

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

106298

ISIL İŞLEM FIRINLARINDA KULLANILAN ISI YALITIM
MALZEMELERİNİN ARAŞTIRILMASI, TÜR ve BOYUT
OPTİMİZASYONU

Metalurji Müh. Bedrettin Özgür YALÇIN

FBE Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı Malzeme Programında Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Nişan SÖNMEZ

Prof. Dr. Nişan Sönmez
Doç. Dr. Ahmet EKERİM

Prof. Dr. Hasan Heperken

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

İSTANBUL, 2001

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ.....	i
ŞEKİL LİSTESİ	ii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	iii
ÖNSÖZ	iv
ÖZET	v
ABSTRACT.....	vi
1. GİRİŞ	1
2. ISIL İŞLEMİN TANIMI.....	2
3. ISIL İŞLEM FIRINLARI VE KULLANIM ALANLARI	5
3.1 Kuyu Tipi Fırınlr	6
3.2 İtme Fırınlr	6
3.3 Kaldırma Tabanlı Fırınlr	7
3.4 Döner Tabanlı Fırınlr.....	7
3.5 Makara Tabanlı Fırınlr	7
3.6 Boru Isıtma Fırını	8
3.7 İtme Arabalı Fırın Ve Tünel Fırın	8
3.8 Hızlı Isıtma Fırınları.....	8
3.9 Tambur Fırınlr	9
3.10 Hücre Fırınlr	9
3.11 Çan Tipi Fırınlr	9
3.12 Çekme Fırınları.....	9
3.13 Tuz Banyosu Fırınları	10
3.14 Sarsma Tabanlı Fırınlr	10
3.15 Kule Fırınlr	10
3.16 Kamara Fırınlr.....	10
4. FIRIN YAPI MALZEMELERİ	12
4.1 Refrakter Malzemeler	12
4.1.1 Refrakter Malzemenin Özellikleri.....	12
4.2 Isı İzolasyon Malzemeleri	16
4.2.1 Isı İzolasyon Malzemelerinden İstenen Özellikler	16
4.2.2 Isı İzolasyon Malzemelerinin Gruplara Ayrılması.....	17
4.2.2.1 Organik Esaslı Isı İzolasyon Malzemeleri	17

4.2.2.1.1	Oluklu Mukavalar.....	17
4.2.2.1.2	Pamuk Keçeleri	18
4.2.2.1.3	Tahta Lifli Hafif Yapı Levhaları	18
4.2.2.1.4	Anorganik Bağlama Elemanlı Tahta Lifli Yapı Levhası.....	18
4.2.2.1.5	Halat, Hortum Şeklindeki İzolasyon Malzemeleri.....	18
4.2.2.1.6	Taneli İzolasyon Malzemeleri-Mantar	19
4.2.2	Anorganik Esaslı Isı İzolasyon Malzemeleri	19
4.2.2.2.1	Camyünü.....	19
4.2.2.2.2	Curuf Yünü	22
4.2.2.2.3	Asbest	22
4.2.2.2.4	Kizelgur	22
4.2.2.2.4.1	Toz Halinde Kizelgur	22
4.2.2.2.4.2	Şekillendirilmiş Kizelgur.....	22
4.2.2.2.5	Magnezyum Karbonat..	23
4.2.2.2.6	Magnezit	23
4.2.2.2.7	Perlit	24
4.2.2.2.8	Kaya Yünü	25
4.2.3	Isı İzolasyon Malzemelerinin Fiziksel Özellikleri	28
4.2.3.1	Gözenekli Özgül Ağırlık	28
4.2.3.2	Özgül Isı Ve Nem.....	29
4.2.3.3	Isı İletim Katsayısı	30
5.	ATEŞE DAYANIKLI MALZEMELER.....	31
5.1	Isı İletim Katsayısı Yüksek Olan Ateşe Dayanıklı Malzemeler	31
5.1.1	Grafitli Malzemeler.....	31
5.1.2	Sinterli Malzemeler.....	31
5.1.3	Mağnezitli Malzemeler	32
5.1.4	Silisyum Karbürlü Malzemeler	32
5.2.	Isı İletim Katsayısı Düşük Olan Ateşe Dayanıklı Malzemeler	32
5.2.1	Kromitli Malzemeler.....	32
5.2.2.	Alumina-Silikat Esaslı Malzemeler.....	32
5.2.3	Zirkonyumlu Malzemeler	40
6.	ISI İZOLASYONUNUN AMACI VE GEREKLİLİĞİ.....	41
6.1	Isı İzolasyonunun Temel Çeşitleri	42
6.1.1	Tek Tabakalı İzolasyon.....	42
6.1.2	Katlı İzolasyon	43
7.	ISI GEÇİŞİNİN TEORİK ESASLARI.....	44
7.1	Isı Geçiş Şekilleri.....	44
7.2	Düzlemsel Levhalardaki- Duvar, Tavan- Isı İletimi.....	44
7.2.1	Tek Levha Hali.....	45

	Sayfa
7.2.2 Paralel Levhalar Hali	46
7.2.3 Bitişik Paralel Tabakalardan Meydana Gelmiş Levhalarda Tabaka Kalınlıklarının İstenilen Ara Sıcaklıklara Göre Grafik Yoldan Bulunması	49
7.3 Yüzey Film Katsayısı	51
8. ISIL İŞLEM FIRINLARINDA KULLANILAN ISI İZOLASYON MALZEMELERİNİN BOYUT OPTİMİZASYONU KALINLIKLARININ TESBİTİ	55
8.1 Düz Yüzeylerin Yalıtımının Ekonomik Analizi Ve Kullanılacak İzolasyon Malzemesi Kalınlığı Tespiti	60
8.2 Yalıtım Sonrası Isı Kayıpları	62
8.3 Grafik Yöntemle İzolasyon Kalınlığının Tespiti	63
9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	64
KAYNAKLAR	65
ÖZGEÇMİŞ	66



SİMGE LİSTESİ

F	Yüzey büyüklüğü
K	Isı iletim katsayısı
L	izolasyon kalınlığı
M	Isının maliyeti
Q	Isı geçiş miktarı
R	Isı iletim direnci
t	Zaman
T	Sıcaklık
ΔT	Sıcaklık farkı
y	Yıllık çalışma saati
Y	Toplam maliyet



ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Isıl İşlemde, Genel Olarak İşlem Prosesi	2
Şekil 2.2 Isıl İşlemde İç Ve Dış Isınma Seyri	3
Şekil 2.3 Isıl İşlemde Ön Isıtma Uygulaması	3
Şekil 4.1 Isıl İletkenlik	14
Şekil 4.2 Refrakter Malzemelerin Lineer Genleşme Katsayılarını Sıcaklığa Bağlı Olarak Gösterimi	15
Şekil 4.3 Elektrik İletkenliği	15
Şekil 7.1 Tek levha Halinde Isı İletimi	45
Şekil 7.2 Paralel Levhalar Halinde Isı İletimi	46
Şekil 7.3 İzolasyon kalınlığının Grafik Yoldan Bulunması	49
Şekil 7.4 Tek Levha Halinde Isı Geçışı	51
Şekil 8.1 Düşük sıcaklıkta kullanılan İzolasyon Malzemeleri ve Bunlara Ait Isıl İletkenlik değerleri	56
Şekil 8.2 Orta sıcaklıkta kullanılan İzolasyon Malzemeleri ve Bunlara Ait Isıl İletkenlik değerleri	57
Şekil 8.3 Yüksek sıcaklıkta kullanılan İzolasyon Malzemeleri ve Bunlara Ait Isıl İletkenlik değerleri	58
Şekil 8.4 Ekonomik Yalıtım Kalınlığının Grafik Yoluyla Tespiti	63

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 4.1 Tahta Lifli Yapı Elemanlarının Isı İletim Katsayıları	18
Çizelge 4.2 Bazı Cam Yünü Çeşitlerinin Isı İletim Katsayıları	21
Çizelge 4.3 Diatomit Kizelgur Taşının Muhtelif Özgöl Ağırlık Ve Sıcaklıklardaki Isı İletim Katsayısının Değişimi	23
Çizelge 4.4 115 kg/m ³ Yoğunluğundaki Kayayününün Belirli Sıcaklıklarda Isı İletim Katsayıları	27
Çizelge 4.5 100 kg/m ³ Yoğunluğundaki Kayayününün Belirli Sıcaklıklarda Isı İletim Katsayıları	27
Çizelge 4.6 Organik Ve Anorganik Esaslı İzolasyon Malzemelerinin Muhtelif Gözenekli Özgöl Ağırlıklarında Hacimsel Olarak İhtiva Ettikleri Gözenek Yüzdeleri	28
Çizelge 4.7 Nemin Isı İzolasyon Malzemelerinin Özgöl Isılarına Etkileri	29
Çizelge 4.8 Muhtelif Malzemelerin Özgöl Isı Değerleri	30
Çizelge 4.9 Organik İzolasyon Malzemelerinin 0 °C Sıcaklıkta Muhtelif Özgöl Ağırlıktaki Isı İletim Katsayıları	30



ÖNSÖZ

Yapmış olduğum bu tez çalışmamda, ısıtım fırınlarında kullanılan ısı izolasyon malzemelerinin araştırılması üzerinde çalışmalar yaptım.

Yapmış olduğum bu tezin hazırlanmasında bana her koşulda zaman ayırarak, tezin bitirilmesine yardımcı olan değerli öğretim üyesi Sn. Prof. Dr. Nişan Sönmez'e teşekkür ederim.

Tezimin yazılması süresince yardımlarını benden esirgemeyen Sn. Kadir TEKİRGÖLLÜ'ye, Sn. Orkun Kozanoğlu'na, Sn. Serkan SERTESEN'e, AKM Metalurji Sanayi Ltd. Şti.'ne ve tüm hayatım boyunca her zaman bana maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme teşekkür ederim.



ÖZET

Bu tez çalışmamın amacı ağır sanayide sıklıkla kullanılan ısıtım fırınlarının izolasyonunda yararlanılan malzemelerin incelenmesine yöneliktir.

Tezin ilk bölümünde ısıtım işlemin genel olarak bir tarifi yapılmış ardından da piyasada kullanılan ısıtım fırınlarının genel olarak incelenmesi yapılmıştır. Daha sonraki bölümlerde ise ısıtım fırınlarında kullanılan izolasyon malzemeleri gruplara göre ayrılarak her grup ayrı ayrı olarak incelenmiş ve son yıllarda ısıtım fırınlarında çoklukla kullanılan ateşe dayanıklı malzemeler grubuna giren alümina silikat esaslı seramik elyaf izolasyon malzemelerinden üretilen değişik şekilli malzemelerin özellikleri ve uygulama alanları belirtilmiştir.

Son bölümde ise bu malzemelerin ısı izolasyonuna etkisi ve bununla birlikte en ekonomik ısı izolasyon kalınlığının tespiti yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Isıtım işlemleri, fırınlar, ısı izolasyonu, izolasyon malzemeleri

ABSTRACT

The research work on the materials which are used for thermal insulation of heat treatment furnaces

In the first part, a general description of the heat treatment is given and the heat treatment furnaces which are commonly used in the market are investigated. After this, the insulation materials used in heat treatment furnaces were catagorized into groups to be described one by one. The properties and the application fields of different products, produced from alumina silica based ceramic fibre material that are known as fire proof materials were examined.

In the final part, we determined the economical thermal insulation thickness.

Keywords : Heat treatment, furnaces, heat insulation, insulation materials



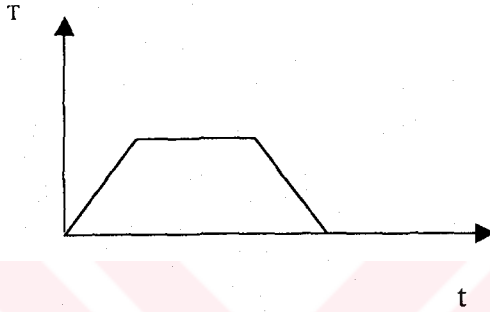
1. GİRİŞ :

Son yıllarda sanayide yaşanan en büyük problem enerji maliyetlerinin yüksekliğidir. Enerji maliyetlerinin yüksek olması da üretilen malzemenin maliyetini direkt olarak etkilediği için sanayicilerimizin şu anda üzerinde durdukları en önemli konu enerji maliyetlerini azaltmaktır. Çünkü malzeme üretimi için gerekli olan minimum hammadde ve bunun için gerekli olan işçilik ücretleri bellidir. Bu yüzden geriye kalan enerji maliyetlerini düşürmektir. Enerji maliyetlerin düşürülmesi içinde mevcut olan sistemin hem daha verimli çalıştırılması hem de sistem içerisindeki ısı kayıplarını düşürmek için iyi bir ısı izolasyon yapmak gereklidir. Bunun için kullanılacak olan izolasyon malzemelerinin fiziksel, kimyasal, teknik her türlü özelliğinin kullanıcı tarafından çok iyi bilinmesi ve hangi malzemenin hangi şartlarda hangi fırınlarda nasıl bir sonuç vereceğini çok iyi bilmek gerekir.



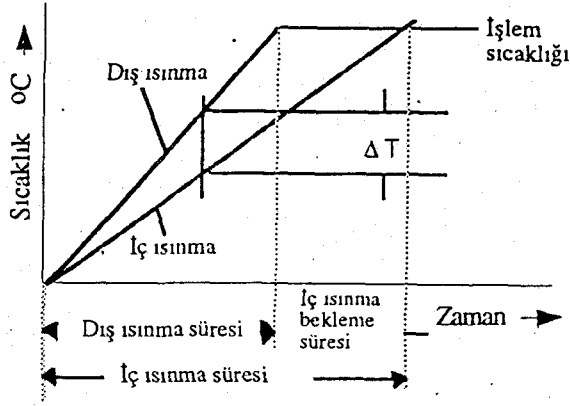
2. ISIL İŞLEMİN TANIMI

Isıl işlem teriminden, metal malzemelerde katı halde sıcaklık değişimleri ile bir yada birbirine bağlı birkaç işlemle, amaca uygun özellik değişimleri anlaşılır. Isıl işlemde bu tanıma uygun olarak, parçaların belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılması “ısıtma”, bu sıcaklıkta uygun süre tutma “bekleme”, ve belirli bir programa uygun olarak oda sıcaklığına düşürülmesi “soğutma” ile üç kademede özellik değişimleri sağlanır. Derin soğutmalı ısıl işlem türü hariç, her türlü ısıl işlem için geçerli olan bu proses şekil 2.1 de belirtilmiştir.



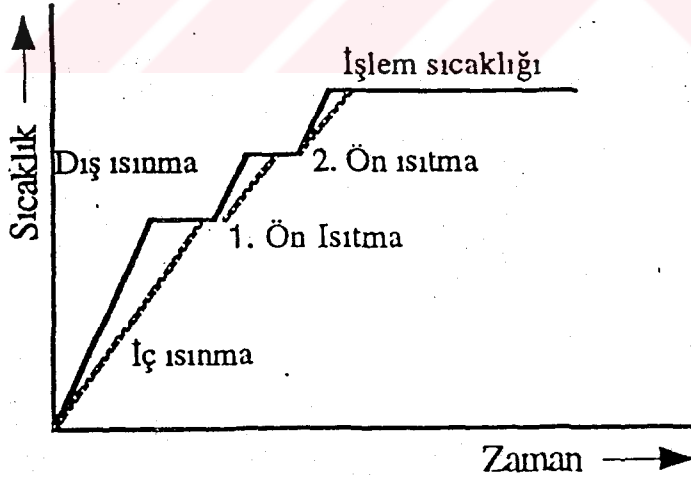
Şekil 2.1. Isıl işlemde, genel olarak işlem prosesi, (Topbaş 1993)

Isıtma, parçanın sıcaklığını, oda sıcaklığından, ısıl işlemde öngörülen belirli bir sıcaklığa yükseltme işlemidir. Isıtma prosesinin herhangi bir anında, ısıtılan bir parçanın yüzeyindeki ve merkezindeki sıcaklık değerleri farklıdır. Isıtılan malzemenin direnç olarak kullanılarak elektrikle ısıtılması dışında, ısıtma ortamı ne olursa olsun, ortamın ısıtma gücüne bağlı olarak, parçanın yüzeyi belirli bir sıcaklığa ulaştığında, parçanın çekirdeği malzemenin boyutuna ve ısı iletme kabiliyetine bağlı olarak daha geç ısınacağından, sıcaklığı daha düşük olur (Şekil 2.2). Diğer bir anlatım ile parçanın yüzeyi öngörülen belirli bir sıcaklığa geldiğinde, çekirdeğinin de aynı sıcaklığa gelmesi için biraz daha fazla sürenin geçmesi gerekir. Bu nedenlerle, ısıtma işleminde parça yüzeyinin ısınması **dış ısınma**, ve merkezinin ısınması **iç ısınma** olarak ayrılır. Oda sıcaklığından itibaren, parça yüzeyinin öngörülen işlem sıcaklığına kadar ısınması için geçen süre **dış ısınma süresi**, merkezinin ısınması için geçen süreye de **iç ısınma süresi** ve parça yüzeyi işlem sıcaklığına geldikten sonra, merkezinin işlem sıcaklığına gelmesi için geçen sürede **iç ısınma için bekleme süresi** olarak adlandırılır.



Şekil 2.2 Isıl işlemden önce iç ve dış ısınma süreci ,(Topbaş 1993)

Isıtma işleminin herhangi bir anında yüzey sıcaklığı ile merkezinin sıcaklığı arasındaki ΔT sıcaklık farkı (Şekil 2.2), malzemenin ısı iletme kabiliyeti azaldıkça, ısıtma hızı yükseldikçe ve malzeme boyutları büyüdükçe artar. Bu sıcaklık farkının artması ısıl gerilmeler oluşturacağından istenmez. Sıcaklık farkını azaltmak amacıyla, ön görülen ısıtma sıcaklığının altında bir yada iki ayrı sıcaklıkta ara ısıtma yapılabilir. “ **Ön ısıtma**” adı verilen bu işlemle, parçalarda daha düzenli ve homojen ısıtma sağlanır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 Isıl işlemden önce ön ısıtma uygulanması (Topbaş 1993)

Isıtma sıcaklığı olarak da belirtilen **işlem sıcaklığı**, ısıtma işlemde ulaşılması gereken en yüksek sıcaklıktır. Ancak ısıtma işlem türüne bağlı olarak, ısıtma sıcaklığı terimi yerine, **tavlama sıcaklığı**, **sertleştirme sıcaklığı**, **östenitleştirme sıcaklığı**, **ani soğutma sıcaklığı**, **meneviş sıcaklığı**, **çözme sıcaklığı**, **yaşlandırma sıcaklığı** ve **çökeltme sıcaklığı** gibi terimler kullanılmaktadır. Isıtma sıcaklığında yapılan sıcaklığı sabit tutma işlemine, bekleme ve bu esnada geçen süreye de bekleme süresi adı verilir. Bekleme süresi, teorik olarak iç ısınmanın bitmesini müteakip soğutma başlangıcına kadar geçen süredir. Ancak iç ısınmanın tam bittiği anın saptanması yada hesaplanarak kesin olarak bulunması çok zor olduğundan ve pratikte dış ısınmanın bittiği an kolayca ölçülebildiğinden, uygulamalarda daha çok dış ısınmanın bittiği an, bekleme süresinin başlangıcı olarak alınır. Öngörülen sıcaklık değerinin hatalı olarak üzerine çıkılması yada sürenin olması gerekenden fazla uygulanmasına aşırı ısıtma adı verilir. Yanma olayının dışında, her iki hatalı çalışmada tane kabalaşması adı verilen aynı sorunu yarattığı için, iki değişik olayın aşırı ısıtma olarak adlandırılması sakınca doğurmamaktadır.

Isıl işlemin üçüncü kademesi olan **soğutma işlemi**, parçanın ısıtma ortamında bırakılarak ortamla birlikte soğuması, açık havada yada belirli bir soğutma ortamında oda sıcaklığına kadar sürekli ısı vererek **sürekli soğutma** tarzında olabileceği gibi, önce yağ daha sonra su veya hava yada tersi olarak önce su sonra yağ gibi iki yada üç değişik ortamda her biri peşi sıra değişik hızlarda soğuması **kademeli soğutma**, belirli bir sıcaklığa kadar sürekli soğutup, bu sıcaklıkta sıcaklık dengesi sağlanacak kadar beklendikten sonra soğutmaya devam edilmesi **kesintili soğutma** tarzında olabilir. Ayrıca, yüksek sıcaklıktan belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılmış banyo içersine daldırıp, bu sıcaklıkta yapısal dönüşme yaptıracak şekilde bekleme ve tekrar sürekli soğutmaya devam etme olarak **izotermik (eşısı) dönüşümlü soğutma** tarzında da uygulama yapılabilir, (Topbaş, 1993).

3. ISIL İŞLEM FIRINLARI VE KULLANIM ALANLARI

İçersine yerleştirilen yada sürekli olarak yüklenilen ve boşaltılan malzemeleri ekonomik ve homojen bir şekilde ısıtmak suretiyle işlem sıcaklığına yükselten ve bu sıcaklıkta gereken süre kadar tutan teknik ünitelere ısıl işlem fırınları yada ocakları adı verilmektedir. Genel olarak $300^{\circ}\text{C} - 400^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar ısınan tiplerine ocak daha yüksek sıcaklık için ise olanlarına fırın adı verilmektedir.

