Teknik yazı

YENİDEN ISITMA FIRINLARI

Ali DOĞAN Metalurji Mühendisi

Metalleri ısıtma işlemi; kristal yapısının değiştirilerek metalin plastik deformasyon için gerekli plastik özellikleri sağlamaktır. Isıtma şartları, (haddeleme ve dövme işlemlerinde) kaliteyi, maliyeti ve verimi belirlemektedir. Bundan sonraki çalışmalarda **metal olarak çelik** seçilecek olup benzer yöntemler diğer metallere de uygulanabilir.

1. OKSİTLENME VE METALDE KARBON YANMASI

1.1. Oksitlenme

Yüksek sıcaklıklara ısıtmalarda; yüzeyde tufal oluşması nedeniyle metal kaybı oluşur. Bu kayba oksitlenme kaybı denir ve kg başına veya oran olarak tarif edilir. Batch (parti) tipi veya sürekli fırınlarda bu oranın %1-2 civarında olması normal kabul edilmektedir. Oksitlenme kaybı, korozyon kaybından az değildir.

1000 °C ve üzeri sıcaklıklarda; sıcaklık arttıkça oksitlenme giderek artar. Çeliğin üç tür oksidi bulunmaktadır. Bunlar; wüstit (FeO) ergime sıcaklığı 1377 °C, hematit (Fe_2O_3) ergime sıcaklığı 1538 °C ve magnetit (Fe_3O_4) ergime sıcaklığı 1565 °C seviyesindedir. Tüm bu oksitlerden oluşan tufal yığını, kütle olarak manyetit özelliği gösterir.

Oksitlenme prosesi iki kısımdan oluşur. İlk kısımda; oksijen çeliğin dış yüzeyinden çelik içine doğru difüze eder, ikinci kısımda ise içerideki çelik ve demir dışarıdaki oksit tabakasına (tufal) difüze eder.

Oksitlenmeye; ortam sıcaklığı, ısıtma süresi, fırın içerisindeki yanma gazlarının kompozisyonu, çeliğin kompozisyonu gibi birçok faktör etki etmektedir. Oksitlenme, yüksek sıcaklıklarda daha fazla olur, çabuk ısıtmada ise daha az olur.

W.Heilingenstad tarafından yapılan bir çalışmaya göre; sıcaklık ile birlikte kg/m^2 cinsinden tufal kaybı aşağıdaki tabloda sunulmaktadır:

Tablo:1

Sıcaklık °C	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1350
Tufal kaybı (kg/m2)	0,1	0,2	0,3	0,5	0,9	1,8	2,9	3,5

Yukarıdaki tabloya bakıldığında ve 800 °C ile 1350 °C karşılaştırıldığında tufal kaybı 17 kat daha fazla olduğu görülmektedir.

Ocak atmosferinde bulunan O_2, CO_2, H_2O ve SO_2 gibi birçok gazın oksitleyici özelliği vardır, bunun yanında CO ve H_2 redükleyici özellik, N_2 ise inert özellik gösterir. Fırın atmosferinde serbest oksijen bulunmasa bile, atmosferde bulunan CO_2 ve H_2O nedeniyle yanma gazı oksitleyici özellik gösterir. Yanma gazlarında sülfür bileşikleri artarsa; sülfürler tufalın ergime sıcaklığını düşüreceği için difüzyon artar. Sülfür ve sıcaklığın artması ile birlikte fırın atmosferinin oksitlenme derecesi artar, su buharı oksitlenmeyi devam ettirir.

Tufal kalınlığı arttıkça oksitlenme hızı da azalır. Tufalın fiziksel özellikleri, tufalın yoğunluğu ve tufalın metale bağlanma özelliğine bağlı olarak değişir. Yapılan çalışmalara göre FeO'in metale bağlanma özelliği fazladır. Bunun yanında; 1000 °C altındaki sıcaklıklarda ve yumuşak çeliklerde, sert çeliklere göre bağlanma daha fazladır. Çelikte Mn oranı arttıkça bağlanma sınırlı olmaktadır.

Fırın atmosferinde bulunan oksijenin tufal oluşumuna etkisi azdır. Bu nedenle fırındaki gazların hızı oksitlenme ile metal kaybına etkisi çok azdır.

