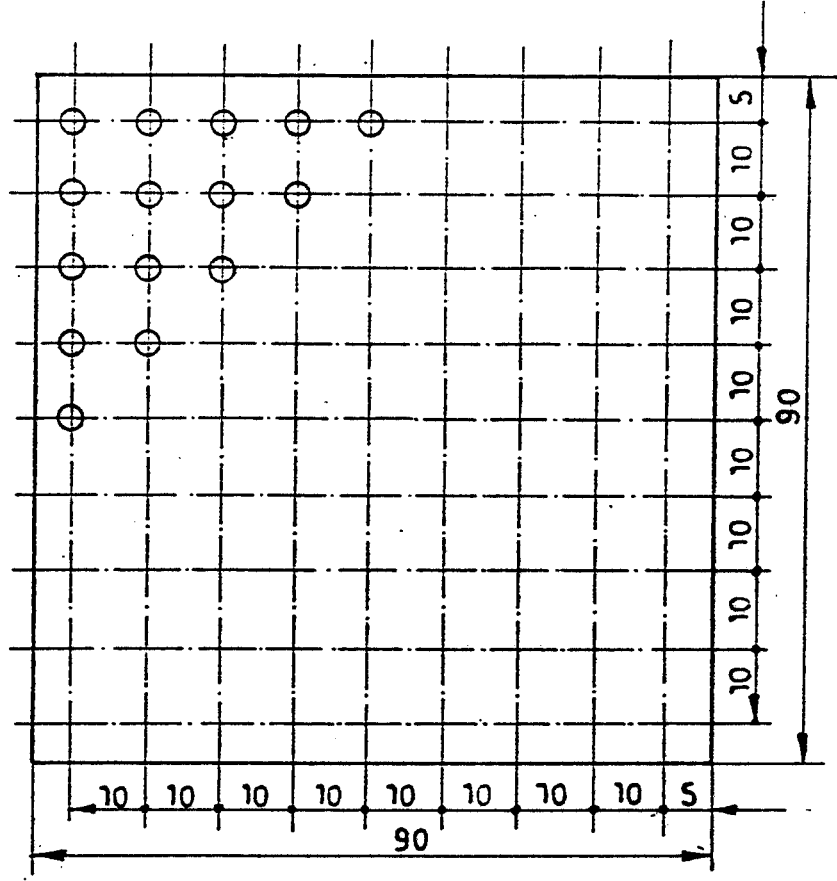
Resim No: 8

ÖLÇEK

POTA ÜST SAÇLARI



1/1	ÇİZEN	O.N. Gelik	A . Ü . M . M . F
	KONTROL	O.Ş.Komuç	
ÖLÇEK	IZGARA (Komple)		Resim No: 9



Kalınlık: 2

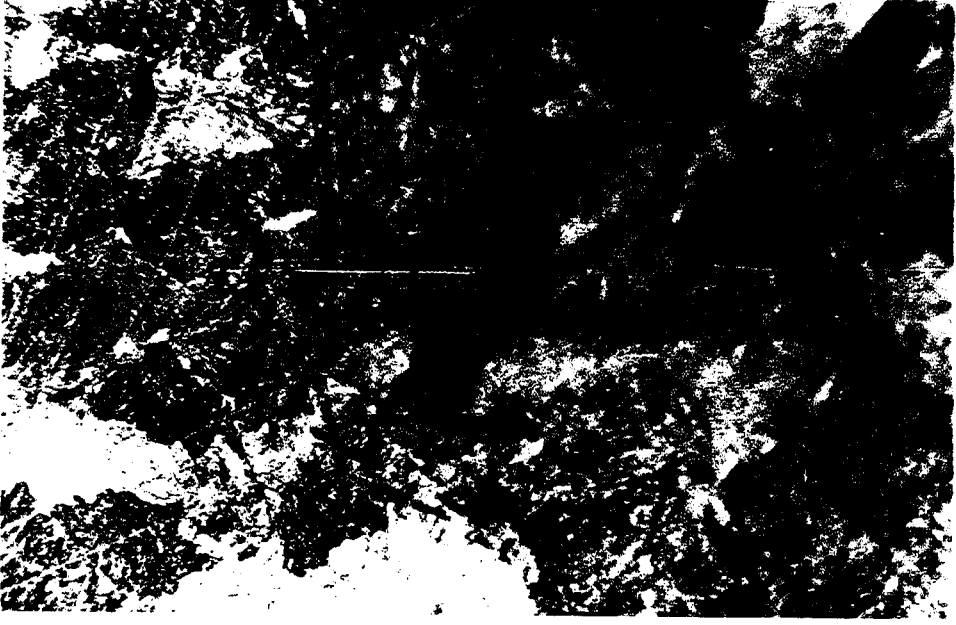
1/1	CİZEN	O.N. Gelik	A . Ü . M . M . F
	KONTROL	O.S.Komac	