Isıl işlem fırınlarında enerji gereksinimi ya katı, sıvı, gaz yakıtlarının yakılması ile kimyasal enerji olarak yada elektrikten direnç ark veya indüksiyonla ısıtma tarzında fiziksel enerji olarak karşılanır. Enerji sağlama yönteminin seçiminde, gerçekleştirilmek istenen ısıl prosesin yanında birim malzeme miktarı için gerekli ısı maliyeti ve enerji temin etme olanakları önemli rol oynar. Isıtılacak parçalar ile alev ve baca gazlarından oluşan fırın atmosferi arasında yada yapı malzemelerinde genellikle istenmeyen birçok kimyasal olay meydana gelir. Sıcaklığı da bağlı olan bu olayların fırın tipinin seçiminde ve konstrüksiyonunun da göz önünde tutulması gerekir.

Isıl işlem fırınlarının çalışması sürekli yada kesintili olabilmektedir. Sürekli çalışmada, hiç ara verilmeden fırın arızalanıncaya kadar veya bakım yapılıncaya kadar fırının çalışması devam eder. Bu tip fırınlarda ısı kaybı az fırın verimi fazla ve ömür uzundur. Kesintili çalışan ısıl işlem fırınlarında ise olay tam tersidir. Isı kaybı büyük, fırın verimi az, ömür kısadır.

Fırınlarda sıcaklık ve atmosfer kontrolü büyük önem taşır. Modern işletmelerde ölçme ve kontrol hassas ve otomatik olarak yapılmakta böylece tesiste insan emeği azalmakta bakımı kolaylaşmakta ve verim artmaktadır.

Bu fırınlarda ısıtma ısıtmayı takiben yapılacak ısıl işlem, tavlama, sertleştirme, meneviş ıslah, normal tavlama, yumuşak tavlama, gerilim giderme tavlama, sementasyon, nitrasyon temperleme gibi işlemlerin yapılması için kullanılır. Bu amaçlara bağımlı olarak fırınlar birbirlerine göre büyük konstrüktif farklılıklara sahiptir. Fırın tipinin belirlenmesinde amacın gerçekleştirilmesi için işlem sıcaklığına ısıtılacak parçaların formu, büyüklüğü ve miktarı, fırın kapasitesi, ısıl işlem hatalarını en aza indirmek ve en ekonomik çalışma şartları gibi bir çok faktörün bir arda düşünülmesi gerekmektedir. Buda iyi bir teknik çalışmayı ve pratik tecrübeyi gerektirir.

Müteakiben yapılacak sıcak şekillendirme için tavlama fırını olarak büyük kapasitelerde kuyu tipi fırınlar ve itme fırınlar daha az kapasitelerde ise arabalı, tamburlu, döner tabanlı ve çan tipi fırınlar kullanılmaktadır. Ayrıca hızlı ısıtma yapan özel fırınlar ve indüksiyon ısıtmada yapılabilir.

Bir mühendisin böyle bir fırını dizayn ederken termodinamik hesap yanında ısı işlem yapılacak malzemelerinde özelliklerini de iyi etüt etmesi gerekir. Aksi takdirde büyük para ve emek harcanarak yapılan ısı işlem fırınlarının görevini tam manası ile hatta hiç yapmaması da söz konusudur.

Isıl işlem fırınlarında fırın atmosferi çok önemlidir. Sertleştirme için tavlama işleminde fırın atmosferini kaldırdığı için daha çok tuz banyosu kullanılmaktadır. Diğer ısı işlem fırınlarında ise ısıtma esnasında fırın atmosferinin zararlı etkilerinden parçaları koruyacak tarzda nötr atmosferde yada vakum içersinde ısıtma yapılmalıdır. Ayrıca fırın içinde kontrollü difüzyon sağlanarak sementasyon, nitrasyon, gibi ısı işlemlerde yapılabilir. Isıl işlem fırınlarında ısıtma hızı, ısıtma süresi ve ısıtma sıcaklığı malzemenin analizine, formuna, boyutlarına, ısıtma tarzına, ve ısıtma amacına göre değişmektedir. Malzemenin dış yüzeyinde ve yapısında tahribat meydana gelmemelidir. Malzeme analizine bağlı olan ısı iletme kabiliyeti ne kadar düşük, parça boyutları ne kadar büyük ise ısıtma hızı o kadar yavaş seçilmelidir. Sıcaklığın yapı içerisinde de dengelenmesinde aynı kural geçerlidir.

3. 1. Kuyu Tipi Fırınlar :

Muhtelif yöntemlere göre yada kokil içine blok yada kütük halinde dökülmüş çelik malzemelerin kokilden sıcak olarak çıktıktan sonra yada soğumuş halde iken ısıtılarak sıcak şekillendirme sıcaklığında sıcaklık dengelenmesi için kullanılan fırınlara kuyu fırın veya kuyu ocak adı verilmektedir. Döküm ve hadde tesisleri arasında sürekli imalatı gerçekleştirecek şekilde yerleştirilirler. Fırın taban genişliği, yüksekliğe nazaran oldukça azdır.

3. 2. İtme Fırınlar :

Bu fırınlar çeliklerin haddelenmesinde, hadde bandı üzerine yerleştirilen ve çelikleri 1150 °C -1300 °C arasında olan sıcak şekillendirme sıcaklığına ısıtılmasında kullanılan sürekli çalışan fırınlardır. Ham malzemenin dövme yada presleme için hazırlanmasında itme fırınlardan

yararlanılır. Saatteki kapasite ve fırının büyüklüğü 1 t/h ile 250 t/h gibi çok geniş sınırlar arasında değişir. Isıtılan parça ağırlıkları birkaç kg olabileceği gibi 5 t-25 t ağırlığında kütüklerde ısıtılabilir. Parça ağırlığının çok artmasıyla fırın içersinde itme güçleşeceği için 500 mm'den daha kalın parçalarda itme fırınlar kullanılmaz. 100 mm'den ince kütüklerde ise itme esnasında yüksek sıcaklıkta mukavemetinin çok düşmesi nedeniyle bükülme olacağından, itme fırınlar uygun değildir. İtme fırınlarda kütüklerin tahrip olmadan fırın içersinde itilmesi gerektiğinden, fırın boyu, ısıtılan kütüklerin boyutlarına göre sınırlandırılır. Örnek olarak 100 – 150 mm kalınlığındaki kütükler için fırın boyu en fazla 25 – 30 m olabilir. Kapasiteyi arttırmak için her ne kadar, iki yada daha fazla sıra teşkil edilebilirse de, bu durum fırın genişliğini çok fazla arttırır.

3. 3. Kaldırma Tabanlı Fırınlar :

İtme fırınlarında malzeme değişikliğinde parçaların boşaltma zamanının uzun olmasına karşılık bu fırınlar daha hızlı boşaltma sağlamaktadır. İtme fırınlarında olduğu gibi çelik kütüklerin sıcak şekillendirilmesi amacıyla ısıtmak amacıyla kullanılan bu fırınlarda, parçaların fırın içersindeki hareketi kaldırma taban yada kaldırma kirişler yardımıyla olmaktadır. Bu fırınlar genellikle üç sabit taban ve iki kaldırma tabandan müteşekkildir. Fırın tabanı bir sabit bir hareketli kısımdan meydana gelebilir. Hareketli kısımlar sağ ve solundan sabit tabanla sınırlandırılmış durumdadır. Isıtılan parçaların boyu kaldırılabilen hareketli tabandan daha geniştir. Kaldırma tabanı alt konumda iken parçanın yan kısımları sabit tabana oturur. Hareketli taban yukarı kalktığında parçaya ilerleme hareketi yaptırılır

3. 4. Döner Tabanlı Fırınlar :

Döner tabanlı fırınlar blokların ve boyu uzun olmayan, form olarak itme fırınlarda ısıtılması güç parçaların sıcak şekillendirme için ısıtılması amacıyla kullanılır.

Döner tabanlı fırınların daha çok kullanıldığı tesisler, dövme, yuvarlak dövme parça ve boru hadde imalatıdır.

3. 5. Makara Tabanlı Fırınlar :

Makara tabanlı fırınlarda ısıtılan malzeme makaralar üzerinde taşınır. Taşıma makaraları fırın içersine yerleştirildiğinde, makaraların yapıldığı çelik malzemelerin sıcaklığa karşı dayanıklılığı sınırlı olduğundan, fırın sıcaklığı 1100 °C'yi aşmaz. Daha yüksek sıcaklıklara ancak makaraların

fırın dışına alınmasıyla çıkılabilir. Makaraların fırın içersine yerleştirildiği makara tabanlı fırınlar aha çok demir olmayan metallerin ısıtılmasında kullanılmaktadır.

3. 6. Boru Isıtma Fırını :

Makara tabanlı fırınlar boru ısıtılmasında başarıyla kullanılabileceği gibi, bu sistemi geliştirerek daha kullanışlı duruma getirmek mümkündür. Böyle bir tesiste fırın 1500 °C'ye yani kaynak sıcaklığına ısıtılabilir. Bu suretle dikişli boru imalatında bu fırından yararlanılabilir. Ancak bu yüksek sıcaklıkta makaralar kısa zamanda bozulacağından mutlaka su ile soğutulmalı ve sık sık değiştirilmelidir.

3. 7. İtme Arabalı Fırın Ve Tünel Fırın :

İtme arabalı fırınlarda fırın tabanı dışardan yüklenir. Taban raylar üzerinde yürütülebilen arabaların üzerine ateş tuğlaları örülmüştür. Bu fırınlar dövülecek, pres edilecek büyük boyutlu parçaların sıcak şekillendirme için ısıtılmasında, çelik ve dökümde gerilim giderme, yumuşak tavlama, temperleme gibi ısı işlemlerde ve pişirme, kurutma işlemlerinde kullanılır. Isıtılacak malzeme, arabaya fırın dışında yüklenir, araba fırına itilir, işlem süresince fırında kalır ve işlem bittikten sonra dışarıya alınır. Normal fırınlarda işlem sonrası araba geri alınır, tünel fırınlarda ise fırının dar kenarlarında her iki tarafta da kapak olduğundan arabalar daim ileri doğru itilir yada çıkış tarafından çekilir. Genellikle itme arabalı fırınlar kesintili, tünel fırınlar ise sürekli çalıştırılır. Arabaların hareketi küçük fırınlarda el ile yapılabilir. Büyüklerde ise tel yada zincir-dişli tertibatı kullanılabilir. Dişli tertibatı fırının altında tüm araba boyunca yapılır.

3. 8. Hızlı Isıtma Fırınları :

Son şekillendirilecek yada tavlacak parçalarda ısınmanın çok hızlı yapılması son yıllarda çok önem kazanmıştır.

Gaz yada akaryakıtla ısıtılan fırınlarda, parçaların ısınması radyasyon ve konveksiyonla olmaktadır. Normal ısıtma fırınlarında düşük gaz akımlarında konveksiyonla elde edilen ısı, toplam ısının %10-15'i kadardır. Parçalarda hızlı ısıtma amacıyla duvar radyasyonunun yükseltilmesi, dahili reküperasyonu arttırmakla sağlanabilir. Bu amaçla tuğla radyasyon tipi beklerin fırın içersinde çok sayıda kullanılmasıyla, fırın duvarlarında yüksek yüzey sıcaklıklarına erişilebilmektedir.

3. 9. Tambur Fırınlar :

Soğuk şekillendirilmiş perçin, pim ve civata gibi küçük parçaların gerilim giderme tavlamasında yada $850^{\circ}\text{C} - 900^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar olan diğer ısı işlemlerde tambur fırınlar kullanılabilir. Tavlama işlemi sürekli olarak dönme hareketi yapan tambur içersinde olur. Tambur makara yada dişli tertibatı ile döndürülür.

3. 10. Hücre Fırınlar :

Sementasyon, nitrasyon gibi ısı işlemlerde ısıl proses için reaktif gaz ortama diğer bazı ısı işlemlerde ise nötr ortama yada koruyucu gaz ortama gerek vardır. Böyle durumlarda hücre fırınlar ve radyasyon borulu fırınlar kullanılabilir.

3. 11. Çan Tipi Fırınlar :

Bu fırınlarda silindirik olan yan duvarlar ve fırın tavanı yekpare olarak yapılır, taban, ise ayrıdır. Üst kısım ve tavan şekil olarak çan görünümündedir. Konstrüksiyon olarak iki gruba ayrılırlar. Birincisinde çan şeklinde olan üst kısım sabit durumdadır, taban hidrolik bir sistemle aşağı alınır ve yükleme yapıldıktan sonra yukarı alınıp ısı verilmeye başlanır. Diğer fırın tipinde ise taban sabit, çan şeklindeki üst kısım hareketlidir. Taban yüklendikten sonra üst kısım aşağıya alınır ve ısıtılır. Bu fırınların işletmelerde kullanılmasında, birden fazla taban yapılarak aynı tavanla birkaç taban kullanılabilmektedir. Böylece kesintili çalışan fırınlarda çan tavan soğumadan tekrar kullanıldığı için ısı kaybı önemli ölçüde azaltılır.

3. 12. Çekme Fırınlar :

Hadde tesislerinde olduğu gibi, ısınacak parçaların fırın içersinde sürekli hareket etmeleri söz konusu olduğunda çekme fırınlar kullanılabilir. Bu fırınlarda parçalar fırın dışından sürekli olarak çekilirler. Fırın genişliği ve yüksekliği oldukça küçük, fakat boy çok uzundur. Rulo yada kangal halinde gelen malzeme, yönlendirici makaralarla fırın içersine sevk edilir. Fırın çıkışında ise çekme makaraları vardır. Isınmış tel malzeme fırın çıkışında sıcak banyoya daldırılarak ısıl işlem uygulanır.

Aynı fırın hadde tesislerinde çekilen tel malzeme soğuduğunda, sıcaklığını şekillendirme sıcaklığına yükseltmek için ara tavlama amacıyla kullanılabilir.

3. 13. Tuz Banyosu Fırınları :

Tuz banyoları, çeliklerin tam sertleştirilmesinde sertleştirme sıcaklığına ısıtılmasında, sementasyon ve nitrasyon işlemlerinde, gerilim giderme ve diğ er tavlama yöntemlerinde, demir olmayan metallerin ısıtıl işlemlerinde endüstride çok kullanılmaktadır. Özellikle takımların ve hassas yüzey istenen parçaların sertleştirilmeleri tuz banyoları ile daha ekonomik olarak yapılabilmektedir. Keskin ağızlı kesici takımlar ve keskin köş e formlu parçaların ısınmadaki deformasyonları önemli ölç üde azaltılabilmektedir. Parçalar ısınma esnasında tuz banyosu ile direkt temasta olduğı için, yüzey korunmasında atmosfer gereğı kalmaz. Uygun tuz kullanmak suretiyle reaktif ortamda ısıtıl işleminde yapılabilir.

3. 14. Sarsma Tabanlı Fırınları :

Bu fırın tipinde parçaların fırın içersindeki hareketi, sarsma tabanla sağlanmaktadır. Sarsma tertibatı fırın dışına, parça girişı tarafına yerleştirilmiştir. Özellikle küçük parçaların ısıtıl işlemlerinde yada korozyona dayanıklı boyama işlemlerinde bu fırınlardan yararlanılmaktadır. Isınmış parçalar, ani soğutma banyosuna düş ür lerek sertleştirilebilirler.

3. 15. Kule Fırınları :

Boyu kesatine nazaran çok uzun olan çubuk formundaki parçaların ısıtılması ve gerilim giderme tavlama esnasında yatay yüklemelerde eğilme tarzında deformasyon meydana gelir. ubukların fırın içersinde düş ey yerleştirilebildiğı kule fırınlardaki ısıtma ile bu deformasyonlar  nlenebilir. Kule fırınların yüklenmesi ve boşaltılması üst kısımda bulunan kapaktan yapılır. Y kleme yapıldıktan sonra ısıtma yapılır, tavlama sonunda parçalar fırınla birlikte soğutulduktan sonra yada sıcak olarak fırından alınabilir. Bu tip fırınların sıcaklığı 900  C'yi geçmez. ubuk ve benzeri parçaların ısıtılmasında kullanılan kule fırınlar kesintili olarak çalıştırılırlar.

3. 16. Kamara Fırınları :

Diğ er fırınlara nazaran, nispeten daha küçük boyutlarda inşa edilen, fırın tabanı, yan duvarlar ve tavanı sabit olan, dar duvarlardan birine fırın kapağı, yerleştirilmiş fırınlara kamara fırını adı verilir. Bu fırınlar kesintili çalıştırılırlar, fırın soğuk iken y kleme yapılır ve parçalar soğuduktan sonra fırın boşaltılır. Sertleştirme ve normal tavlama amacıyla kullanılan oldukça küçük

boyutlarda yapılan fırınlarda ve laboratuvarlarda kullanılanlarda boşaltma, parçalar sıcak iken de yapılabilir, (Topbaş,1993).



4. FIRIN YAPI MALZEMELERİ

Endüstri fırınlarında yapı malzemesi olarak refrakter malzemeler ve sıcaklığa dayanıklı metal alaşımları kullanılır. Refrakter malzemelerin yapısını SiO_2 , Al_2O_3 ve MgO gibi oksit mineraller, karbür, borür ve nitrür gibi bağlantılar teşkil eder. Oldukça yüksek sıcaklığa, sıcaklık değişimlerine, atmosfer ve ergiyik tahribine karşı dayanıklıdırlar. Metal malzeme olarak ise, sıcaklığa dayanıklı çelik, dökme demir, bakır ve alaşımları ve direnç malzemeleri kullanılır. Bakır ve alaşımları sıcağa karşı dayanıklı olmadığından kullanma esnasında mutlaka soğutulmalıdırlar. Sıcaklığın fazla yüksek olmadığı, fırının dış kısımlarında ise alaşımsız çeliklerde konstrüksiyon malzemesi olarak kullanılır.

4. 1. Refrakter Malzemeler

Refrakter malzemeler ya form tuğla şeklinde yada dövme toprağı veya harç olarak kullanılır. Refrakter tuğlalar, fırının inşasını kolaylaştırmak amacı ile belirli form ve boyutlarda pres edilerek ısıtılır ve sinterlenir. Dövme toprağı ise fırında dövülerek şekillendirilip, fırın ısıtılarak yerinde sinterlenir. Her iki formda da refrakter malzemenin kullanma amacı iyi ısıl izolasyon yada tam tersi iyi ısıl iletkenlik olabilir. Kullanma yerine göre seçim yapılırken şu sorulara yanıt aranmalıdır.

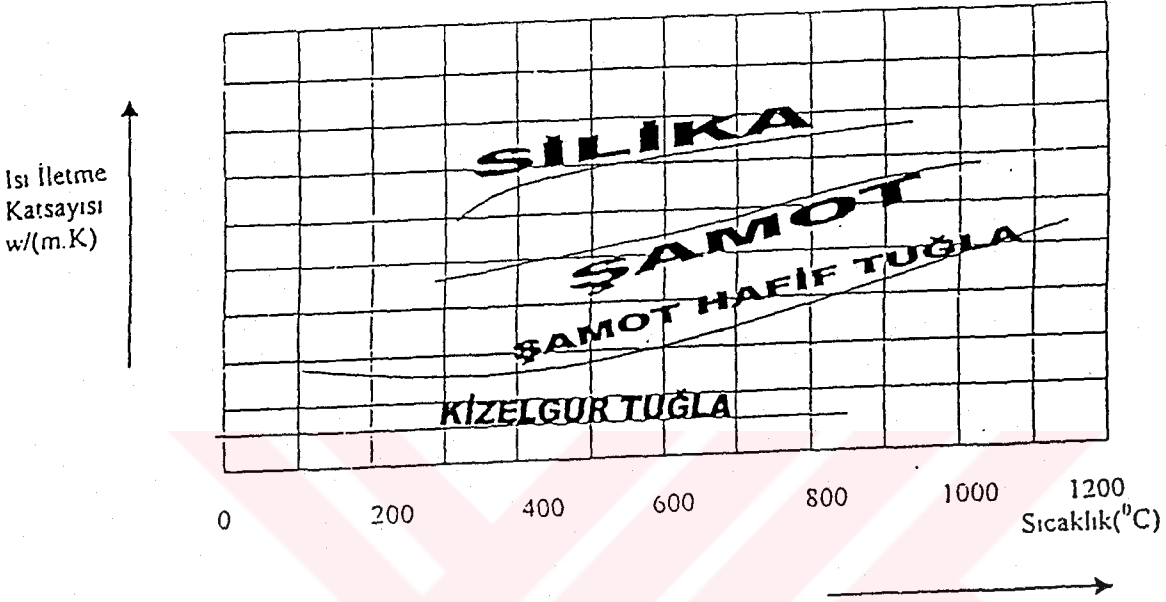
1. Refrakter malzeme nerede kullanılacaktır?
2. Tesis, sürekli mi yoksa kesintili mi çalışmaktadır?
3. Kullanılacak yakıt çeşidi nedir ve refrakter malzeme üzerine etkisi nedir?
4. Fırının işletme sıcaklığı nedir ve refrakter malzemenin bulunduğu yerde sıcaklık nedir?
Kesintili çalışmada en yüksek ve en düşük sıcaklıklar ve çalışma periyodu nedir?
5. Olabilecek mekanik zorlanmalar ve büyüklüğü nedir?
6. Bugüne kadar hangi refrakter malzeme kullanılmıştır. Daha önce kullanılan refrakter malzemelerden işletme koşullarına bağlı olarak hangi sonuçlar alınmıştır?