Çeliğin C miktarının da tufal oluşumu üzerinde bazı etkileri vardır. Orta karbonlu çeliklerin, düşük karbonlu çeliklere göre oksitlenme hızı daha azdır, bu durum özellikle ısıl işlem için çok önemlidir.Isıtma esnasında oluşan tufallerde; yüksek karbonlu çeliklerde, düşük karbonlu çeliklerin tufallerinegöre daha fazla Fe atomu elde edilmiştir. Bu, yüksek

karbonlu çeliklerde karbon oksitlendiğine oluşan CO'in çelikte oksitlenmeyi engellemesi nedeniyledir.

Fırın atmosferinde oksitleyici gazlar sürekli bulunur ve bunları azalan aktivite sırasına göre; oksijen, hava, karbondioksittir. Eğer; fırın atmosfer gazlarında sülfür bulunursa oksitlenme kaybı birden artar. Fırın atmosferinde %0,1 oranında SO_2 bulunması durumunda oluşacak tufal kaybı; fırın atmosferinde % 1 oksijen durumuyla eşdeğerdir. Alaşım elementlerin oksitlenme ve karbon kaybına etkisi aşağıdaki gibidir.

Cr tane sınırlarındaki sülfür korozyonunu sınırlandırır,

Yüksek Si içeren çeliklerde oluşan tufal daha yoğundur, bu da Si bulunması nedeniyledir,

Çelikte Al bulunması oksitlenmeyi zorlaştırır; dolayısıyla öldürülmüş çelikler, yarı öldürülmüş göre daha az oksitlenmeye meyillidir.

Koruyucu atmosferde ve ısıtma süresini azaltmakla oksitlenme kaybı azaltılabilir. Yüksek hızlı ısıtma; oksitlenme kaybını azaltır, ancak oksitlenmeyi önlemede yetersiz kalır. Oksitlenme kaybını azaltma sadece kontrollü atmosfer ile mümkündür.

Haddeleme ve dövme işlemleri için; metalleri 1150-1300 °C arası sıcaklıklarda ısıtmak gerekir. Oksitlenmeyi azaltmak için "az oksitleyici fırınlar" olarak adlandırılan fırınlarkullanılmalıdır.

1.2. Karbon Yanması

Karbon yanması; çeliğin yüzeyinde oluşan oksitlenme nedeniyle oluşur, ancak aynı zamanda demirin oksitlenmesi ile de oluşabilmektedir. Eğer; oksitlenme hızı karbon yanmasından daha fazla ise; çelikte karbon yanması olan bölgeler görülmez. Karbon yanması genelde tufal bölgesinde oluşur.

Karbon yanması çeliğin mekanik özelliklerini değiştirir. Yanma olan bir çelikte; yorulma ve statik yüklemelere karşı direnç azalır. Takım Çelikleri (toolsteels) ve Rulman Yatak Çelikleri (ball-bearingsteels) gibi yüksek karbonlu çelikler karbon yanmasına karşı çok hassastır. Takım çeliklerinde kesme bölgesi, karbon yanmasına karşı çok hassastır (özellikle matkap uçlarında).Çeliklerde karbon yanmasına uğramış bölgedeki hasarı gidermek çok zordur, hatta bazen imkânsızdır. Karbon yanması ortamda; CO_2, H_2, ve O_2 bulunması durumunda artar. Eğer metal içinde demir karbür (Fe_3C) varsa ve karbon yanmasına neden olan gazlar Fe3C ile reaksiyona girerse, bu reaksiyon sonucu oluşan gazlar ters etki (redükleme) yapar. Fe_3C ile oluşabilecek dekarbürizasyon reaksiyonları aşağıda gösterilmektedir:

$Fe_3C + H_2O \rightarrow 3Fe + CO + H_2$

$Fe_3C + CO_2 \rightarrow 3Fe + 2CO$

$2Fe_3C + O_2 6Fe + 2CO \rightarrow$

$Fe_3C + 2H_2 \rightarrow 3Fe + CH_4$

Yukarıdaki reaksiyonlardan görülebileceği gibi; reaksiyon sonucu redükleyici gazlar oluşmaktadır ve bu da karbon yanmasını zorlaştırıcı etki yapmaktadır. Su buharı en kuvvetli karbon yanması oluşturan gazdır bunu H_2, O_2 ve CO_2 takip eder. **Karbon yanması derinliği karbon miktarının ve sıcaklığın artması ile artar.**