ÖLÇEK	IZGARA ÜST SACI	Resim No: 10

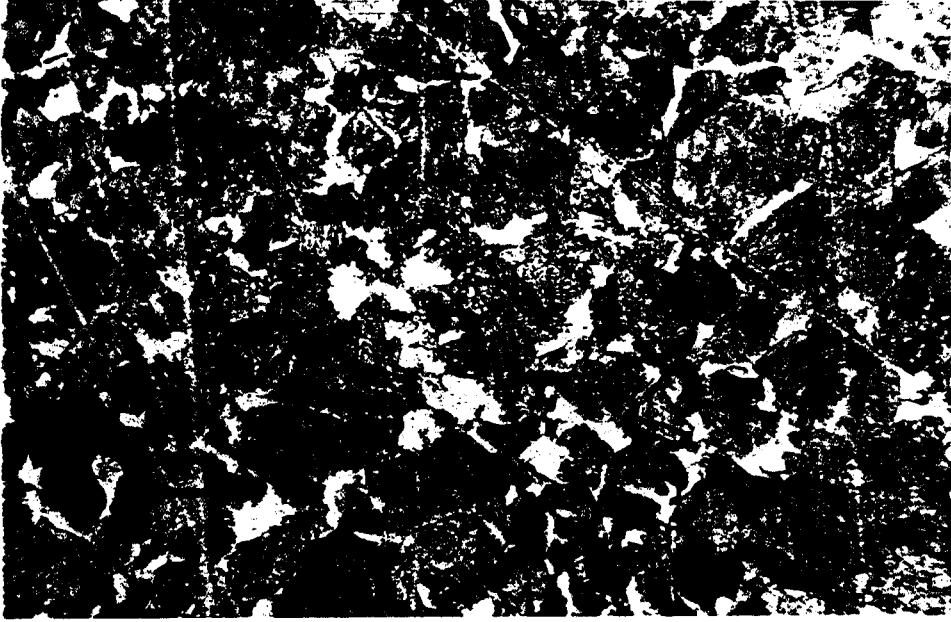
EK - 2:

Deneye tabi tutulan parçaların mikro yapıları.

1. 50 CrV 4 mikro yapısı.
2. 41 Cr 4 mikro yapısı.
3. 50 CrV 4 570 °C, 3.5 saat sonunda oluşan nitrürasyon tabakası.
4. 41 Cr 4 570 °C, 3.5 saat sonunda oluşan nitrürasyon tabakası.
5. 50 CrV 4 600 °C, 3.5 saat sonunda oluşan nitrürasyon tabakası.
6. 41 Cr 4 600 °C, 3.5 saat sonunda oluşan nitrürasyon tabakası.



50 CrV 4 Nitrürasyon İşleminde Önceki Yapı. 400x



41 Cr 4 Nitrürasyon İşleminde Önceki Yapı. 400x



50 CrV 4 570 °C. 3.5 saat. 400x



41 Cr 4 570 °C. 3.5 saat. 400x



50 CrV 4 600 °C. 3.5 saat. 400x



41 Cr 4 600 °C. 3.5 saat. 400x