4. 1. 1. Refrakter Malzemenin Özellikleri

Refrakter malzemelerin seçiminde göz önünde tutulacak özellikler ve bu özelliklerin refrakter malzeme cinsine göre durumları genel olarak şöyledir:

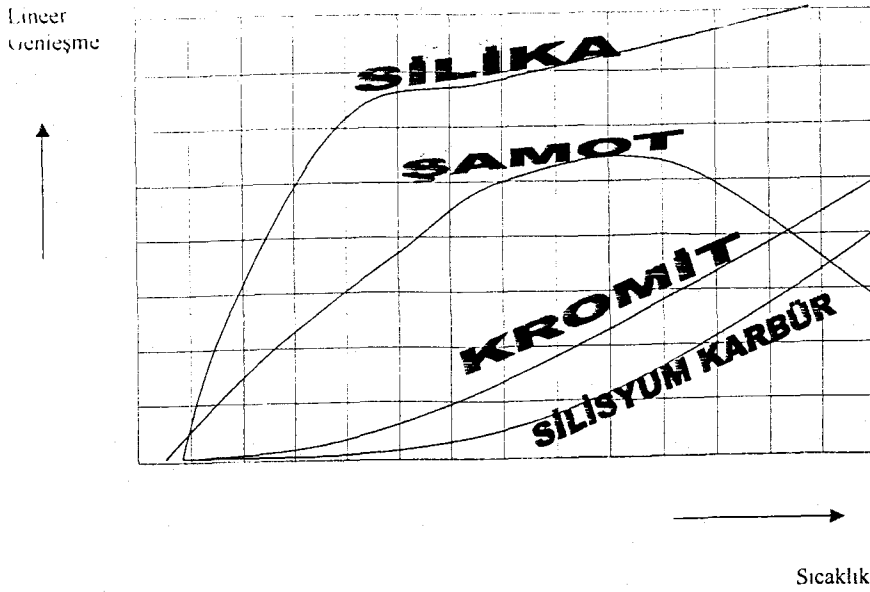
- 1) **FİYAT:** Refrakter malzemenin imkanlar nispetinde ucuz olması gerekir. Ancak birim fiyatının az olması yeterli değildir. Kullanımda ömrünün uzun olması da göz önünde tutulur. Fırın yapımı çalışma süresi, her yapımda kullanılan malzeme miktarı ve tamir koşulları göz önünde tutularak uygun fiyatlı malzeme seçilmelidir.
- 2) **YUMUŞAMA SICAKLIĞI:** Refrakter malzemenin en önemli özelliğidir. Sıcaklığın artmasıyla refrakter malzemelerde boy kısalması ve daha sonrada yumuşama görülür. Yumuşayan refrakter malzemenin sıcaklık dayanımı çok azalır ve sifıra yakın bir değere iner. Bu sıcaklık ne kadar yüksek ise, refrakter malzeme o kadar iyidir.
- 3) **MUKAVEMET :** Refrakter malzemenin sıcakta mukavemetinin yüksek olması istenir. Isıtılan parçaların ve fırın gazlarının sürüklenen tozları aşınma meydana getirir. Sıcakta mukavemet değeri, oda sıcaklığına nazaran çok fazla düşer. Refrakter malzemelerde oda sıcaklığında mukavemet $30-40 \text{ N/mm}^2$ iken, yüksek sıcaklıklarda $0,15-0,30 \text{ N/mm}^2$ ' dir.
- 4) **KİMYASAL VE MİNERALOJİK YAPI:** Bu durum özellikle mineralojik açıdan önemlidir. Refrakter malzemenin kompozisyonundaki asit ve bazik oksitlerin miktarlarına göre refrakter malzemeler sınıflandırılarak kullanılır. Asit ve bazik esaslı refrakterler malzemelerin bir arada bulunmasında, atmosferde bulunan oksijeninde etkisiyle karşılıklı tahrip meydana gelir. Refrakter malzeme hazırlanırken asit karakterli refrakter malzemeye az miktarda bazik tozlar, bazik karakterli refrakter malzemeye de az miktarda asit tozlar bağlayıcı olarak karıştırılır.
- 5) **GÖZENEKLİLİK VE YOĞUNLUK:** Refrakter malzemenin gözenekliliği azaldıkça fırın gazları içersindeki tozlar dayanıklılığı o nispette artmaktadır. Gözenekliliği azaltmak, refrakter malzeme yapılırken kalıplamada daha yüksek basınçlı hidrolik presler kullanmak suretiyle mümkün olmaktadır. Gözenekliliğin azalmasıyla yoğunlukta artar.
- 6) **ISIL İLETKENLİK:** İçersinde ısı bulunan bir fırın duvarının minimum ısıl iletkenliğe sahip olması arzu edilir. Böylece fırın içindeki ısının dışarıya sızması minimum değere indirilebilir. Buna karşılık in direkt olarak ısıtılan hücre ocaklarda yada potalarda ısının içeriye geçmesi için refrakter malzeme imkanlar nispetinde iyi ısıl iletkenliğe sahip olması gerekir. En yüksek sıcaklık fırın duvarının iç yüzeyinde, en düşük sıcaklık ise fırın duvarının dış yüzeyinde olur. Sıcaklık duvar kalınlığına bağlı olarak azalarak değişir.

Fırın duvarlarında birim alandan dışarıya sızan ısı miktarı, duvarın iç ve dış sıcaklıkları arasındaki fark ve refrakter malzemenin ısı iletkenliğiyle doğru orantılı olarak değişir. Duvarın dış yüzeyine ısıyı izole eden bir malzeme koymak suretiyle kaybedilen ısı miktarı büyük ölçüde azaltılabilir. Bu suretle fırında sıcaklık değeri artar, fakat sıcaklığın yükselmesi refrakter malzemenin ömrünü azaltır. İşletmeci, çalışma sıcaklığı, yakıt tasarrufu ve fırın ömrünü göz önünde tutarak ekonomik çalışmayı sağlamalıdır.



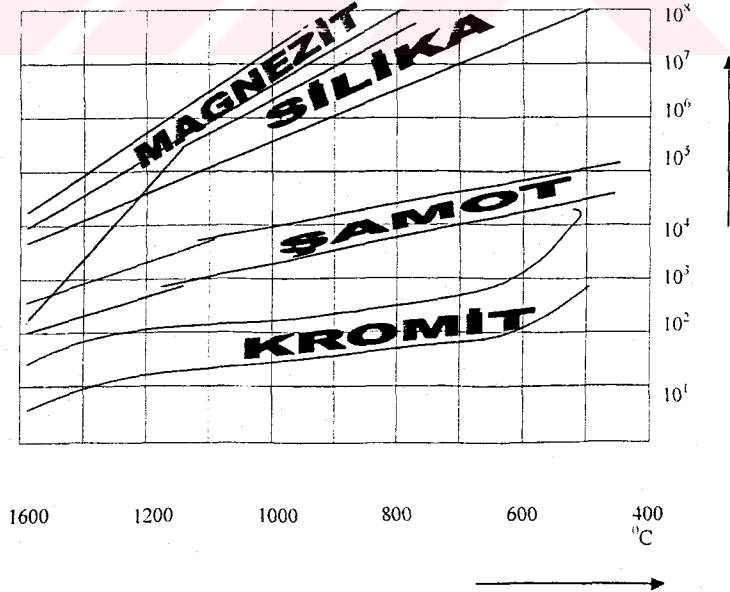
Şekil 4.1. Isıl iletkenliğin sıcaklığa bağlı olarak değişimi, (Yıldız, 1988)

- 6) **ISIL GENLEŞME:** Refrakter malzemeler ısıtıldıklarında sıcaklığa bağlı olarak genleşme yaparlar. Genleşme katsayısının küçük olması arzu edilir. Fırının inşasında kullanılan malzemeye göre genleşme payı bırakılır. Fırın sürekli ısıtılıp soğutulursa, genleşme modifikasyonları çatlama ve kırılmalara sebep olabilir. Bundan dolayı ısıtma ve soğutmanın mümkün olduğunca yavaş yapılması gerekmektedir. Kırılmaları meydana getiren bir diğer neden de, kullanımda refrakter malzemeye nüfuz eden fırın gazlarının özellikleri bozması ve ısı genleşmenin bölgesel farklılık göstermesidir.



Şekil 4.2. Refrakter malzemelerin lineer genişleme katsayılarını sıcaklığa bağlı olarak göstermektedir, (Yıldız, 1988)

8) **ELEKTRİK İLETKENLİĞİ:** Refrakter malzemelerin oda sıcaklığında elektrik iletkenliği çok azdır, fakat yükselen sıcaklıkta iletkenlik oldukça artar. Bu duruma özellikle elektrikle ısıtılan fırınlarda dikkat etmek gerekir. Direnç tellerinin bağlama yerlerinde ve yatakları yerinde kısa devre meydana gelebilir. İletkenlik sıcaklığın logaritmasıyla doğru orantılı olarak artma göstermektedir. Şekil 4.3 da refrakter malzemelerin sıcaklığa bağlı olarak elektrik iletkenlikleri görülmektedir.



Şekil 4.3. Refrakter malzemelerin sıcaklığa bağlı olarak elektrik iletkenlikleri görülmektedir, (Yıldız, 1988).

4. 2. Isı İzolasyon Malzemeleri

4. 2. 1. Isı İzolasyon Malzemelerinden İstenilen Özellikler

Isı izolasyonu için kullanılan malzemelerin seçiminde kullanılma yerlerine göre bazı özellikleri sağlayıp sağlamadıklarına dikkat edilir. Mesela izolasyon malzemelerinin hafiflikleriyle birlikte sarsıntılara karşı ufalanmamaları taşıtlarda önemli olduğu gibi rutubetli ortamlarda çalışmalarda da rutubete karşı mukavim olmaları, buhar difüzyonuna izin vermemeleri arzu edilir.

Muhtelif kullanılma yerlerine göre izolasyon malzemelerinin seçiminde aşağıda yazılı özellikler dikkate alınır:

- Özgül hacmi
- Hacim ve şekil değişimlerine karşı mukavemetli olması
- Kolay işçiliği olması
- Basma zorlanmalarına karşı şekil değiştirme mukavemeti
- Çeki zorlanmalarına karşı şekil değiştirme mukavemeti
- Kimyasal nõtürlüğü
- Çürüme ve ufalanmaya karşı mukavemetli olması
- Buhar difüzyonuna karşı mukavemetli olması
- Sürekli, periyodik veya kısa tesirli sıcaklıklarda ısı izolasyonu fonksiyonunu değiştirmemesi
- Tatbik edilecek konstrüksiyona uygun olması
- Ucuz olması
- Yanıcı olmaması
- Kokusuz olması
- Dengeli olması- zamanla izolasyon özelliğinin azalmaması
- Isı iletim katsayısının küçük olması
- Böcek ve hayvan barındırmaması

4. 2. 2 Isı İzolasyon Malzemelerinin Gruplara Ayrılması

Teknikte kullanılan ısı izolasyon malzemeleri yapıları bakımından üç gruba ayrılır,

- 1- Organik esaslı
- 2- Anorganik esaslı
- 3- Sentetik esaslı

Ancak ısı işlem fırınlarında düşük sıcaklık dayanımlarından ötürü sentetik esaslı malzemeler kullanılmaz.

Bazı hallerde organik yapıda anorganik bağlayıcılar bulunabileceği gibi anorganik yapıda da organik bağlayıcılar bulunabilir.

4. 2. 2. 1. Organik Esaslı Isı İzolasyon Malzemeleri

Lif, tane veya köpük şeklinde olabilirler. Tane şeklinde olanlar, mantar, toz halinde talaştır. Köpük şeklinde olanlar ise sertleştirilmiş suni melamin reçnesidir. Bağlayıcı eleman olarak genellikle katran, asfalt, alçı, çimento, suni reçine, kola kullanılır.

Lif şeklinde olanlar pamuk, yün, ipek, jüt, saç, saman, tahta, tahta kıymıkları ve talaştır.

Asfalt, katran ve reçine gibi bağlayıcı malzemeler aynı zamanda rutubet yönünden muhafaza malzemesi olarak iş görürler. Fakat yanıcıdır ve 150°C - 250°C arasında bağlayıcı eleman olarak iş görürler.

Bu tür malzemelere kullanma yerlerinin özelliklerine göre keçe, kumaş, levha gibi muhtelif şekiller verilebilir.

4. 2. 2. 1. 1 Oluklu Mukavvalar

Tahta kıymıklarından mukavva imalinde yararlanılır. Asfalt ve lak emdirilerek rutubete karşı mukavemeti arttırılır. Oluklu mukavvalar hava kanalları teşkil edecek şekilde monte edilerek ısı iletim katsayısı $k = 0.21 \text{ KJ/mh}^{\circ}\text{C}$ değerine kadar düşürülür. En yüksek 80°C sıcaklığa kadar kullanışlıdır.

4. 2. 2. 1. 2 Pamuk Keçeleri

Pamuk artıklarının keemsi hale getirilmesi neticesinde $k = 0.06 \text{ KJ/mh } ^\circ\text{C}$ olacak şekilde $\phi = 0.5 \text{ gr/cm}^3$ özgül ağırlığında izolasyon malzemesidir. Mahzurları oluklu mukavvaya benzer ve levha halindeki keçe düz ve eğik satırlar ile hava akımına mani olunacak yerlerde tercih edilirler.

4. 2. 2. 1. 3 Tahta Lifli Hafif Yapı Levhaları

Köknar kıymıkları eleklerde ayrılarak buhar ile yumuşatılır ve sonra lifli tapı haline getirilir. Lifler ile su ve fenol reçinesi uygun bir oranda karıştırılarak merdaneler arsından geçirilip belirli kalınlıklarda levha halinde elde olunurlar. Kalınlıkları 6 ile 13 mm arasında değişip – k - ısı iletim katsayısı ise sıcaklık ve rutubete bağlı olarak değişir ve ağıdaki değerleri alır.

Çizelge 4.1. Tahta lifli yapı levhalarının ısı iletim katsayıları – k – $\text{KJ/mh } ^\circ\text{C}$, (Yıldız, 1988)

Ortalama Sıcaklık ($^\circ\text{C}$)	0	10	20	30
Ağırlıkça % 7.6 nem	0.035	0.030	0.040	0.048
Kuru	0.031	0.035	0.010	0.041

4. 2. 2. 1. 4 Anorganik Bağlama Elemanlı Tahta Lifli Yapı Levhası

Tahta kıymıklarının eleklerde ayrılarak portland imentosu veya diğer anorganik bağlama elemanları kullanılarak hafif yapı levhaları elde edilir. Bu levhaların basma zorlamalarına mukavemeti çok yüksektir. Ortalama olarak $\phi = 326 \text{ kg/m}^3$ ve $k = 0.068 \text{ KJ/mh } ^\circ\text{C}$ değerindedir.

4. 2. 2. 1. 5 Halat, Hortum Şeklindeki İzolasyon Malzemeleri

Pamuk ve jüt artıkları sa örgüsüne benzer formda halat şekline getirilirler. Hortum şeklinde olanların içleri mantar taneleri kizelgur gibi izolasyon malzemeleri ile doldurulur. Her iki şekil bilhassa sıcak su geçen boruların izolasyonunda kullanılır. Yoğuşma sebebiyle soğuk izolasyonuna ve 90°C sıcaklıklar için uygun değildir.

4. 2. 2. 1. 6 Taneli İzolasyon Malzemeleri - Mantar -

Taneli izolasyon malzemelerinin en önemlisi mantardır. Tabii haliyle hava gözenekli taneler haldedir. Öğütme, ayırma, suya bastırma gibi işlemlerle kalitesi artırılır.

400 °C'de hava gönderilerek hem gözenekler artırılır hem de küflenmenin önüne geçilir. Pratikte bilhassa işçilik ve konstrüksiyon bakımlarından kolaylık olmak üzere basınçla levha haline veya boru gibi şekle getirilmiş mantar kullanılır. Mantar tanelerine zift emdirilerek istenilen şekilde pres edilir. Bu şekilde elde edilen levha veya şekillendirilmiş haldeki mantarların özgül ağırlıkları $\phi = 120 - 150 \text{ kg/m}^3$ arasında değişir ve ısı iletim katsayıları $k = 0.12 - 0.15 \text{ Kcal/mh}^\circ\text{C}$ değerlerini alırlar. Şayet izole edilecek kısımda hava geçirgenliği de önlenmek isteniyorsa, özgül ağırlık $\phi = 250 \text{ kg/m}^3$ olacak şekilde pres edilir. Bu halde mantar en fazla 110 °C'ye kadar kullanılabilir. Şayet alt kısmına kizelgur tabakası konulursa 140 °C'ye kadar yükselen sıcaklıklarda da kullanılabilir. Pratikte soğuk hava tesislerinde, terleme olan duvar, döşeme ve tavanlarda havalandırma kanallarında ısıtma ve sıcak su devirlerinde, alçak basınç kazanlarında pres edilmiş mantar tercih edilir. Mantar levhalar döşenmeden önce temas edecek yüzeylere bitüm ihtiva eden harç veya zift tatbik edilir.

4. 2. 2. 2. Anorganik Esaslı Isı İzolasyon Malzemeleri

Anorganik esaslı ısı izolasyon malzemeleri lif, tane ve toz halindeki anorganik maddelerden meydana gelir. Cam yünü, erimiş mineraller, aspest kizelgur, sünger taşı, magnezit, baca kurumu, kömür tozu, kül ise tane şeklinde anorganik maddelerdir. Bağlayıcı eleman olarak portland çimentosu tercih edilmek üzere çimento alçı kullanılır. Yüksek sıcaklıklar için kil ve kuvarz gibi seramik cinsi bağlayıcı elemanlardan faydalanılır.

4. 2. 2. 2. 1. Cam Yünü

Cam yüksek sıcaklıklarda muhtelif malzemelerin erimesi ve aralarında kimyasal bir bağ bulunmaması esasına dayanır.

Ham madde olarak muhtelif cinsleri için SiO_2 (kuvarz kumu), Na_2CO_3 (soda), K_2CO_3 (Potas), Na_2SO_4 , CaCO_3 (mermer), CaO , MgO , PbO , Pb_3 metaloksitleri, fosfat, çinkooksit, arsenik muhtelif oranlarda kullanılır.

Alkaliler (Na, K) ile PbO erime noktasını düşürür ve camın mukavemet ve sertliğini azaltırlar.

Cam, izolasyon malzemesi olarak çapları mikron boyutunda olan ince lifler haline getirilerek kullanılır. Cam yünü elde edilmesi için gerekli hammadde oranları ortalama olarak %54 SiO₂, %15.7 Al₂(OH)₃, % 0.5 Fe₂O₃, % 16 CaO, % 3.8 MgO, % 8 Boroksit alınır.

İmal usullerine göre takriben 3- 40 mikron çapındaki liflerden meydana gelmiş olup, 500 °C gibi yüksek sıcaklıklarda kullanılabilir. Özel olarak imal edilerek 700 °C'ye kadar kullanılanları da vardır. Özgöl ağırlıkları takriben 15- 200 kg/m³ olarak değişip ısı iletim katsayısı 0 °C'de $k = 0.12 \text{ KJ/mh } ^\circ\text{C}$ değerinden 450 °C'de $k = 0.065$ değerine kadar artar. Özgöl ısı ısı 0.07 KJ/kg °C gibi çok küçük değerde olduğundan aralıklı çalışmalar için uygundur. Diğer izolasyon malzemelerine nazaran daha geniş bir uygulama alanına sahip cam yününün aşağıdaki özelliklerini belirtmekte fayda vardır.

- Yanıcı değildir.
- Dış kuvvetler tesiriyle kolayca deformasyona uğrar.
- Kimyasal olarak nötürdür, korozyon tehlikesi yoktur.
- Atmosferik şartlara dayanıklıdır.
- Asitlere karşı (hidroflorik asit hariç) dayanıklıdır.
- Küf tutmaz
- Haşerelerin yuvalanması olmaz
- Bıçakla kolayca istenilen şekilde kesilebilir.
- Vana gibi çok girintili parçaların izolasyonuna uygundur.
- Deri ile temas edince kaşındırır, bu sebeple eldiven giyilmesi gerekir.
- Sarsıntı ve ufalanmaya mukavimdir
- Higroskopik değildir.

Pratikte sanayi tesislerinde, endüstriyel kazanlarda, endüstriyel borularda, kalorifer tesisatlarında merkezi teshin tesisatlarında, güneş enerjisi tesisatlarında, çift cidarlı kaplarda, döşeme, tavanlarda ısı, ses, akustik izolasyonu olarak taşıtlarda çok yaygın olarak kullanılmaktadır.

Piyasada Rul 18 adı altında, 5, 8, 10 cm kalınlıklarda rulo halinde paketlerde ıplak, Alüminyum folyo ve cam tülü kaplı olarak

LEV 50 adı altında 2- 2.5- 3 cm kalınlıklarda 60x100 cm ebatlarında paketlerde ıplak, Alüminyum folyo ve cam tülü kaplı olarak,

LEV 100 adı altında 1.5-2-2.5 cm kalınlıklarda rulo halinde paketlerde ıplak, Alüminyum folyo ve cam tülü kaplı olarak

LEV 30 Duvar izolasyon panosu olarak 3.5 cm kalınlıklarında 60x100 cm ebatlarında paketlerde çıplak olarak

TEL 60 adı altında 3-4-5-6-8-10 cm kalınlıklarında 100x250 ve 100x500 cm ebatlarında kafes teline dikili olarak,

MUK 60 adı altında 3-4-5-6-8-10 cm kalınlıklarında 50x1000 ve 50x500 cm ebatlarında oluklu mukavva dikili olarak,

Dökme İzocam(Beyaz) adı altında 10 kg'lık torbalarda,

Boru İzocam olarak 25-30-40-60-80 mm et kalınlıklarında çıplak, alüminyum folyo, bez kaplı olarak bulunmaktadır.

RUL 18, LEV 50, LEV 100, LEV 30 ve boru izocam tiplerinin maksimum kullanım sıcaklığı 250 °C'dir.

TEL 60, MUK 60, dökme izocam ise maksimum 550 °C'ye kadar kullanılabilir.

Aşağıdaki tabloda bu tiplerin ısı iletim katsayıları verilmiştir.

Çizelge 4.2. Yukarıda bahsedilen bazı cam yünlerinin ısı iletim katsayıları, (Yıldız, 1988)

Tipler	$k = \text{Kj/mh } ^\circ\text{C}$	$k = \text{W/mK}$
RUL 18	0.032	0.0372
LEV 50	0.027	0.0314
LEV 100	0.026	0.0302
LEV 30	0.029	0.03373
TEL 60	0.026	0.0302
MUK 60	0.026	0.0302
Dökme İzocam	0.027	0.0314
Boru İzocam	0.027	0.0314

Cam yünü aşağıdaki farklı usullere göre elde edilir.

- Çubuk çekme usulü
- Hazne tambur usulü
- Meme çekme usulü
- Savurma usulü
- Kombine savurma ve uzatma usulü

4. 2. 2. 2. 2. Curuf Yünü

Curuf yünü metalurji sanayinin bir yan ürünü olup, sıvı haldeki curufun lif haline getirilmesi ile elde edilir. Cam yününe nazaran yapısı homojen olmayıp çoğu hallerde kimyasal bakımdan nötr değildir. En yüksek 750 °C'ye dayanıklı olup özgül ağırlığı 150-350 kg/m³ arasında değişir. Isı iletim katsayısı da özgül hacme ve sıcaklığa bağlı olarak değiştiği için 100 °C'de sıcaklık ve $\phi = 150 \text{ kg/m}^3$ de $k = 0.17 \text{ KJ/mh } ^\circ\text{C}$ değerinden 500 °C sıcaklık ve $\phi = 350 \text{ kg/m}^3$ de $k = 0.40 \text{ KJ/mh } ^\circ\text{C}$ değerine kadar değişir. Curuf yünü çoğu kez mineral yün olarak ta adlandırılıp vana, flanş, ve boru izolasyonlarında kullanılır. Cam yününe nazaran daha ucuz olup, daha yüksek sıcaklığa dayanıklıdır.

4. 2. 2. 2. 3. Asbest

Kısa olan asbest lifleri anorganik su camı potasyumlu silikat bağlayıcı eleman yardımıyla püskürtme izolasyon yapılır. Tabanca ile ısı izolasyonu yapılacak bölgeye püskürtülen asbest lifleri ile yüzeyde hiç bir delik kalmayacak şekilde istenilen kalınlıkta izolasyon temin edilir. Bu şekilde izolasyon ses izolasyonu için faydalı olduğu gibi yangın tehlikesine karşı tercih olunur.

4. 2. 2. 2. 4. Kizelgur

Aslında bitkisel bir yapı olup, kuvarz ihtiva eder. Kirecimsi hale getirilmekle ihtiva ettiği organik kısımlar kaybolur. Öğütülerek istenen incelikte elde edilir. Yanmaz ve yüksek sıcaklıklarda kullanılabilir.

4. 2. 2. 2. 4. 1. Toz Halinde Kuru Kizelgur;

Ara boşlukları doldurma yoluyla ısı izolasyonunda faydalınır. Özgül ağırlığı 210-315 kg/m³ arasında değişip özgül ağırlığa göre 100 °C'de ısı iletim katsayısı $k = 0.20$ ile $0.22 \text{ KJ/mh } ^\circ\text{C}$ değerindedir.

4. 2. 2. 2. 4. 2. Şekillendirilmiş Kizelgur

Kizelgur bağlayıcı eleman olarak kil veya kalker ilave edilerek yakılır ve çok yüksek sıcaklıkta ateşe dayanıklı kizelgur taşı elde edilir. Özgül ağırlığı $\phi = 300$ ile 700 kg/m^3 arasında değişip ısı

iletim katsayısı ise 100°C 'de $k = 0.069 \text{ KJ/mh } ^{\circ}\text{C}$ 'den 1000°C sıcaklıkta $k = 0.305 \text{ KJ/mh } ^{\circ}\text{C}$ değerine kadar yükselir.

Diatomit cinsi 1000°C , Diatomit F ateşe dayanıklı cinsi ise 1500°C 'ye kadar kullanılmışlardır. Aşağıdaki tabloda özgül ağırlık ve sıcaklık değişimlerine bağlı olarak ısı iletim katsayısının aldığı değerler görülmektedir.

Çizelge 4.3. Diatomit kizelgur taşının muhtelif özgül ağırlık ve sıcaklıklardaki ısı iletim katsayısının değişimi, (Yıldız, 1988).

	Özgül ağırlık Kg/m^3	Isı İletim Katsayısı ($\text{Kj/mh } ^{\circ}\text{C}$)				Basınç Kg/m^2
		100°C	400°C	800°C	1000°C	
Diatomit	300	0.069	0.110	0.160	----	2-6
	330	0.074	0.115	0.171	----	2,5-7
Diatomit F- Ateşe Dayanıklı	700	0.127	0.169	0.225	----	27-45
	700	0.17	0.215	0.275	0.305	30-40

4. 2. 2. 2. 5. Magnezyum Karbonat

Tabii magnezit taşının (MgO) kireçlendirilmesi, sonra CO_2 ve su ile karıştırılması ile elde edilir. Yüksek sıcaklıklardaki çatlaması sebebiyle 270°C sıcaklığa kadar kullanılabilir.

4. 2. 2. 2. 6. Magnezit

Magnezit aslında çok gevşek ve toz halinde olup, asbest lifleri ile karıştırılarak istenilen şekilde pres edilir. Yüksek sıcaklıklarda kizelgur malzemesiyle karışık olarak kullanılır. Genellikle 200°C sıcaklığa kadar kullanışlı olup ısı iletim katsayısı $k = 0.047$ ile $0.060 \text{ KJ/mh } ^{\circ}\text{C}$ arasında değişir.

4. 2. 2. 2. 7. Perlit

Perlisol volkanik menşeli ve terki binde takriben %65 – 80 SiO₂, %12-16 Al₂O₃, %3-6 H₂O ihtiva eden ve perlitin 15-20 misli genişletilmesi ile elde edilen beyaz ve hafif bir izolasyon, filtre, dolgu malzemesidir. Diğer pek çok volkanik camdan sadece bileşiminde bulunan fazla kombine su miktarlarıyla ayrılır. Jeolojik yönden çok asitli ve camsı volkanik bir üründür. Doğal perlit parlak ve cilalı yüzeyli olup, açık saydam, gri, yeşilimsi, sarımsı veya parlak siyah renktedir. Perlitin bileşimi kökenine göre oldukça geniş değişimler gösterebilirside başlıca iki ögesi silisyum ve alüminyum oksitlerdir. Kayaç olarak görünümü kompakt, ince taneli, gözenekli, gevşek, kolay kırılabilir, kum ve kum taşı yapısında, el ile ufalanabilir niteliktedir.

Öğütölüp çeşitli eleklerden geçirilen kaya perlit, özel fırınlarda 750-1100 °C'ye değin ısıtıldıklarında bünyesindeki %2-4 oranındaki gevşek bağı su 350 °C'de uzaklaşır. Geriye kalan sıkı bağlanmış su ise bu hızlı ısıtma sonucunda yapıdan ayrılırken, perlit taneciklerini tıpkı mısırdada olduğu gibi patlatır. Artık yeni ürünün hacmi özgün hacmin 4-20 katıdır ve genişlemiştir ve perlitin rengi beyaz veya grimsi beyaza dönmüştür. Taneciklerin içinde çok küçük hava kabarcıkları bulunmaktadır. Yüzeyleri sayısız küçük boşluklarla kaplıdır. Genleşme için silis yüzdesi ve efektif su miktarı çok önemlidir. Genleşmiş perlitten içinde hava kabarcıkları bulunan hafif beyaz, ince, donuk, havadan nem çekmeyen alçak ve yüksek ısılarda yalıtım özelliği olan, yanmayan, asit ve alkalilere dayanıklı bir malzeme meydana gelir. Bünyesinde %80'e yakın silis ihtiva eden perlisol kimyevi terkip bakımından kumla ayrılık teşkil etmez. Bu bakımdan inşaat sahasında kullanılan çimento, kireç alçı gibi bağlayıcılarla kolaylıkla uyum sağlar. Piyasada etiper adı altında torbalanmış yada çimento veya alçı karıştırılarak hazırlanmış ısı yalıtım sıvası halinde bulunmaktadır. Bunlar sıva ve beton yapımında kum ve agrega yerine kullanılabilir. Böylece yapılarda hafifliğin yanı sıra ateşe dayanıklılığı ısı yalıtkanlığı ve ses yutuculuğu özelliklerinden yararlanılmış olur. Bu özellikler perlitin briket, hafif beton, yalıtım panosu, çatı ve döşeme dolgu, asma tavan yapımlarında kullanılmasını sağlar. Perlit ve çimentolu hazır izolasyon kaba sıvasının ısı iletim katsayısı 25 °C için 0.40 Kj/mh °C, alçılı hazır izolasyon kaba sıvasının ise 0.75 Kj/mh °C dir.

Perlitin Ana Özellikleri :

Renk	: Beyaz
Yumuşama Sıcaklığı	: 870 °C- 1100 °C
Ergime Sıcaklığı	: 1260 °C- 1340 °C

Refraksiyon İndeksi	: 1.5
PH derecesi	: 6,6-8
Ses Yutma Katsayısı	: 0.34-0.85
Özgöl Isısı	: 0.65-1.25 Kj/kg °C
Özgöl Ağırlığı	: 40-100 kg/m ³
Max. Serbest Nem	: %0.5
Isı İletim Katsayısı	: 0.12-0.20 Kj/mh °C

Çözülebilme Özellikleri :

Konsantre Sıcak Alkali Hidroflorik Asitte	: Çözülebilir
Konsantre Mineral Asitlerde	: Az çözülebilir
Seyreltik mineral ve konsantre zayıf asitlerde	: Çok az çözülebilir

Kimyasal olarak nötr'dür. Asit ve alkalilere mukavimdir. Terkip ve şekil değiştirmez. Haşere ve diğer canlılar tarafından yenmez. İçinde bakteri yaşamaz ve üremez. Kolay kurur. 850 °C sıcaklığa kadar koruyucudur. Perlit ve perlit sıvasının kullanımı çelik konstrüksiyonlu binalarda ateşe dayanıklılık metodlarında değişikliğe neden olmuştur. Hafif plaster tabanlar ve çelik kolonlar etrafındaki ince zar, ateşe dayanıklılık sağlama açısından daha önce çok fazla duvarcılık işi gerektiren işleri kolaylaştırmıştır. Bu kullanım ateşe karşı korunma inşaatının ağırlığında % 80'e varan bir tasarruf sağlar.

İnşaatlarda sıcağa soğuğa sese karşı izolasyon işlerinde, rutubetli ve buharlı odalarda tavan damlalarına karşı meyil betonlarında, dolgu maddesi olarak tavan ve yan duvar sıvalarında dekoratif tavanlarda başarıyla kullanılabilir. Ayrıca nakliye kırılacak eşya ambalajlarında ve ziraat sahasında da perlisolden yararlanılır.

4. 2. 2. 2. 8. Kaya Yünü :

İnorganik elyaflardan imal edilen kaya yününün ergime sıcaklığının 1000 °C'nin üzerindedir. Isı yalıtım amacıyla 750 °C'ye kadar kullanılabilir. Kaya yünü imalinde kullanılan fenolik sentetik bağlayıcı 250 °C'nin üzerinde buharlaşır, bağlayıcının kaybolmasından kaya yününün ısı yalıtım özelliği etkilenmez. Isı iletkenliği çok düşük olan kaya yünü mükemmel ısı izolasyonu sağlar. Kurutma fırınları gibi düşük sıcaklıkta çalışan endüstriyel fırın yapımında sadece kaya yünü kullanımı yeterlidir. Yüksek sıcaklıklardaki fırınların yapımında ise kaya yünü seramik elyaf

battaniyenin veya refrakter betonun arkasında kullanılır. Yangına karşı dayanıklılık sadece insanları koruma açısından değil, binalara olan zararı ve üretimdeki kesintiyi de minimumda tutmak için gereklidir.

Yüksek ses seviyeleri, işitme kayıplarına neden olduğu gibi sözlü görüşmeleri engellemekte ve işçilerin güvenliği, sağlığı ve verimliliği üzerinde olumsuz etki yapmaktadır. Kaya yünü sesi emerek gürültü kontrolünü sağlar. Sesi kaynağında, sesin yayıldığı yol boyunca yada sesin ulaştığı yerde kontrol etmek mümkündür. Sesin kaynağında çevresini kaya yünü ile kapatarak kontrol etmek etkili bir yoldur. Böylelikle ses seviyesinde 10 ile 20 db 'lik bir azalma sağlanabilir. 100 -120 kg/m³'lük kaya yünü çok hafiftir. İstenilen ölçülerde kesilebilir ve montaj süresi çok kısadır. Kaya yünü yağmura bırakılsa da ancak 1-2 mm'lik kısmı ıslanır. Emprenge edilerek suyu itici özellik kazandırılmış kaya yünü suyu ancak basınçla verilince tutar. Basınç kalkınca su buharlaşır ve kuruyan ürünler tüm yalıtım özelliklerine kavuşurlar. Kaya yününün havadan emdiği nem miktarı ihmal edilebilecek kadar düşüktür. Kaya yünü kimyasal olarak inört olduğu için korozyona sebep olmaz, suyu çekmeyip ittiği için nemli ortamlarda korunmasız çeliğin korozyona uğrama tehlikesini ortadan kaldırır.

Kompozisyonu :

SiO ₂ : % 45	MgO : % 1
Al ₂ O ₃ : % 15	MnO : %0,2
TiO ₂ : % 13	Na ₂ O : % 1.8
FeO : % 7	

Piyasada bulunan kaya yünü ürünleri :

Kaya yünü plaka

Max. kullanım sıcaklığı : Sürekli 750 °C ancak kısa süreler için 1000 °C' ye kadardır.

Yoğunluğu : 115 kg/m³

Çizelge 4.4. 115 kg/m³ yoğunluğundaki kaya yününün ısı iletim katsayısı, (Yıldız, 1988)

Ortalama Sıcaklık °C	k değeri W/mK
50	0.037
100	0.043
150	0.050
200	0.059
250	0.069
300	0.082
350	0.096
400	0.111

Kaya yünü telli battaniye:

(Tek yüzü 25 mm'lik 0.635 mm çapında, galvanize metal tel örgülü)

Max. kullanım sıcaklığı : 750 °C

Yoğunluğu : 100 kg/m³

Çizelge 4.5. 100 kg/m³ yoğunluğundaki kaya yünü telli battaniyenin ısı iletim katsayısı, (Yıldız, 1988)

Ortalama Sıcaklık °C	k değeri W/mK
50	0.037
100	0.043
150	0.051
200	0.061
250	0.071
300	0.084
350	0.099
400	0.116

4. 2. 3. Isı İzolasyon Malzemelerinin Fiziksel Özellikleri

4. 2. 3. 1. Gözenekli Özgül Ağırlık

İzolasyon malzemelerinin gözenekli özgül ağırlıkları $\varphi = 10$ ile 1000 kg/m^3 arasında değişmektedir. İzolasyon malzemeleri karakterleri icabı çok sayıda gözenek ihtiva ettiklerine göre sıkıştırmaya bağlı olarak gözeneklerin hacimlerinde değişimler olur. Sıkıştırma kuvveti büyük ise Fe, Cu gibi katı hal meydana gelirken özgül ağırlık mefhumundan bu katının birim hacminin ağırlığı anlaşılır. Gözenekli yapıda sıkıştırma basma kuvvetine bağlı olarak hacim, dolayısıyla özgül ağırlık değiştiği için gözenekli özgül ağırlık deyimi kullanılır. Aşağıdaki tabloda muhtelif özgül ağırlıktaki organik ve anorganik esaslı izolasyon malzemelerinin muhtelif gözenekli özgül ağırlıklarında hacimsel olarak ihtiva ettikleri gözenek yüzdeleri verilmiştir.

Çizelge 4. 6. Organik ve anorganik esaslı izolasyon malzemelerinin muhtelif gözenekli özgül ağırlıklarında hacimsel olarak ihtiva ettikleri gözenek yüzdeleri, (Yıldız, 1988)

Gözenekli Özgül Hacim	Organik Malzeme 1500 kg/m^3	Anorganik Malzeme 2600 kg/m^3
	Hacimsel Olarak % gözenek	
10	99.5	99.7
100	93.5	96
300	80	88.5
500	67	81
1000	33	61.5
1500	-	42.5
2000		23

Aynı bir hammaddeden hareketle farklı gözenekli özgül ağırlıkta izolasyon malzemeleri elde edilebilir. Gözenek özgül ağırlığıda ısı iletim katsayısı ile özgül ısıya tesir eder.

Taneli veya toz halindeki izolasyon malzemelerinde birbirlerine göre konumları önemlidir.

En sık ve dengeli yerleşme şekli birbirine ikişer noktadan temas eden aynı büyüklükteki üç adet kürenin üzerine yerleştirilen dördüncü küre halinin genelleştirilmiş şeklidir. Bu şekilde kürelerin büyüklüğüne bağlı olmadan ara boşluklar %25.94'tür.

Şayet farklı büyüklükte küresel taneler nazara alınırsa ara boşluklar daha az olur. Dolayısıyla özgül ağırlık artar. İzolasyon malzemelerine ait özgül ağırlıklar önceki bölümlerde verilmiş olup incelenirse aynı malzeme için çok farklı değerlerde imalat yapıldığı görülmektedir.

4. 2. 3. 2. Özgül Isı Ve Nem

İzolasyon malzemesinin ısınarak kendi bünyesinde tuttuğu ısı yönünden özgül ısı önemlidir.

Anorganik ısı izolasyonu malzemelerinde özgül ısı $c = 0.21 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$ civarında alınabilir. Özgül ısı aslında sıcaklığa bağlı olarak değişim gösterir ve sıcaklıkla fazlaşır. Ayrıca izolasyon malzemesinin ihtiva ettiği nem miktarı da özgül ısının yükselmesine sebep olur.

Aşağıdaki tabloda nemin izolasyon malzemelerinin özgül ısılarına etkisi verilmiştir.

Çizelge 4. 7. Nemin izolasyon malzemelerinin özgül ısılarına etkisi, (Yıldız, 1988)

Ağırlıkça Nem Oranı	Özgül ısı (kJ/kg $^\circ\text{C}$)	
	Anorganik	Tahta ve benzeri
0	0.21	0.32
1	0.22	0.33
5	0.25	0.36
10	0.28	0.39
20	0.34	0.44
50	-	0.55

Aşağıdaki çizelgede muhtelif malzemelerin özgül ısı değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.8. Muhtelif malzemelerin özgül ısı değerleri, (Yıldız, 1988)

Adı	Özgül Isı (kJ/kg $^\circ\text{C}$)			
	0-100 $^\circ\text{C}$	0-300 $^\circ\text{C}$	20-600 $^\circ\text{C}$	20-900 $^\circ\text{C}$
Alçı	0.20	0.21	-	-
Asbest	0.20	-	-	-
Beton	0.22	-	-	-
Curuf	0.18	-	-	-

Cam Yünü	0.19-0.21	0.22	0.25	0.27
Kizelgur	0.21	0.22-0.26	-	-
Şekillendirilmiş Kizelgur	0.20	-	0.226	0.238
Kuvarz	0.19	-	-	-
Kaolin	0.22	-	-	-
Kum	0.19-0.22	-	-	-
Mağnezit	0.24	-	-	-
Porselen	0.19	0.21	0.233	-
Tuğla	0.18-0.22	-	-	-

4. 2. 3. 3. Isı İletim Katsayısı

Isı iletim katsayısı sıcaklığa ve özgül ağırlığa göre değişmektedir. Ayrıca rutubetinde bu değişimlere tesiri olmaktadır. Aşağıdaki tabloda organik izolasyon malzemelerinin muhtelif ağırlıklardaki ısı iletim katsayıları görülmektedir. Ayrıca malzemelerin lif durumlarına göre de iç yapı şekline bağlı olarak ta yani liflerin enine veya boyuna olmasına göre ısı iletim katsayısı değişmektedir, (Yıldız, 1988).

Çizelge 4.9 Organik izolasyon malzemelerinin 0 °C’de muhtelif özgül ağırlıktaki ısı iletim katsayıları, (Yıldız 1988)

Özgül Hacim Kg/m ³	Isı İletim katsayısı (kj/mh °C)				
	Mantar Levha	Mineralize Ağaç	Organik Lifli	Organik Lifli Şilte	Lifsiz
20	-	-	-	-	0.030
50	0.029	-	-	0.030	0.032
100	0.032	-	-	0.030	0.033
200	0.040	0.050	0.038	0.038	0.041
300	0.048	0.056	0.040	-	-
400	0.055	0.067	0.044	-	-
500	0.062	0.083	0.050	-	-
600	-	0.106	0.060	-	-

5. ATEŞE DAYANIKLI MALZEMELER

Ateşe dayanıklı malzemeler 1063 sayılı Alman Endüstri normuna göre –DIN 1063- erime noktası 1580°C 'nin altına düşmeyen malzemeler olarak kabul edilmektedirler. Ancak ani sıcaklık değişimleri uzun süre devam eden yüksek sıcaklıklar ile temas edilen ortamın kimyasal ve fiziksel özelliklerine göre malzemelerde parçalanmalar, çatlamlar ve şekil değişimleri meydana gelebilir.

Ateşe dayanıklı malzemelerin bileşimleri ile gözenek durumunun ısı iletim katsayılarına etkileri büyüktür. Silisyum karbür, zirkonyum gibi kristal malzemeler sıcaklıkla birlikte ısı iletim katsayısının büyümesine sebep olurlar. Gözenekler ile hava ve yanma gazları ısı iletim katsayısını küçültmekle beraber, hidrojen, kimyasal reaksiyon olan fırınlarda ısı iletim katsayısını artırıcı rol oynar.

Sanayideki uygulamada genellikle iki veya üç izolasyon tabakası kullanılır. En içteki tabakanın kimyasal ve ısısal yönden dayanıklı olması gerekir. Aşağıda ateşe dayanıklı malzemeler hakkında özet olarak bilgi verilmektedir.

5. 1. Isı İletim Katsayısı Yüksek Olan Ateşe Dayanıklı Malzemeler

5. 1. 1 Grafitli Malzemeler:

% 99 karbon ihtiva eden grafit sıcaklık değişimlerine dayanıklı ve redükleyici ortamda 2000°C 'nin üzerine kadar kullanılmakla beraber oksitleyici ortama dayanıklı değildir. 2200 kg/m^3 yoğunluktaki grafitin ısı iletim katsayısı 800°C 'de 280, 1500°C 'de 80, 2000°C 'de 35 ve 2500°C 'de $10\text{ kJ/mh}^{\circ}\text{C}$ değerlerindedir.

5. 1. 2. Sinterli Malzemeler:

% 99.7 Al_2O_3 –alfa kristali ihtiva eden sinterli malzemeler kimyasal ve mekanik yönden olduğu gibi sıcaklık değişimlerine de dayanıklıdır ve 1800°C 'ye kadar kullanılabilirler. 3750 kg/m^3 yoğunluktaki sinterli malzemelerin ısı iletim katsayısı ortalama olarak $20\text{ kJ/mh}^{\circ}\text{C}$ civarında değişir.

5. 1. 3. Mağnezitli Malzemeler:

Mağnezit ihtiva eden malzemeler genellikle 1700 °C ye kadar kullanılır. %99 MgO olması halinde 2000 °C ye kadar çıkılabilir. Oksitleyici ortama dayanıklı olup redükleyici ortamda 1500 °C'ye kadar kullanılabilir. Bünyesinde bulunan bileşiklere Al_2O_3 (%14.8-0.2), SiO_2 (%22.5- 0.2), Fe_2O_3 (%9.3-1.6), CaO (%4.9-0.3), MgO (%92.1-53.5), yoğunluğa (2980-2010 kg/m³) ve gözenek yüzdesine (%34-17.1) göre ısı iletim katsayısı 10 ile 1 kj/mh°C değerleri arasında değişir.

5. 1. 4. Silisyum Karbürlü Malzemeler :

Redükleyici ortamda 1600 °C'ye kadar kullanılabilirler. Fakat bu halde içinde kil bulunmamalıdır. Kil bulunduğu takdirde takriben 1400 °C'ye kadar kullanılabilirler. Oksidasyona karşı hassastırlar. Bünyesinde bulunan bileşikler Al_2O_3 (%19.5-3.1), SiO_2 (% 25.6- 6.7), Fe_2O_3 (% 1.1-0.1), SiC (% 89.7-49.4), yoğunluğa (2360-2190 kg/m³) ve gözenek yüzdesine (% 25.6-21) göre ısı iletim katsayısı 12 ile 3 kcal/mh °C değerleri arasında değişir.

5. 2. Isı İletim Katsayısı Küçük Olan Ateşe Dayanıklı Malzemeler

5. 2. 1. Kromitli Malzemeler:

1400 °C ile 1500 °C arasında kullanılabilirler. Sıcaklık değişimlerine karşı hassas olup kimyasal reaksiyonlara karşı dayanıklıdır. Isı iletim katsayıları genellikle 5 ile 9 kj/mh°C arasında değişmektedir, (Yıldız 1988).

5. 2. 2. SiO_2 ve Al_2O_3 lı Malzemeler :

1700 °C sıcaklığa kadar kullanılabilirler. Sıcaklık değişimleri ile kimyasal reaksiyonlara dayanıklı olup ısı iletim katsayıları 3.30 ile 5.85 kj/mh°C arasında değişir. Bu malzemeler seramik esaslı oldukları için piyasada seramik elyaf esaslı malzemeler olarak bilinirler.

Seramik elyafı, Alüminyumoksit (Al_2O_3) ve Silisyumoksit (SiO_2) veya Kaolin karışımının ergitilmesiyle elde edilen yapay bir cam yünüdür. Belirli durumlarda karışıma ZrO_2 , B_2O_3 veya TiO_2 gibi başka kimyasal bileşikler de katılarak ürünün fiziksel özellikleri değiştirilebilir.

Örneğin ürünün maksimum kullanım sıcaklığı içindeki karışım oranına bağlıdır. Hammadde tartılıp karıştırılarak ergime fırınına verilir. Fırındaki karışım, elektrik enerjisi yardımıyla 1500 °C-2100 °C'ye kadar ısıtılıp ergitilir. (Çevrenin notu: Seramik elyafının camyünü ve taş yününden daha pahalı olmamasının nedenlerinden biri, kullanılan elektrik enerjisinin fuel-oil ve doğal gazla daha pahalı olmasından kaynaklanmaktadır. Camyünü ve Taş yünü üretiminde genellikle fuel-oil veya doğal gaz kullanılır). Ergimiş olan karışım gerekli akışkanlığa (viskozite) ulaşınca elyaflaşma başlar. Akışkan, ya karşılıklı hızlı çalışan silindirlerle veya yüksek hızlı hava-buhar karışımı üflenerek lif haline gelir. Liflenme sırasındaki çabuk soğuma sonucu camsı lifler elde edilir. Liflendirme metoduna göre liflerin çapı değişik olur.

Ham elyaf bir toplama tankında basınç altında hareket ettirilerek bir bant üzerine dökülür. Bant üzerine dökülen bu elyaf “dökme” halinde olur. Eğer “şilte” yapılacaksa dökme ürün dikiş iğneleri ile dikilip şilte haline getirilir. Veya vakumlu parçalara, kağıt veya çamur (harç) haline getirilmek üzere diğer bölümlere gönderilir. Şilte dikebilmek için ham elyaf kaygınlıştırıcı bir madde ile muamele edilir. Dikişten sonra kaygınlıştırıcı madde etüvde ısıtılarak işlem sonucu tekrar yok edilir. Bitmiş şilteler ya sevke hazırlanır veya form verilmiş parçalar elde edilmek üzere diğer bölümlere gönderilir.

Yüksek Al_2O_3 içeren elyaf, viskozitesi düşük olduğu için ergitme metodu ile elde edilemez. Bunlar başka usullerle üretilir. Bükme-sinter metodu ve organik polimer içeren değişik metalik tuz çözeltileri bunlardan birkaçıdır. Bu çözeltiler içinde ham elyaf gerilir. Bilahare uygulanan 1300 °C'lik ısıtma işlemi organik elyaftan çok kristalli (polykristalin) anorganik lifler elde edilir, (Fuhrers,1996).

Bu tip ısı izolasyon malzemeleri son on yıldır ısıtma fırınlarında çok sıklıkla kullanılmaktadır. Bu tip seramik elyafli izolasyon malzemeleri kullanılacakları ortama, sıcaklığa, sisteme göre değişik formlarda üretilirler. Bunlardan bazıları :

- 1- Rijit plakalar, levhalar, boru izolasyonu için eğimli üretilmiş şekiller.
- 2- Yarı rijit plakalar, keçeler
- 3- Esnek plakalar, levhalar ve ön işlemeli şekiller
- 4- Blok malzemeler
- 5- Kalın ve esnek battaniyeler
- 6- Şeritler, Salmastralar
- 7- Çimentolar
- 8- Tuğlalar

Yukarıdaki bu tip izolasyon malzemeleri bir sistemi oluşturmak için bir veya birkaçı birleştirilerek kullanılır ve sistemin parçaları olurlar. Bu aşamadan sonra sistemin işleyebilmesi için malzemelerin özellikleri önem kazanır. Bu sebeple izolasyonun özellikleri, ekonomikliği, hizmet ömrü, ısı verimliliği açısından değerlendirilir. Buna göre izolasyon sisteminde kullanılan yukarıdaki malzemelerin özelliklerini incelemek gerekirse:

1-Rijit Plakalar : Seramik elyafın çeşitli bağlayıcılar kullanılarak sıkıştırılması sonucu, standart kalınlıklarda elde edilebilen mukavemetli plakalardır.

Farklı seramik elyafın kullanımı, anorganik ve organik bağlayıcıların kombinasyonu ile değişik sıcaklıklara uygunluk sağlanabilmektedir. Kullanım sıcaklıkları 1000 °C ile 1425 °C arasındadır.

Malzemenin özellikleri :

- Malzemenin hafifliği yanında sahip olduğu yüksek mukavemeti montaj esnasında kırılmaları ortadan kaldırmaktadır.
- Bütün plakalar sert olmaları nedeni ile rahatlıkla kesilebilmekte ve istenilen şekiller kusursuz bir biçimde elde edilebilmektedir.
- Malzemenin kontrollü üretimi homojen kalınlığı garanti etmektedir.
- Malzemenin mükemmel termal şok dayanımı, geniş çaplı sıcaklık değişikliklerinde rahatlıkla kullanılabilmesini sağlar.
- Düşük ısı stoklama kabiliyetine sahiptir.
- Direkt alevle temasta kolaylıkla kullanılabilir.
- Düşük ısı iletkenliği.

Uygulama Alanları :

- Tünel fırınların ön ısıtma ve soğutma bölgelerinde
- Fırın arabalarında ve izolasyon kanallarında
- Isı kaynağına karşı engel oluşturmada
- Yangına karşı korumada
- Asbest ürünlerin yerine
- Refrakter duvar arkası izolasyonunda
- Pota, kazan ve brülör yanma hücrelerinde
- Ev gereçlerinde.

2- Yarı Esnek Plakalar : Isıya dayanıklı keçeler olarak ta adlandırılan bu malzemeler, alümina, silika ve zirkonyumoksit içeren seramik elyafın organik bağlayıcı ile karıştırılması ile elde edilen esnek plakaya verilen addır. Bu organik bağlayıcı kullanım öncesi malzemeye yüksek mukavemet sağlamakta ve 180-200 °C'de malzemenin bünyesinden ayrılmaktadır. Bu keçelerin dayanım sıcaklığı 1425 °C'dir. Bu malzemelerin önemli özellikleri arasında hafifliği, yüksek sıcaklı dayanımı, düşük termal iletkenliği ve yüksek ses izolasyonu sayılabilir.

Bu keçeler kimyasal etkilere karşı mükemmel bir dirence sahiptir. Ancak malzemenin hidroflorik ve fosforik asit ile alkalilere karşı kullanılmaması tavsiye edilmemektedir. Su ve yağ ile ıslanırlarsa, kurudukları takdirde tekrar eski termik ve fiziksel özelliklerine kavuşmaktadırlar.

Uygulama Alanları :

Malzeme yeterli mekanik mukavemeti sayesinde yüksek sıcaklık izolasyonu gerektiren uygulamalarda (endüstriyel fırınlar, tuğla derz ararlıkları, kazan, kapak ve yanma hücreleri) istenilen şekle getirilerek kullanılabilir.

Malzeme battaniye tipinin uygun olmadığı oldukça yüksek yoğunluk arzu edilen uygulamalarda tercih nedeni olmaktadır. Ayrıca asbestli ürünlerin kullanıldığı conta uygulamalarının yerini alabilen ideal bir malzemedir.

Özellikleri :

- Kesim kolaylığı
- Yüksek sıcaklık direnci
- Düşük ısı iletkenliği
- Kimyasal kararlılık

3- Esnek Plakalar : Seramik elyaf kağıt olarak ta adlandırılan esnek plakalar, düşük oranda organik bağlayıcı ihtiva eden seramik elyaf esaslı bir malzemedir.

Mükemmel izolasyon karakterine ve kolay işlenebilme özelliklerine sahiptir. Malzemenin ana özellikleri arasında esnek yapısı, yırtılmalara karşı dayanıklılığı, kalıp kullanılarak kesilmesi ve şekillendirilmesi, rahatlıkla katlanıp bükülmesi ve rulo haline getirilmesi sayılabilir.

Malzemenin kimyasal kararlılığı ve izolasyon kabiliyeti 1260 °C'ye kadar olan uygulamalarda aynen korunmaktadır.

Üretimde kullanılan organik bağlayıcı, ilk kullanımda yaklaşık 300 °C'de yanarak malzemenin bünyesinden ayrılmaktadır.

Özellikleri :

- Yırtılmalara karşı dayanıklı,
- Mükemmel esneklik özelliği
- Arzu edilmeyen toprakçıkların bulunmaması
- Kalınlık hassasiyeti
- Yanal yüzeylerin pürüzsüz olması
- Termal şok dayanımı
- Oldukça düşük ısı iletkenliği

Uygulama Alanları :

- Isı engeli ve izolasyon contası oluşturmada,
- Tuğla derz aralıklarında
- Isıl işlem uygulamalarında ısınma ve soğuma hızı kontrolünde,
- Ev gereçlerinde, kapaklarda ve yan yüzeylerde conta malzemesi olarak,
- Otomotiv endüstrisinde (motor silindirlerinde ve egzoz aksamında)
- Yangına karşı korunmada
- Asbestli ürünlerin yerine
- İndüksiyon ocaklarında emniyet izolasyonu olarak
- Termokopul izolasyonunda
- Esneklik gerektiren uygulamalarda

4- Blok Malzemeler : Arka izolasyon blokları olarak adlandırılan Blok plakalar seramik elyaf, seramik yün ve az miktarda organik bağlayıcı kullanılarak üretilmektedir.

Kullanılan elyafın yüksek miktarda olması nedeni ile malzeme mukavemetli hafif ve termal şoklara dayanıklıdır. Blok malzemeler sudan ve betonlarda kullanılan bağlayıcı malzemelerden etkilenmemektedir. İçersinde kullanılan seramik yün ve bağlayıcı miktarına bağlı olarak 800 °C ile 1100 °C aralıklarında kullanılabilir.

Özellikleri :

- Suya karşı dayanıklılık
- Termal şoka dayanımı
- Düşük ısı iletkenliği
- Homojen yapı sayesinde kolay işlenebilirlik
- Kolay kırılmama özelliği
- Yüksek miktarda elyaf içeriği
- Hafifliği ve düşük ısı stoklama kabiliyeti

Uygulama Alanları :

Refrakter ve izolasyon amaçlı ürünlerin arkasında izolasyon bloğu oluşturmada kullanılır.

Diğer uygulama alanları ;

- Galvanizleme
- Çimento endüstrisinde
- Endüstriyel fırınlarda
- Kurutma fırınlarında
- Cam endüstrisinde,soğutma fırınları,besleyici kanalları ve ısı kazanım sistemlerinde
- Alüminyum endüstrisinde, elektrolitik redükleme hücrelerinde

5- Kalın ve Esnek Battaniyeler : Seramik elyafın yüksek sıcaklıklarda ergitilerek daha sonra hızlı soğutulması ve haddelenmesiyle oluşturulan ve hiçbir bağlayıcı içermeden üretilen izolasyon malzemesidir. Isıtma öncesi ve sonrasında mükemmel bir mukavemet göstermektedir. Ayrıca ısı izolasyon karakterleri kadar akustik özellikleri de mükemmeldir. Battaniyelerdeki yoğunluk ve kalınlık çeşitliliği, geniş bir yelpaze içinde oldukça verimli kullanılabilmelerini sağlamaktadır. İçerdiği alümina, silikat ve zirkon miktarlarına göre 1425 °C'ye kadar uygulamalarda rahatlıkla kullanılabilir.

Özellikleri :

- Mükemmel ısı izolasyon özelliği göstermektedirler
- Hidroflorik asit ve fosforik asit ile güçlü alkaliler dışındaki kimyasal maddelerden etkilenmemektedirler.
- Malzemeler yüksek sıcaklıkta özelliklerini aynen koruyabilmektedir.
- Bazı uygulamalarda kullanım sıcaklığının üzerine çıkılabilmesi mümkündür.
- Düşük ısı stoklama kabiliyeti : Battaniyeler ateş tuğlalarına göre % 95, izolasyon tuğlalarına göre % 75 daha az ısı depolamaktadır.
- Yüksek sıcaklıklarda malzemeler termal şoktan etkilenmemekte, ani ısınma ve soğumadan kesinlikle zarar görmemektedir.
- Yüksek sıcaklıkta boyutsal özelliklerini korumaktadır.

Uygulama Alanları :

- Endüstriyel fırınların duvar, taban,tavan ve kapaklarında,
- Kazan izolasyonlarında
- Cam ergitme fırınlarının tavan izolasyonunda
- Fırın kapaklarında sızdırmazlık amaçlı
- Boru ve baca izolasyonunda
- Yangına karşı korunmada
- Ev gereçlerinde
- Yüksek sıcaklıkta filtre izolasyonunda
- Kaynaklamada kaynağın ortaya çıkaracağı gerilimin giderilmesinde
- Buhar ve gaz türbinlerinde
- Pota kapaklarında,
- Metalurji, seramik, cam, petro kimya, gemi ve otomotiv endüstrisinde

6-Şeritler : Seramik elyaf ipliklerin saç örgüsüne benzer formlarda örülerek halat veya salmastra haline getirilmesiyle 1260 °C'ye dayanıklı olarak kullanılan izolasyon malzemesidir. Malzeme yapısından kaynaklanan esnek olma özelliği, düşük ısı iletim katsayısı, termal şok dayanımından ötürü fırın duvar kenarlarında, kapılarında, ocak kapak kenarlarında, kalıplarda sızdırmazlık amacıyla ısı sızdırmazlık elemanı olarak rahatlıkla kullanılabilir.

7-Refrakter Çimentolar ve Betonlar : Bu malzemeler su ile sertleşen ve dökme, püskürtme yada sıvama metodu ile özellikle atmosfer kontrollü uygulamalarda kullanılabilen içinde kullanılan bağlayıcı miktarlarına göre 1800 °C'lere kadar kullanılabilen refrakter betonlar ve çimentolar vardır.

Özellikleri :

- Düşük ısı iletim katsayıları,
- Mükemmel termal şok dayanımları,
- Yüksek aşınma dirençleri,
- Yüksek mukavemete sahip olmaları.

Kullanım yerleri :

- Pota izolasyonları,
- Brülör bloklarının üretimleri,
- Fırınlarda arabaları ve kapılarında,
- Kazanlarda,
- Isıtıcı kanallarında,
- Bacalarda,
- Yolluklarda

8- İzolasyon Tuğlaları : Bunlar içerdikleri alümina ve silikat miktarına bağlı olarak 1260 °C ile 1760 °C arasında değişen sıcaklıklarda kullanılabilen tuğlalardır. Bu tuğlaların üretiminde yüksek saflıkta refrakter kil, yüksek sıcaklık dayanımı sağlayan alümina ve pişme sonrası gözenekli ve homojen yapıyı ortaya çıkaran organik bağlayıcı kullanılır.

Özellikleri :

- Düşük ısı iletkenliği
- Düşük ısı stoklama özelliği
- Saflık
- Yüksek sıcaklıklarda mükemmel basma mukavemeti
- Ebatlardaki hassasiyet

Uygulama Alanları :

Malzeme, hafifliği, düşük ısı stoklama kabiliyeti, yüksek sıcaklığa dayanıklılığı nedeniyle, endüstriyel fırınlarda, yüksek sıcaklıkta çalışan endüstriyel ekipmanlarda uygulama alanı bulmaktadır, (Thermal Ceramics SA Ürün Föyleri, 1993).

5. 2. 3 Zirkonyumlu Malzemeler :

Sıcaklık değişimlerine karşı dayanıklı olup 2000°C ve hatta daha yüksek sıcaklıklara kadar kullanılabilirler. Flor haricinde kimyasal reaksiyonlara dayanıklıdır ve bilhassa elektrikli fırınlarda tercih edilirler. Isı iletim katsayıları 6.7 ile $8.3 \text{ kJ/mh}^{\circ}\text{C}$ değerleri arasında değişir.



6. ISI İZOLASYONUN AMACI VE GEREKLİLİĞİ :

İzolasyon biri kapalı biri açık ortamda olan iki nokta veya noktalar arasındaki ısı, su, ses vb., etkileşimleri azaltmak anlamına gelir.

Yapmış olduğum tez için ise izolasyon yüksek sıcaklığa çıkan endüstriyel fırınlarda oluşan ısı kayıplarını en aza indirmek için fırın çevresini birtakım yüksek sıcaklığa dayanıklı ve üzerine gelen ısıyı arka tarafın olabildiğince az ileten yardımcı malzemeler ile kaplamak olarak adlandırılabilir.

Isı izolasyonu enerjiyi korumanın başlıca yöntemidir. Ancak işletmeler ve işverenler enerjiyi korumanın önemini henüz anlayabilmiş değillerdir.

Sanayileşmenin başlangıcında, enerji, insanların ihtiyaç duyduklarından çok fazla idi fakat sanayileşmenin iyice hızlanması ve buna ilave olarak ta kullanılan enerji miktarının da artmasıyla birlikte kişi başına düşen enerji miktarı da oldukça artmıştır.

Ayrıca, geçmişteki enerji bolluğuna bağlı olarak enerji maliyetlerin düşük olmasından ötürü enerji kayıplarını daha aza indirmek ve enerji maliyetlerinin düşürülmesi için bir çok işletme pek fazla fikir geliştirmemişlerdir.

Bu sonuçlardan ötürü pek çok petro-kimya tesisi, rafineriler, güç kaynağı üreticileri gibi, enerjiyi çok fazla miktarda kullanan şirketlerin yönetimleri yüksek enerji maliyetlerinin etkileri altında oldukları için, işletmelerini daha verimli kullanmak zorundalardır. Bununla birlikte işletmelerin yöneticileri satın aldıkları enerjinin nasıl kullanıldığını nerelere nasıl harcadığını kontrol ederlerse; verimsiz üretim metotları ve çok kötü bir ısı izolasyonu ile kurulmuş işletmelerinden ötürü kullanılan enerjinin %80-90'lık kısmını boş yere harcadıklarını tespit edeceklerdir.

Enerjinin bol ve ucuz olduğu dönemde enerjiyi korumak ham madde ve işçilik ücretlerine kıyasla fazla bir ekonomik önem taşımaz ve son ürün maliyetine etkisi çok düşük olurdu. Ancak son 20-30 yıl öncesine göre enerji maliyetlerinin 10 - 15 kat oranında artması, işletme maliyetleri içersinde enerjinin önemini arttırmış, daha dikkatli ve verimli kullanılmasını gündeme getirmiştir.

Enerji maliyetlerinin işletmelerde fazla anlaşılamamasının bir sebebi de, enerjinin fuel-oil, elektrik, LPG şeklinde alınarak daha sonra bunların ısı, mekanik veya kimyasal enerjiye dönüştürülüp, ürünlerin elde edilmesi sırasındaki gözle görülmeyen ısı ve enerji kayıpları halinde

yok olması ve bu kayıpların daha sonra artık olarak değerlendirilmeye alınmaması ve kayıtlara geçirilmemesi sonucu oluşur.

Isının kontrolü insanlar için önemlidir. Isının kontrolü proseslerin uygun işletilmesi, uygun ısı dengesinin sağlanması ve kontrol sistemlerinin iyi çalıştırılmasıyla sağlanır.

6. 1. Isı İzolasyonunun Temel Çeşitleri :

Isı izolasyonunun karakteristiği genellikle kendisini oluşturan elemanların bileşimiyle ifade edilir. Buna göre ısı izolasyonu 2 ana bölüme ayrılır.

6. 1. 1. Tek Tabakalı İzolasyon :

Bu şekilde yapılan izolasyonda, izolasyon malzemelerinden sadece bir çeşidi kullanılır. Kullanılan izolasyon malzemeleri aşağıdaki anlatıldığı gibi 5 bölümde incelenir.

1- İnce Tabakalı : Hava boşluğunu ayıran küçük tabakaların birleştirilmesiyle oluşur. Bu tabaklar birbirleriyle birleştirilirler veya birleştirilmeden kullanılırlar. Vermikulit veya genişletilmiş mika en çok kullanılanlarıdır.

2- Fiberli İzolasyon : Hava boşluğunu ayıran küçük çaplı fiberlerin birleştirilmesiyle oluşturulur. Organik veya inorganik olan bu fiberler birbirleriyle birleştirilerek veya birleştirilmeden kullanılırlar. Organik fiberler, tüy, sentetik veya yün olabilirler. İnorganik fiberler ise cam, taşyünü, curuf yünü, alümina, silika, asbest veya karbon esaslı olurlar.

3- Taneli İzolasyon : Aralarında boşluk içeren küçük modüllerin birleştirilmesiyle oluşur. Ancak izolasyonu oluşturan malzemelerin arasından gaz transferi olduğundan ötürü doğru bir hücresel malzeme olarak kabul edilmez.

4- Hücresel İzolasyon : Birbirleri tarafından çevrelenen birçok küçük hücrenin birleşmesinden oluşmuştur.

5- Yansıtıcı İzolasyon : Bir yüzeyine çarpan ısıyla geri yansıyan ısı arasında yüksek ısı farkları oluşturan ve üzerlerine gelen radyan ısıyı tekrar ısı kaynağına gönderen ince tabaka veya folyoların birleştirilmesinden oluşmuştur. Ayrıca bu birleştirme işlemi engellenmiş hava veya gaz boşlukları sağlamak içinde dizayn edilir. Engellenmiş hava boşlukları konveksiyon ve iletimden kaynaklanabilecek ısı geçişini de azaltır. Bir çok durumda ince yansıtıcı levhalar alüminyum veya paslanmaz çelikten imal edilirler. Yansıtıcı izolasyon sonuçları izolasyon dizaynı ve yapısı ile elde edilir. Homojen malzemedan farklı bir sistem olduğu için özellikleri çoklu izolasyondan farklı olarak incelenir.

Ayrıca yukarıdaki izolasyon çeşitlerinin birleşimiyle çok katlı izolasyon sistemleri de oluşturulur.

6. 1. 2. Katlı İzolasyon :

Katlı izolasyonu yukarıda belirtilen izolasyon çeşitlerinin iki veya daha fazlasını bir arada kullanarak meydana getiririz. Örneğin fiberler taneli malzeme içersine katılarak malzemenin çekme dayancını arttıırırlar.

İstenilen özellikleri kazanmak için ve ısı geçişini azaltmak için çeşitli izolasyon tipleri bir sistem olarak kullanılır,(Turner, 1981).

7. ISI GEÇİŞİNİN TEORİK ESASLARI

7.1 Isı Geçişi Şekilleri

Isı geçişiyle ilgili konularla uğraşan bilim dalına Isı Transferi adı verilmektedir.

Isı Geçişi ;

1-Isı iletimi- Kondüksiyon

2-Isı taşınımı- Konveksiyon

3-Isı ışıınımı-Radyasyon

olmak üzere 3 şekilde olur. Problemlerin cinsine göre bu üç şekildeki ısı geçişi iki ve hatta üçü bir arada olmak üzere meydana gelebilir.

Katı cisimler ile hareket etmeyen sıvı veya gaz ortamlardaki ısı geçişi şekline Isı İletimi, akış halindeki sıvı veya gaz ortamlarda ısı geçişi şekline “Isı Taşınımı”, dalga boyları ışığinkinden daha büyük olan elektromanyetik dalgalar halindeki ısı geçişi şekline “Isı Işınımı” adı verilir.

Ayrıca ısıının iletim yoluyla geçtiği ortamdaki sıcaklıkların zamanla değişmesi hali “Değişken rejim”, sabit kalması hali ise “sabit rejim” olarak adlandırılır.

Isı izolasyonunun söz konusu olduğu haller genellikle sabit rejim hali olarak ortaya çıkar.

Isı izolasyonu problemlerinde genellikle karışık durumlar göze çarpmaz ve bu problemler çoğunlukla diğer mühendislik dallarıyla ilgili olanlara oranla daha basit şekillerde çözülebilirler.

7.2. Düzlemsel Levhalardaki – duvarlar, tabanlar-Isı İletimi

İletim yolu ile ısı geçişindeki ifadeler cismin levha, silindirik- boru- veya küresel formda olmalarına göre değişir. Ana ifade FOURIER tarafından verilen

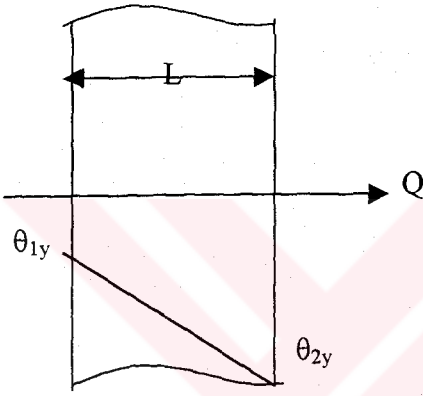
$$q_n = -k \frac{\theta}{n} \quad (7.2.1.)$$

ifadesidir. Bu ifadeye göre birim büyüklükteki yüzeyin normali doğrultusundaki birim uzunluk başına sıcaklık değişimi ile bu doğrultuda geçen ısı miktarı orantılıdır. Orantı katsayısı k (bazı

literatürlerde λ ile gösterilir) ısı iletim katsayısı olarak adlandırılır ve $\text{kJ/mh}^0\text{C}$ birimindedir. Bu ifadeden hareketle aşağıda değişik durumlar için verilen ifadeler çıkartılır.

7.2. 1.Tek Levha Hali

Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi F (m^2) yüzeyinde olan levhanın yüzey sıcaklıkları $\theta_{1y} > \theta_{2y}$ olmak üzere θ_{1y} ve θ_{2y} iseler büyük sıcaklıktaki yüzeyden küçük sıcaklıktaki yüzeye doğru ısı geçişi olur.



Tek Levha Halinde Isı İletimi

Şekil 7.1. Tek levha halinde ısı iletimi, (Dağsöz 1981)

Birim zaman (1 saat) içerisindeki geçen ısı miktarı Fourier kanunundan hareketle bulunan

$$Q = Kf \frac{\theta_{1y} - \theta_{2y}}{l} \quad (7.2.2)$$

ifadesiyle belirlidir. t saat süre içinde geçecek ısı miktarı

$$Q = kF \frac{\theta_{1y} - \theta_{2y}}{l} t \quad (7.2.3)$$

olacaktır.

Bu ifadelerde

K	: ısı iletim katsayısı	(kj/mhK)
F	: yüzey büyüklüğü	(m ²)
θ_{1y}	: sıcak yüzeyin sıcaklığı	(K)
θ_{2y}	: soğuk yüzeyin sıcaklığı	(K)
l	: levha kalınlığı	(m)
t	: zaman	(h)

olmaktadır.

Pratik duvar tavan döşeme ve düz levhalara kolaylıkla tatbik edilebilen bu ifadeler yardımıyla ısı kaybı hesaplanır. Verilen her iki ifadeye dikkat edilirse, elektrikteki

$$V = IR \quad (7.2.4)$$

Ohm kanununa benzetilebilir. Şayet $F = 1\text{m}^2$ alınırsa ise,

$$\Delta\theta = \theta_{1y} - \theta_{2y} \quad \text{sıcaklık farkı gerilime - V -}$$

$$Q \quad \text{ısı miktarı akım şiddetine - I -}$$

$$l/k \quad \text{oranı ise dirence -R-}$$

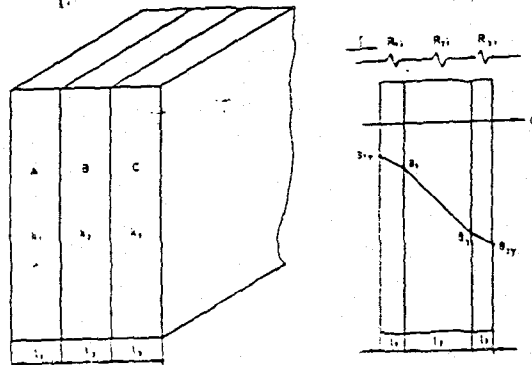
karşılık gelmektedir. Yani l/k oranı ifadelerimizde bir direnç olarak karşımıza çıkmakta olup

$$\frac{l}{k} = R_i \quad \left(\frac{\text{m}^2 \text{hK}}{\text{kJ}} \right) \quad (7.2.5)$$

- Isı iletim direnci - olarak adlandırılır.

7.2.2 Kompozit yapı hali

Şekil 7.2 de görüldüğü gibi levhalar genellikle yan yana getirilmiş paralel tabakalardan oluşturulmaktadır. Şayet bu tabakaların ısı iletim katsayıları k_1, k_2 gibi farklı değerlerde ve tabakalar l_1, l_2 gibi farklı kalınlıkta iseler içlerindeki sıcaklık değişimini gösteren doğrular farklı eğimlerde olacaktır.



Şekil 7.2. Paralel levhalar halinde ısı iletimi, (Dağsöz 1981)

Bütün levhalar aynı F yüzey büyüklüğünde ve yüzey sıcaklıkları büyükten küçüğe doğru θ_{1y} , $\theta_{1i}, \theta_{2i}, \theta_{2y}$ iseler 1 saat içerisinde geçen Q ısı miktarı

$$Q = KF (\theta_{1y} - \theta_{2y}) \left(\frac{kJ}{h} \right) \quad (7.2.6)$$

İfadesiyle belirlidir. t saatlik süre içinde geçecek ısı miktarı ise

$$Q = KF (\theta_{1y} - \theta_{2y})t \quad (kJ) \quad (7.2.7)$$

Bu ifadelerde

- K : toplam ısı geçiş katsayısı $(kJ/m^2h K)$
- F : yüzey büyüklüğü (m^2)
- θ_{1y} : sıcak yüzeyin sıcaklığı (K)
- θ_{2y} : en soğuk yüzeyin sıcaklığı (K)
- θ_{1i}, θ_{2i} : ara yüzey sıcaklıkları (K)
- t : zaman (h)

olmaktadır.

-K- Toplam ısı geçiş katsayısı ise

$$\frac{1}{K} = \frac{l_1}{k_1} + \frac{l_2}{k_2} + \frac{l_3}{k_3} \left(\frac{m^2 hK}{kJ} \right) \quad (7.2.8)$$

ifadesiyle belirlidir. l_1, l_2, l_3 (m) cinsinden levhaların kalınlıklarını, k_1, k_2, k_3 ise (kJ/mhK) cinsinden levhaların ısı iletim katsayılarını göstermektedir. Ohm kanunundan faydalanılarak burada da her levha için ayrı ayrı ısı iletimi direnç ifadeleri yazılabilir.

$$R_{1i} = \frac{l_1}{k_1}, \quad R_{2i} = \frac{l_2}{k_2}, \quad R_{3i} = \frac{l_3}{k_3} \quad (7.2.9)$$

ve bu halde (VI.2.6) ifadesi ise

$$Q = F \frac{\theta_{1y} - \theta_{2y}}{R_{1i} + R_{2i} + R_{3i}} \quad (7.2.10)$$

şekline gelir.

Bu ifadelerden faydalanılarak levha aralarındaki sıcaklıkların kolaylıkla bulunmaları veya izolasyon probleminin karakterine göre izolasyon malzemesinin dayanıklı olduğu sıcaklığa uygun kalınlığın hesaplanması mümkündür. Diğer bölümlerde bu ifadelerden sık sık faydalanılacaktır.

Q ısısı aynı zaman ve miktarda her levhayı kat ettiğine göre, sadece A levhası için

$$Q = k_1 F \frac{\theta_{1y} - \theta_1}{l_1} = F \frac{\theta_{1y} - \theta_1}{R_{li}} \quad (7.2.11)$$

sadece B levhası için

$$Q = k_2 F \frac{\theta_1 - \theta_2}{l_2} = F \frac{\theta_1 - \theta_2}{R_{2i}} \quad (7.2.12)$$

sadece C levhası için

$$Q = k_3 F \frac{\theta_2 - \theta_{2y}}{l_3} = F \frac{\theta_1 - \theta_{2y}}{R_{3i}} \quad (7.2.13)$$

A ve B levhaları için beraberce

$$Q = \frac{1}{\frac{l_1}{k_1} + \frac{l_2}{k_2}} F (\theta_{1y} - \theta_2) = F \frac{\theta_{1y} - \theta_2}{R_{li} + R_{2i}} \quad (7.2.14)$$

B ve C levhaları için beraberce

$$Q = \frac{1}{\frac{l_1}{k_1} + \frac{l_3}{k_3}} F (\theta_1 - \theta_{2y}) = F \frac{\theta_1 - \theta_{2y}}{R_{2i} + R_{3i}} \quad (7.2.15)$$

ifadelerini yazmak mümkündür.

Şayet n adet bitişik paralel levha mevcut ise kalınlıkları $l_1, l_2, \dots, l_n$ (m), yüzey sıcaklıkları $\theta_{1y}, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_{n-1}, \theta_{2y}$ ($^{\circ}\text{C}$) ısı iletim katsayıları $k_1, k_2, \dots, k_n$ (kj/mhK) ısı iletim dirençleri

$$R_{li}, R_{2i}, \dots, R_{ni} \left(\frac{m^2 hK}{kj} \right)$$

olmak üzere genel şekilde

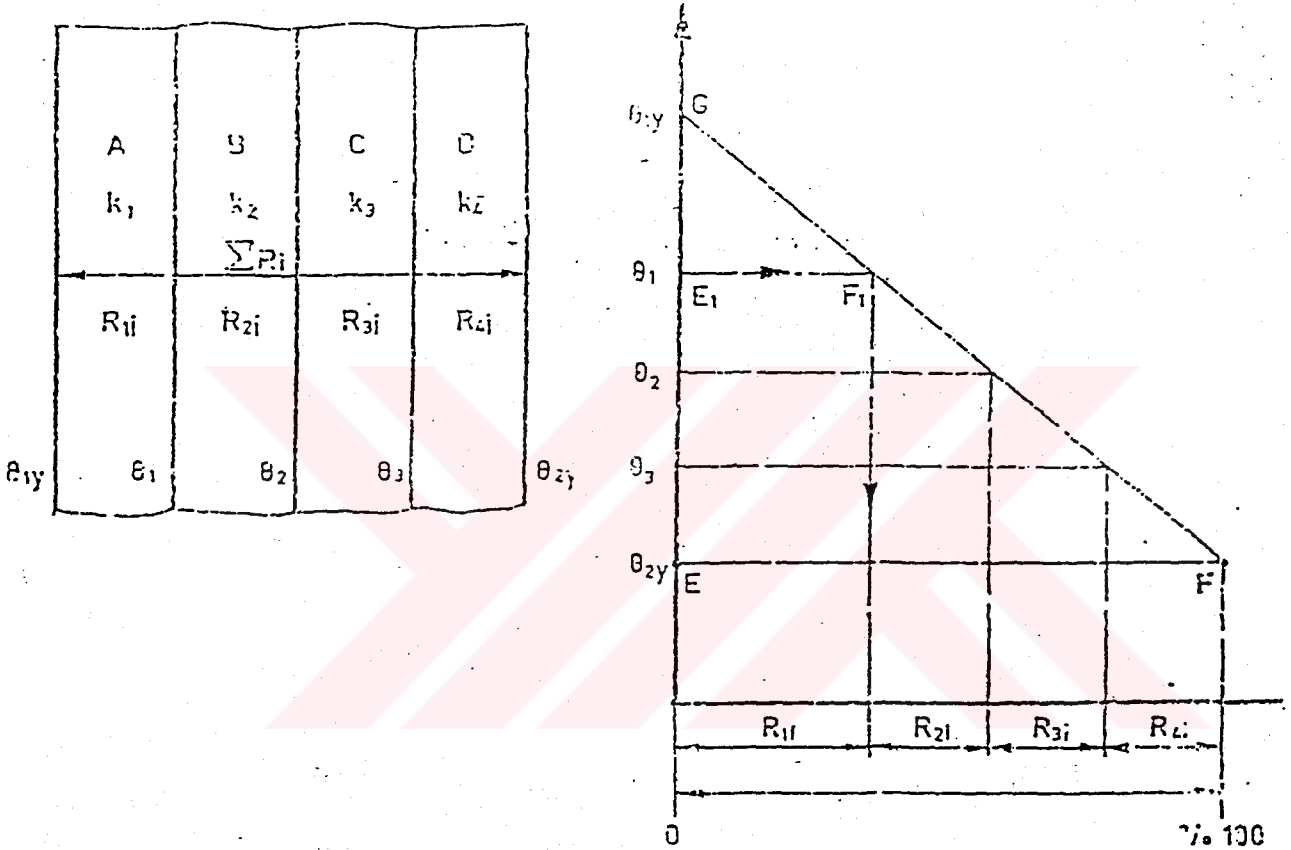
$$\frac{1}{K} = \frac{l_1}{k_1} + \frac{l_2}{k_2} + \frac{l_3}{k_3} + \dots + \frac{l_n}{k_n} \quad (7.2.16)$$

$$Q = FK (\theta_{1y} - \theta_{2y}) = F \frac{\theta_{1y} - \theta_{2y}}{R_{li} + R_{2i} + \dots + R_{ni}} \quad (7.2.17)$$

İfadeleri yazılabilir.

7-2.3. Bitişik Paralel Tabaklardan Meydana Gelmiş Levhalarda Tabaka Kalınlıklarının İstenilen Ara Sıcaklıklara Göre Grafik Yoldan Bulunmaları.

Şekil 7.3 de görüldüğü gibi k_1, k_2, k_3, k_4 ısı iletim katsayılarında, $R_{1i}, R_{2i}, R_{3i}, R_{4i}$ dirençlerinde olan bitişik A, B, C, D levhalarından meydana gelmiş duvarın her iki dış yüzey sıcaklıkları θ_{1y} ile θ_{2y} olsunlar.



Şekil 7.3.. İzolasyon kalınlığının grafik yoldan bulunması, (Dağsöz 1981).

Bu şekil pratikte çok katlı izolasyona misal olarak verilebilir. Ara sıcaklıklarının gerek izolasyon malzemelerinin özellikleri ve gerekse diğer teknik sebeplerle belirli değerlerde olması arzu edilir.

Mesela tav fırınlarındaki izolasyon malzemelerinin yüksek sıcaklıklara hassasiyeti ve izolasyon yapılan duvarlarda buhar difüzyonu sebebiyle meydana gelen terlemeleri-yoğuşmaları – önleme yönlerinden ara sıcaklıkların uygun değerlerde olmaları çok önemlidir.

(7.2.2.) bölümünde izah edildiği üzere $F = 1 \text{ m}^2$ büyüklüğündeki yüzeyden 1 saat içerisinde geçen ısı miktarı

$$Q = \frac{\theta_{1y} - \theta_{2y}}{R_{1i} + R_{2i} + R_{3i} + R_{4i}} \quad (7.2.18)$$

ifadesiyle belirlidir.

$$R = R_{1i} + R_{2i} + R_{3i} + R_{4i} \quad (7.2.19)$$

$$Q = \frac{\theta_{1y} - \theta_1}{R_{1i}} = \frac{\theta_1 - \theta_2}{R_{2i}} = \frac{\theta_2 - \theta_3}{R_{3i}} = \frac{\theta_3 - \theta_{2y}}{R_{4i}} = \frac{\theta_{1y} - \theta_{2y}}{R} \quad (7.2.20)$$

olduğuna göre

$$R_{1i} = R \frac{\theta_{1y} - \theta_1}{\theta_{1y} - \theta_{2y}}, R_{2i} = R \frac{\theta_1 - \theta_2}{\theta_{1y} - \theta_{2y}}, R_{3i} = R \frac{\theta_2 - \theta_3}{\theta_{1y} - \theta_{2y}}, R_{4i} = R \frac{\theta_3 - \theta_{2y}}{\theta_{1y} - \theta_{2y}} \quad (7.2.21)$$

yazılabilir.

Aynı şeklin sağ tarafından dikkat edilirse, yatay ekseninde 1 büyüklüğünde R ve başlangıç ile son noktalarındaki düşey doğrultularda ise θ_{1y} ile θ_{2y} değerleri alınmıştır. θ_{1y} ile θ_{2y} noktaları birleştirilince meydana gelen EFG üçgenini göz önüne alalım. Birinci A levhasının iç yüzey sıcaklığının θ_1 değerinde olması arzu edilsin.

0 noktasından çıkan düşey doğru üzerinde alınan θ_1 noktasından çizilen yatay doğrunun θ_{1y} θ_{2y} yani GF doğrusun kestiği F1 noktasının düşey doğruya olan θ_1 F mesafesi R_{1i} direncini, R direncine göre % olarak vermektedir.

GEF üçgeni ile GE_1F_1 üçgenlerinin benzerliğinden

$$\frac{\theta_{1y} - \theta_{2y}}{R} = \frac{\theta_{1y} - \theta_1}{E_1F_1} \quad (7.2.22)$$

$$E_1F_1 = R \frac{\theta_{1y} - \theta_1}{\theta_{1y} - \theta_{2y}} \quad (7.2.23)$$

bulunur ve (7.2.21) ifadelerine göre de

$$E_1F_1 = R_{1i} \quad (7.2.24)$$

olduğu anlaşılır. Ayrıca

$$R_{1i} = \frac{l_1}{k_1} \quad (6.2.9)$$

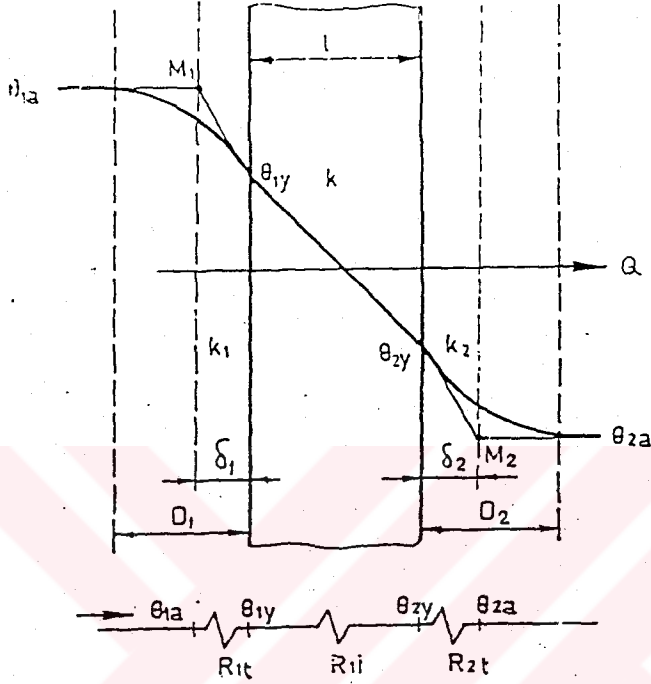
olduğuna göre de

$$l_1 = R_{1i} \cdot k_1$$

ifadesinden θ_1 sıcaklığı için uygun l_1 kalınlığı hesaplanır. Aynı yoldan hareketle diğer R_{2i} , R_{3i} ve R_{4i} dirençlerini dolayısıyla uygun l_2 , l_3 ve l_4 uzunluklarını bulmak mümkündür.

7-3. Yüzey Film Katsayısı

Levhaların her iki yanında bulunan akışkanlar gaz veya sıvı olabilir.



Şekil 7.4. Tek levha halinde ısı geçişi, (Dağsöz,1981)

Şekil 7.4 de görüldüğü gibi levhanın bir tarafında bulunan θ_{1a} ve diğer tarafında bulunan akışkan da daha düşük θ_{2a} sıcaklığında olsun, $\theta_{1a} > \theta_{2a}$ olduğuna göre ısı geçiş yönü okla belirtildiği gibidir ve θ_{1a} sıcaklığındaki akışkan ile temas eden levha yüzeyinin sıcaklığı daha küçük θ_{1y} değerini haizdir. Bu bölgedeki sıcaklık değişimi de şekilde belirtildiği üzere eğriseldir.

Levha içindeki sıcaklık düşmesi ise 7.2. Bölümünde izah edildiği şekilde olur. Levhanın diğer yüzeyindeki θ_{2y} sıcaklığı ise akışkanın θ_{2a} sıcaklığından daha büyük olup bu bölgedeki sıcaklık değişimi de eğriseldir.

Levhanın yüzeyleri ile temasta olan akışkanların levha yüzey sıcaklıklarına kadar olan sıcaklık değişimleri D_1 ve D_2 kalınlıklarındaki bölgelerde meydana gelir.

Düsey ekseninde sıcaklık değışimleri belirtildiğine göre θ_{1y} , θ_{2y} sıcaklıklarının bulundukları seviyelerinden bu eğrilere çizilen teğetlerle θ_{1a} ve θ_{2a} sıcaklıklarına karşılık gelen yatay doğruların kesim noktaları olan M_1 ve M_2 noktalarının yüzeylere olan δ_1 ve δ_2 mesafeleri içinde akışkanların hareketsiz oldukları kabul edilebilir. Bu hareketsiz tabakalar katı cisim gibi düşünülürse ve ısı iletim katsayılarına da – ısı geçirgenlik katsayıları da – k_1 ve k_2 ise

$$Q = F \frac{k_1}{\delta_1} (\theta_{1y} - \theta_{1a}) \quad (7.3.1)$$

$$Q = F \frac{k_2}{\delta_2} (\theta_{2y} - \theta_{2a}) \quad (7.3.2)$$

$$h_1 = \frac{k_1}{\delta_1}, h_2 = \frac{k_2}{\delta_2} \quad (7.3.3)$$

ifadeleri yazılabilir. 7.3.1 ve 7.3.2 nolu ifadelerdeki k/δ oranına yüzey film katsayısı denilir ve h ile gösterilir.

Bu tarife göre levhanın her iki yüzü için (7.3.1) ve (7.3.2) ifadeleri

$$Q = F h_1 (\theta_{1a} - \theta_{1y}) \quad (7.3.4)$$

$$Q = F h_2 (\theta_{2y} - \theta_{2a}) \quad (7.3.5)$$

Şeklinde yazılabilir ve bu ifadeler Newton Soğutma ifadesi olarak adlandırılır. Son iki ifade geçen Q ısı miktarını θ_{1a} , θ_{1y} veya θ_{2y} , θ_{2a} cinsinden vermektedir.

Geçen ısı miktarı sadece θ_{1a} ve θ_{2a} sıcaklıkları cinsinden

$$Q = FK (\theta_{1a} - \theta_{2a}) \quad (7.3.6)$$

ifadesiyle de hesaplamak mümkündür. Burada – K – toplam ısı geçiş katsayısı olup ($\text{kJ}/\text{m}^2\text{hK}$) birimindedir ve

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{h_1} + \frac{l}{k} + \frac{1}{h_2} \quad \left(\frac{\text{m}^2\text{hK}}{\text{kJ}} \right) \quad (7.3.7)$$

ifadesiyle belirlidir.

Yüzey film katsayısı cinsinden olan (6.3.4) ve (6.3.5) nolu ifadeleri Ohm kanunu ifadesine benzeterek burada da ısı taşınım direnci tarif edilebilir ve

$$\frac{1}{h} = R_t \quad \left(\frac{\text{m}^2\text{hK}}{\text{kJ}} \right) \quad (7.3.8)$$

- Isı taşınım direnci – olmaktadır.

Q ısısı sırayla δ_1 kalınlığındaki tabakayı, levhayı ve δ_2 kalınlığındaki tabakayı kat ettiğine göre, R_{1t} iç yüzey taşınım ve R_{2t} dış yüzey taşınım dirençleri olmak üzere her tabaka için ayrı ayrı

$$Q = F h_1 (\theta_{1a} - \theta_{1y}) = F \frac{\theta_{1a} - \theta_{1y}}{R_{1t}} \quad (7.3.9)$$

$$Q = F \frac{k}{l} (\theta_{1y} - \theta_{2y}) = F \frac{\theta_{1y} - \theta_{2y}}{R_i} \quad (7.3.10)$$

$$Q = F h_2 (\theta_{2y} - \theta_{2a}) = F \frac{\theta_{2y} - \theta_{2a}}{R_{2t}} \quad (7.3.11)$$

veya müşterek olarak

$$Q = F \frac{\theta_{1a} - \theta_{2a}}{R_{1t} + R_i + R_{2t}} \quad (7.3.12)$$

ifadeleri yazılabilir.

Şayet n adet bitişik paralel levha mevcut ise geçen Q ısı miktarı için θ_{1a} ve θ_{2a} akışkan sıcaklıkları cinsinden

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{h_1} + \frac{l_1}{k_2} + \dots + \frac{l_n}{k_n} + \frac{1}{h_2} \quad (7.3.13)$$

olmak üzere

$$Q = KF (\theta_{1a} - \theta_{2a}) \quad (7.3.14)$$

veya

$$R_{1t} = \frac{1}{h_1}, R_{2t} = \frac{1}{h_2}, R_{li} = \frac{l_1}{k_1}, \dots, R_{ni} = \frac{l_n}{k_n} \quad (7.3.15)$$

olmak üzere

$$Q = F \frac{\theta_{1a} - \theta_{2a}}{R_{1t} + R_{1i} + \dots + R_{ni} + R_{2t}} \quad (7.3.16)$$

İfadelerini yazmak mümkündür, (Dağsöz, 1981).



8. ISIL İŞLEM FIRINLARINDA KULLANILAN ISI İZOLASYONU MALZEMELERİNİN BOYUT OPTİMİZASYONU;

Fırınlara yalıtımı, diğer tesislerin yüzeylerinin yatılıma oranla daha komplike bir konudur. Fırınlara yalıtımında kullanılan başlıca iki metot vardır. Birincisi; sürekli rejim halinde çalışan fırınlarda e fırın içindeki sıcaklık basınç gibi atmosferik şartların önemli olduğu durumlarda iç yüzeyler refrakter malzemeler ve bu malzemelere ilişkin bazı özellikler Şekil 8.1, Şekil 8.2, ve Şekil 8.3’de verilmiştir. İkincisi ise, kısa süreli şarj edilen kesikli çalışan ve fırın içindeki atmosferik şartların çok önemli olmadığı durumlardır. bu sistemlerde yapılan kaplama aynı zamanda yalıtım görevi yapabilir.

Hangi tür yalıtım metodu kullanılırsa kullanılsın, ısı kayıpları başlıca iki yolla gerçekleşir;

- 1- Isı iletimi, ısı taşınımı ve ısı ışıınımı yolu ile fırın yüzeylerinden olayın kayıplar;
- 2- Fırının tuğlaları tarafından depolanan ısının kaybolması;

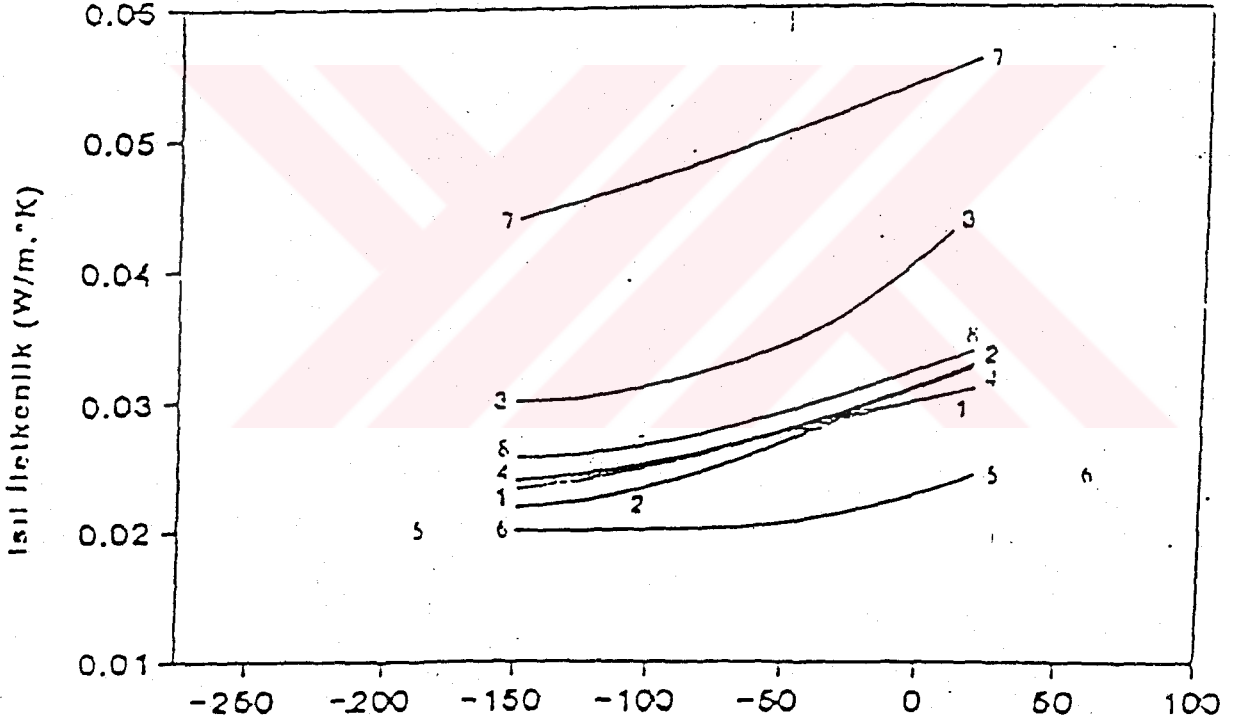
Kesintili ve sürekli rejim halinde çalışan fırınla arasında prensip olarak farklılıklar vardır. Sürekli rejim halinde çalışan fırınlarda, fırın daima belirli bir çalışma sıcaklığında tutulmalıdır. Bu sebeple; fırın dışı yüzeylerinden olan ısı kayıpları, fırının kendisini ısıtması için gerekli olan ısı miktarından daha yüksektir. Kısa süreli şarjlarla, kesikli olarak çalışan fırınlarda ise, durum bunun tersi olabilir. Yani fırının kendisini ısıtması için gerekli olan ısı, yüzeylerden olan ısı kayıplarından daha fazla olabilir.

Fırın tipine bağlı olarak ortaya çıkan bu farklılık, yalıtım açısından problemlere sebep olabilir. Sürekli rejim halinde çalışan fırınlarda yalıtımın amacı, fırın dış duvarlarda olan ısı kaybını önlemeye yöneliktir. Kısa süreli yüklenen yada kesintili çalışan fırınlardaki amaç ise dış yüzey kayıplarını da dikkate almak şartıyla depolanan ısı kayıplarının da azaltılmasıdır.

Fırınlara yalıtımında sıcaklık dağılımları da dikkate alınmalıdır. Kesintili olarak çalışan ve proses gereği soğutulan fırının dış yüzeyleri yaratılmışsa buralardan olan ısı kaybı daha yavaş olacaktır.

Eğer iç sıcaklığın hızla düşürülmesi gerekiyorsa, sadece bu amaç için yalıtımın seviyesinin düşürülmesi doğru bir seçim değildir. Fırının soğutulması, fırına verilen soğuk hava yada gazlar vasıtası ile sağlanabilir.

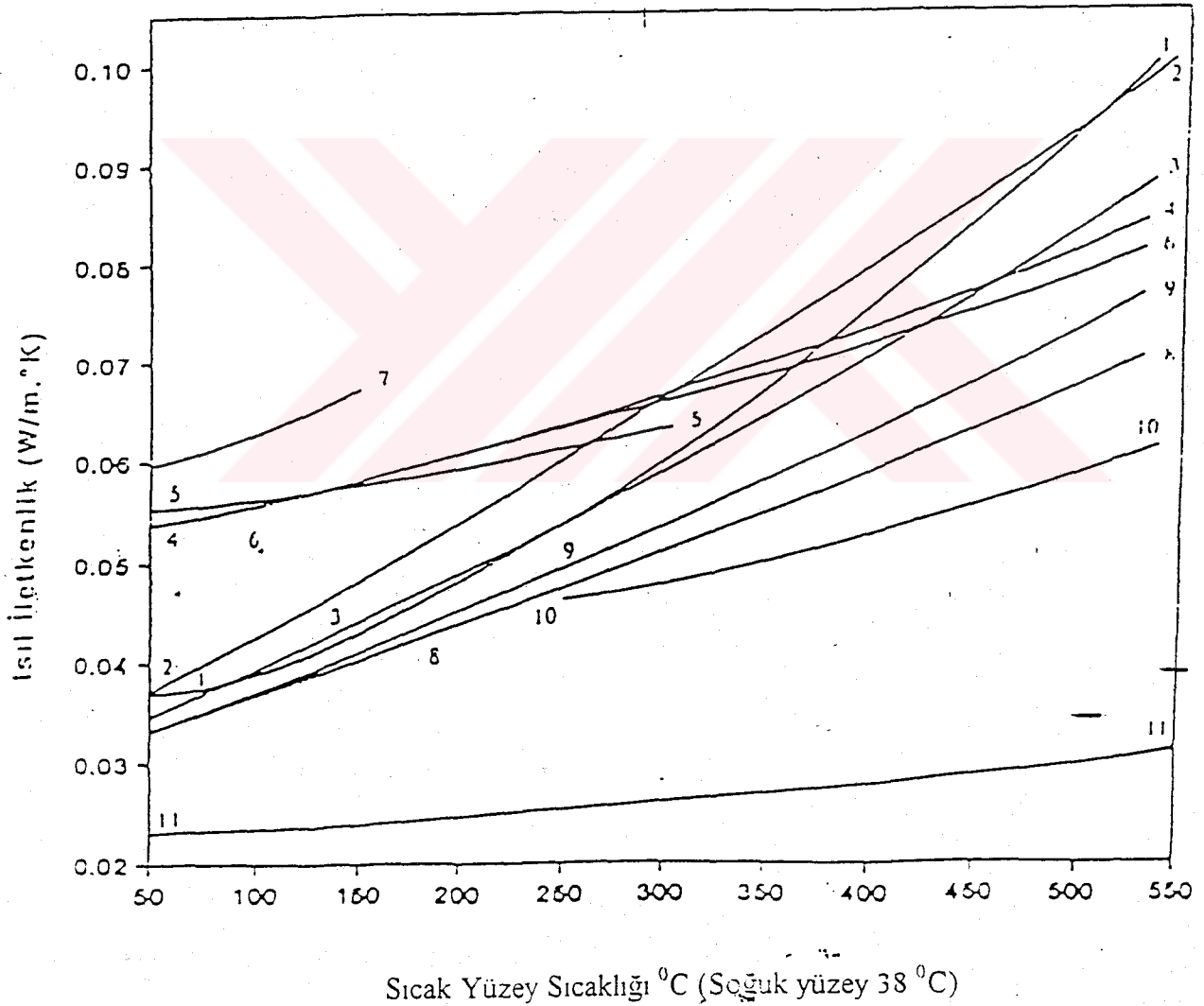
1. Fenolik Köpük	kg/m ³
2. Genişletilmiş Polistren	36
3. Mantar	32
4. Genişletilmiş PVC	112-92
7. Cam köpüğü	145
8. Genişletilmiş Perlit	48



Sıcak Yüzey Sıcaklığı °C (Soğuk yüzey 38 °C)

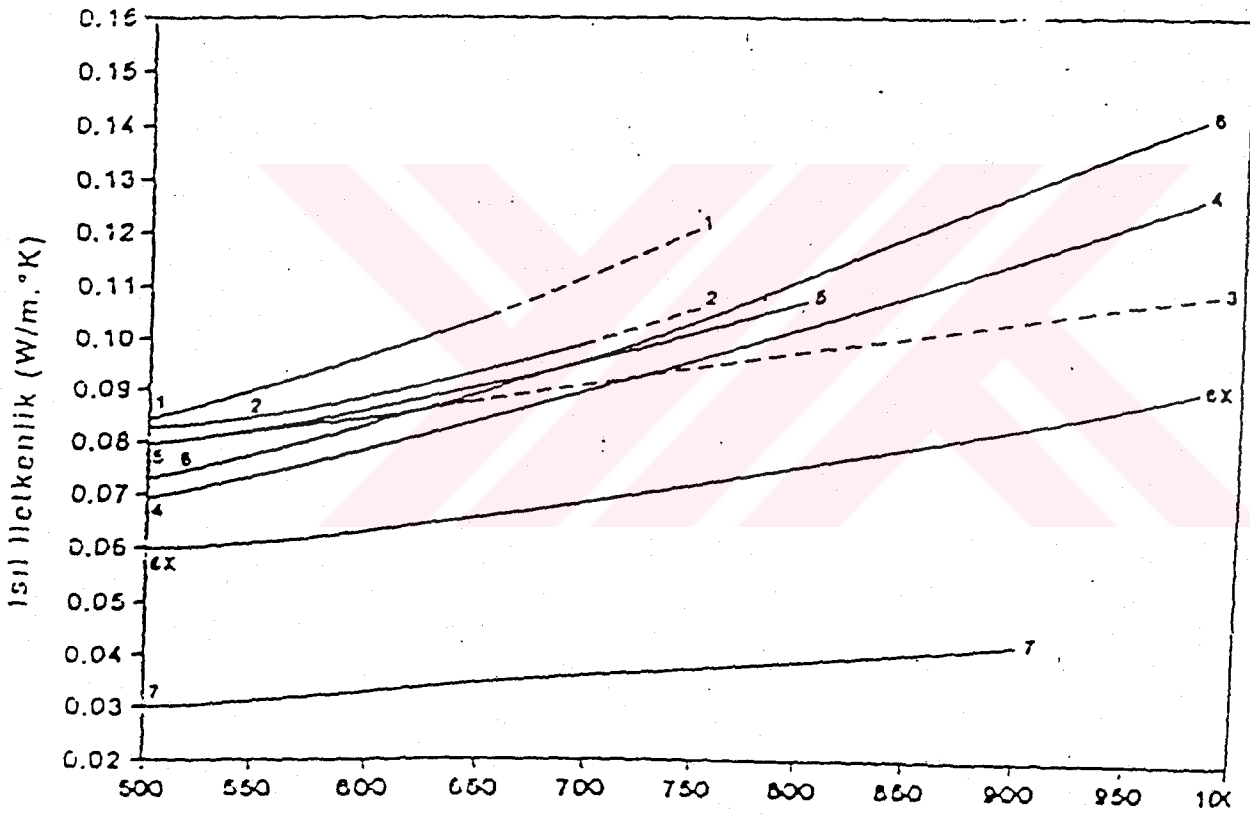
Şekil 8.1 Düşük sıcaklıkta kullanılan izolasyon malzemeleri ve bunlara ait ısı iletkenlik değerleri. (Kanat. 1998)

	Kg/m ³
1. Mineral esaslı elyaf şilte, levhalar (İnce cam elyafı)	48
2. Mineral esaslı elyaf püskürtmeler (Gevşek dolgu)	64
3. Mineral esaslı elyaf levhalar	90-400 ⁰ C
	110-400 ⁰ C
4. Mineral esaslı elyaf püskürtmeler	240
5. Mangezyum levhalar	190
6. Kalsiyum silikat levhalar	190-200
7. Cam Köpüğü levhalar	145
8. Alüminyum silikat levhalar (şilte, battaniye)	96
9. Silis elyaflar (sert)	96
10. Silis elyaflar (Gevşek dolgu malzemeler)	Özel yapılmış ince iplik halinde



Şekil 8.2. Orta sıcaklıkta kullanılan izolasyon malzemeleri ve bunlara ait ısı iletkenlik değeri, (Kanat, 1998)

	Kg/m ³
1. Mineral esaslı elyaf şilte, levhalar	110
2. Mineral esaslı elyaf püskürtmeler	240
3. Kalsiyum silikat şilte, levhalar	190-220
4. Alüminyum silikat elyaflar	96
5. Alüminyum silikat elyaflar (püskürtme uygulamaları için)	200
6. Silis elyafları, Gevşek dolgu	96
7. Silis elyafları/Özel yapılmış ince iplik halinde)	96



Sıcak Yüzey Sıcaklığı °C (Soğuk yüzey 38 °C)

Şekil 8.3. Yüksek sıcaklıkta kullanılan izolasyon malzemeleri ve bunlara ait ısı iletkenlik değerleri

Etkili bir yalıtım uygulaması refrakter malzemeler arasındaki sıcaklıklar açısından da önemlidir. Dış yüzeyleri yalıtılan bir fırında iç yüzey ile dış yüzey arasındaki sıcaklık farkları da değişecektir. Pratikte, yalıtım sonrası fırın içi sıcaklığı, yalıtım öncesi durum ile aynı olsa ve yakıt tüketimi daha az olsa dahi refrakterler arasındaki ortalama sıcaklık değeri yükselir. Refrakter arasında yada yalıtım malzemelerinde meydana gelen bu aşırı ısınmadan dolayı:

1 – Refrakter malzemeler eriyebilir ve bunu sonucunda fırın çökebilir.

2- Yapılan yalıtım bozulabilir yada etkinliğini yitirebilir.

Dış duvarlara yerleştirilen refrakter malzemelerin tuğla tarafındaki sıcaklıkları tuğlanın dayanabileceği sınırdan tutulmalıdır. Dış yüzeyin yalıtımından dolayı yükselen sıcaklıklar, özellikle tuğlaları olumsuz bir şekilde etkiler ve tehlikeli durumlar yaratabilir.

Bu yüzden yüksek çalışma sıcaklıklarındaki fırınların yalıtımı yapılmadan önce, fırın tesisini yapanların yada yalıtım tuğlası imalatçıların görüşü mutlaka alınmalıdır.

Fırınların yalıtımı sonucu, fırının ısıtılması için kullanılan yakıt miktarı da düşürülür. Fırının ilk ısıtılması sırasında tuğlalar belirli bir sıcaklığa getirilir. Bunun için ne kadar enerjinin gerekli olduğu her zaman için tanımlanamaz. Yüklenen bir fırının belirli rejim halinde, kesintisiz olarak çalışan bir fırında, fırının ısıtılması için kullanılan ısı miktarının kullanılan toplam ısı miktarına oranı, genellikle çok düşüktür.

Bu oranın belirlenmesinde bir haftalık çalışma süresi dikkate alınabilir. Sadece gündüzleri çalışan, geceleri durdurulan bir fırında, bu oran biraz daha yükselir. Sonuç olarak, her şarjda gerekli sıcaklığa kadar ısıtılan, ısıtma ve soğutma şeklinde bir işlem şeklinin uygulandığı fırınlarda tuğladan yapılmış duvarla ve benzeri kısımlar tarafından absorbe edilerek tüketilen ısı proses için gerekli olan yararlı ısıya göre beklenmezdi oranlarda yüksek olabilir.

Fırın gövdesi tarafından depolanan ısı, fırını meydana getiren yapı elemanlarının her bir komponentinin ağırlığına özgül ısısına ve ortalama sıcaklık artışına bağlıdır.

Fırının dış yüzeyine yapılan yalıtım uygulamaları, fırın duvarları tarafından depolanan ısı miktarının artmasına sebep olur. Dış yüzeye yapılan 100 mm yalıtım ilavesi sonucu, duvarlar tarafından depolanan ısı miktarında yaklaşık %60 oranında artışa sebep olur. Dış duvarlardan

olan ısı kaybındaki azalmaya karşılık yine dış duvarlar tarafından depolanan ısı miktarındaki artış bu ikisi arasında bir kompozisyonun yapılmasını ve optimum noktanın belirlenmesini zorunlu kılmaktadır.

Şarj süresi kısa olan fırınlarda bu durumda daha fazla enerji tasarrufu yapma imkanı olabilir.

Son zamanlarda fırınların yalıtımında en çok kullanılan metod sıcak yüzey tarafından yapılan yalıtımı uygulamalarıydı. Çok iyi yalıtım özelliklerine sahip olan refrakter malzemelerdeki gelişmeler, düşük yoğunluktaki seramik yünlerin ve küçük gözenekli yalıtım malzemelerinin kullanımını da beraberinde getirmiştir. Bu malzemelerin başlıca avantajları, ısı iletkenliklerinin düşük ve ısıl şoklara olan dirençlerinin yüksek oluşmuştur. Şartlarında çalışan fırınlar, iç yüzeyden yapılan yalıtım uygulamalarında bu malzemelerin kullanılması, enerji tüketimini önemli oranlarda azaltacaktır. Bu malzemelerin kullanıldığı yerlerde kimyasal zararlara maruz kalma riskine karşı veya bazı uygulamalar için daha fazla mekanik mukavemet gereken yerlerde, kaplama gibi ilave koruma tedbirlerin alınması da mümkündür.

8.1. Düz Yüzeylerin Yalıtımının Ekonomik Analizi Ve Kullanılacak İzolasyon Malzemesi Kalınlığı Tespiti

Düz yüzeylerde, ne kadar çok yalıtım malzemesi kullanılırsa, o kadar çok enerji tasarruf edilebilir. Çünkü; ısı iletim alanı sabittir ve ilave yalıtım toplan ısı transfer katsayısını düşürür. Ancak kullanılan her yalıtım tabakası bir önceki birimin sağladığı enerji tasarrufunu sağlayamaz. bu nedenle, En ekonomik yalıtım kalınlığının saptanması gerekmektedir. Bu amaçla, toplam maliyetin yalıtım kalınlığına göre türevi alınıp sıfıra eşitlenir.

1 yılda 1 m² alandan olan ısı kaybının TL olarak tutarı:

$$M = \frac{A}{(l/k) + R} (TL/m^2) \quad (8.1.1)$$

$$\text{Burada; } A=y (T_1-T_a) M \quad (8.1.2)$$

y : Yıllık çalışma saati	(h)
T _i : Yalıtımının iç yüzey sıcaklığı	(°K)
T _a : Yalıtımın dış yüzey sıcaklığı	(°K)
M: Isının Maliyeti	(TL/kj)
R: Isıl direnç	(m ² h°K/kj)
l: Yalıtımın kalınlığı	(m)
k: Yalıtımın ısı iletim katsayısı	(kj/mh°K)
Y: Toplam maliyet	(TL)
1 yıl ve 1 m ² için yalıtım maliyeti	(n)

$$n = b \cdot l \quad (\text{TL/m}^2\text{yıl}) \quad (8.1.3)$$

b = 1 m³ yalıtımın ekonomik ömrü ve işçilik ile bakım masrafları da dahil olmak üzere bir yıla düşen maliyeti (TL/m³. yıl)

1 yıl ve 1 m² için toplam maliyet. $Y = m + n$

$$Y = \frac{A}{(l/k) + R} + n = \frac{Ak}{l + (Rk)} + b l \quad (8.1.4)$$

$$Y = \frac{dy}{dl} = - \frac{Ak}{(l + Rk)^2} + b = 0 \quad (8.1.5)$$

$$\text{En ekonomik yalıtım kalınlığı} = l = \sqrt{\frac{Ak}{b}} - R.k \quad (8.1.6)$$

olarak bulunur.

8.2. Yalıtım Sonrası Isı Kayıpları

Düzlem yüzeyler için, yalıtılmış yüzeylerden olan ısı kayıpları, aşağıdaki formül ile hesaplanabilmektedir.

$$Q = \frac{(T_s - T_a)}{\Sigma R} \quad (8.2.1)$$

- Q : Isı kaybı (W)
A : Isı iletim alanı (m²)
T_s : Yüzey sıcaklığı (K)
T_a : Ortam Sıcaklığı (K)
R : Isıl direnç (m²K/W)

Tek kat yalıtım uygulamaları toplam duvarı topla ısısal direnci yüzeyin ve yalıtım tabakasının dirençlerinin toplamına eşittir.:

$$\Sigma R = R_1 + R_s \quad (8.2.2)$$

R₁ : Yalıtım malzemesinin ısıl direnci

R_s : Yüzeye ait ısıl direnç

Bileşik haldeki çok katlı yalıtım uygulamaları için toplam direnç şu şekilde hesaplanır:

$$\Sigma R = R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_s \quad (8.2.3)$$

$R_1, \dots, R_n$ = Farklı yalıtım malzemelerinin malzemenin ısı dirençlerini göstermektedir. Isısal direnç yalıtım kalınlığı ve malzemenin ısısal iletkenliğinin bir fonksiyonu olarak değişmekte ve şu bağıntı ile verilmektedir.

$$R = (l/k) \quad (8.2.4)$$

Burada;

L : Yalıtım kalınlığı (m)

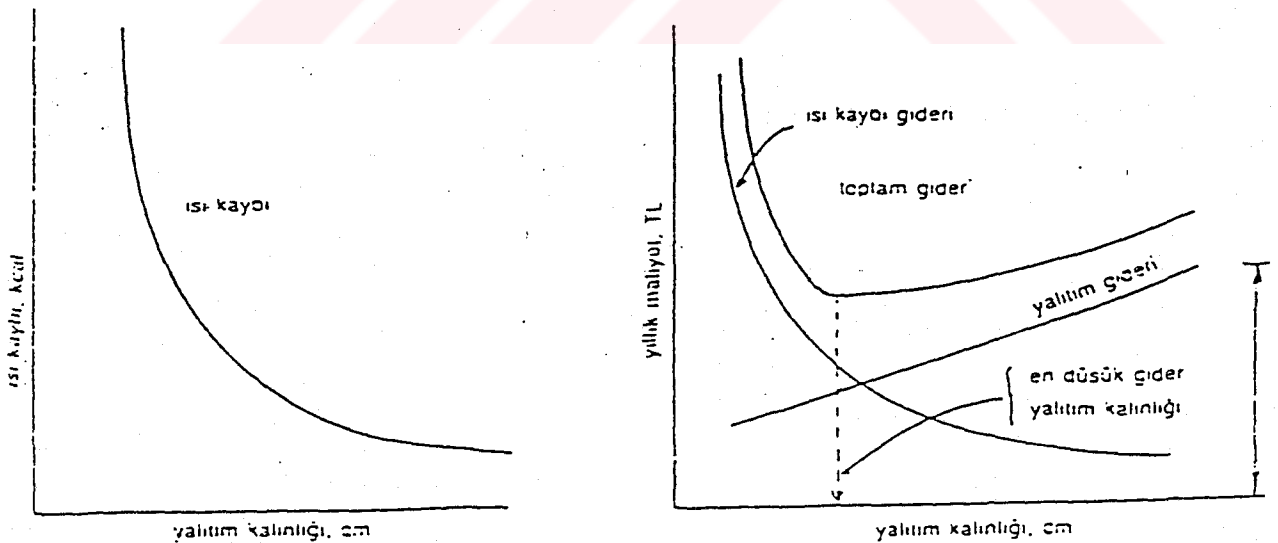
k : Yalıtım malzemesinin ısı iletkenliği (W/mK)

olarak bulunur.

8.3. Grafik Yöntem İle İzolasyon Kalınlığının Tespiti

Ekonomik yalıtım kalınlığı analitik metodların yanısıra grafik metotla da bulunabilir.

Şekilde görüldüğü gibi ısı kaybından yola çıkarak ve ekonomik parametreleri de hesaba katarak dikey eksene TL olarak maliyet yerleştirilebilir. Böylece ısı kaybı ve yalıtım maliyetlerini gösteren eğriler toplandığında toplam maliyet eğrisi bulunmuş olur. En ekonomik yalıtım kalınlığı toplam maliyet eğrisi bulunmuş olur. en ekonomik yalıtım kalınlığı toplam maliyet eğrisinin en düşük olduğu nokta ile kesişir.



Şekil 8.4. Ekonomik yalıtım kalınlığı, (Kanat, 1998)

9. SONUÇLAR :

Giriş ve tez metninde açıklandığı gibi enerji maliyetlerinin önceki 10-15 yıla göre çok fazla artmasından dolayı işletmeler piyasada rekabet edebilmek için enerji maliyetlerini düşürmek zorundalardır. Bunun içinde ısı ile çalışan makine ve sistemlerini çok iyi izole etmelidir. Ancak bunu yaparken makine veya fırın seçimini doğru yapmak zorundalardır. Çünkü birbirine uygun olmayan ortam ve malzeme ikilisi işletmeye yarardan çok zarar getirebilir. Bunun için ortam ve kullanılacak malzemeyi iyi seçmek bununla birlikte kullanılacak izolasyon malzemesinin kalınlığını iyi hesaplamak gerekir. İzolasyon malzemesi kalınlığı kadar fazla tutulursa dışarıya kaçacak ısı ve enerji miktarı o oranda azaltılmış olur. Ancak bu kalın izolasyonu yaparken de izolasyon maliyetlerini ve fırın çevresinde izolasyon yapılabilecek olan mesafelerin göz önünde tutulması gerekmektedir. Çünkü zaten birçok işletme içersinde çoğunlukla yer sıkıntısı olduğu için yapılacak izolasyon kalınlığı da sınırlıdır. Eğer yer problemi yok ise bu sefer de izolasyon için harcanan masraflar dikkate alınmalıdır. Enerji maliyetlerini düşürmek isterken bu maliyetten daha fazlasını izolasyon maliyetine vermekte işletmeler için zararlıdır. Buna göre son bölümde irdelediğimiz ve çıkarmış olduğumuz formüller ve grafikten yola çıkarak yapılabilecek hesaplamalar, maliyetler ve yapılacak izolasyon kalınlıkları optimum bir düzeyde tutularak enerji maliyetlerinin düşürülebilmesi sağlanabilir

Kaynaklar

Dağsöz, A. K., (1981), " Isı İzolasyonu ", İ.T.Ü

FUHRERS, M., (1996)," Çok Yüksek Sıcaklıkların Isı Yalıtımı",Yalıtım Dergisi, Yıl 1996, Sayı 1.

Gültekin Ş., (1987), "Isıl İşlem Fırınlarının İncelenmesi, Termik Hesabı, Otomatik Kontrol Devrelerinin Çizimi Ve Boyutlandırılması", Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü (yayımlanmamış).

KANAT, A., (1998), " Isı Yalıtımı ", Lisans Bitirme Tezi, İTÜ Kimya- Metalurji Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü

Söğüt Refrakter Malzemeleri A. Ş. Ürün Bilgi Föyleri

The U. S. Department Of Energy Office Of Industrial Program, (1985),"Economic Thickness For Industrial Insulation",The Fairmont Press Inc, Atalanta

Thermal Ceramics De France Sa Ürün Bilgi Föyleri

Topbaş, M. A., (1993), " Isıl İşlemler ", Y. T. Ü.

Topbaş, M. A., (1993), " Endüstriyel Fırınlar Cilt 1 Ve Cilt 2 ", Y. T. Ü.

Turner, W. C.,Malloy, J. F., (1981), "Thermal Insulation Handbook", Robert E. Krieger Publishing Company, Malabar, Florida.

Yıldız, C., (1988), " Isı İzolasyon Malzemelerinin Araştırılması Ve Çeşitli Prosesler İçin Optimum İzolasyon Kalınlıklarının Tespiti ", Yüksek Lisans Tezi , YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	26.12.1975	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1986-1993	Özel Ortadoğu Lisesi
Lisans	1994-1998	Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya Metalurji Fakültesi Metalurji Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı kurumlar

1999- Devam ediyor AKM Metalurji San. Ltd. Şti.