Karbon yanması; yüksek sıcaklıkta tutma süresine, verilen fazla hava (excess-air) miktarına, yanan yakıtın cinsine, sıcaklığına, çeliğin kompozisyonuna, plastik şekil verme esnasındaki çeliğin redüksiyonuna bağlı olarak değişir. Birçok karbon çeliğinde, karbon yanması etkisi yanma ürünlerinde en az %1-3 arası serbest O_2 olması durumunda görülmektedir. **Bu açıdan bakıldığında; yüksek karbonlu çelikler ve yüksek hız çeliklerinin ısıtılmasında; eğer fırın atmosferinde yüksek oranda su buharı ve H_2 olduğu durumda, ısıtma işlemi oksijen içermeyen ortamda yapılmamalıdır. (R1)**

Haddeleme ve derin çekme işlemleri esnasında karbon yanma derinliği, redüksiyon derecesi açısından çok önemlidir. Bir üründe yüksek oranda redüksiyon olması durumunda çok fazla yüzey oluşacaktır, bu durumda karbon yanma derinliği az olmalıdır.

Bir çeliğe Al, Co, W alaşım ilavesi yapıldığında; karbon yanmasını artırıcı etki yapar.

Bir çeliğe Cr ve Mn ilavesi yapıldığında; karbon yanmasını engelleyici etki yapar.

Bir çeliğe Si, Ni ve V ilavesi yapıldığında; karbon yanmasını konusunda bir etki göstermez.

Karbon yanması ile mücadele etmek için çeliği; çok hızlı olarak haddeleme sıcaklığına kontrollü atmosferde ısıtmak gerekmektedir

2. ISITMA

2.1. Isıtma Sıcaklığı ve Isıtma Şartları

Isıtma sıcaklığı dendiğinde; genelde yüzey sıcaklığı anlaşılır ve optik pirometre ile ölçülür.

Isıl işlem yapılacaksa; çeliğin türüne ve yapılacak ısıl işlemin amacına göre, işlem sıcaklığı belirlenmelidir. Bu sıcaklık; plastik deformasyonu kolaylaştıracak kadar yüksek, üretim ekipmanlarının (merdane veya kalıp) sağlamlığını ve sürekliliğini sağlayacak kadar düşük sıcaklıkta olmalıdır. Proses esnasında, haddeleme veya dövmeye maruz kalacak metal; prosesin istediği sıcaklıktan daha yüksek sıcaklığa ısıtılmalıdır. Söz konusu sıcaklık 1150-1300 °C arasında değişir. Daha yüksek sıcaklıklara çıkılması; metalin aşırı ısınması ve yanma açısından istenmez.

Proses sıcaklığı olarak; haddeleme bitişi (800-1000 °C) veya dövme bitişi (700-950 °C) olarak seçilmelidir. Haddelemede ikinci pasodan sonra ölçülen sıcaklıkların ısıtma sıcaklığından 80-150 °C daha düşük olması beklenir.

2.2. Aşırı Isıtma ve Yanma

Çelikte plastik deformasyon yapmak istenildiğinde sıcaklığı; Ac3 sıcaklığının üstüne çıkarılması gerekir. Bu şartlar altında östenit tane büyümesi engellenemez. Daha sonraki yavaş soğuma esnasında bu kaba taneler bulunmaya devam edecek ve özelliklerin bozulmasına neden olacaktır. Yapılan haddeleme ve dövme işlemi normalde tane küçülmesine neden olur, ancak proses bitiş sıcaklığı Ac3 sıcaklığının üzerinde ise tane büyümesi devam edecektir. Bu duruma aşırı ısıtma denir. Aşırı ısıtmaya uğramış dövme ve hadde ürünlerin yapısını düzeltmek için daha sonra normalizasyon veya tavlama işlemi yapılmalıdır. Ayrıca çelik içinde; C, Mn, B veya P bulunması tane irileşmesini teşvik eder.

Solidüs sıcaklığına kadar metal ısıtılırsa; metalde sıvı faz belirir. Non-metalik inklüzyonlar, ergimiş bölgeye segrege olur ve taneler arasındaki bağı azaltarak, metalin özelliklerinin bozulmasına neden olur. İlaveten tane sınırlarında yoğun bir şekilde oksidasyon oluşur, bu olaya yanma adı verilir.

Tablo:2. Bazı Çeliklerin Teorik max. Isıtma ve Yanma Sıcaklık Değerleri

Çelik Cinsi		Isıtma Sıc. °C	Yanma Sıc. °C
Karbon Çeliği % karbon	1,1	1110	1180
	0,9	1120	1220
	0,7	1180	1280
	0,5	1250	1350
	0,2	1320	1470
	0,1	1350	1490
Si - Mn Yay Çeliği		1250	1350
Yüksek Hız Çeliği		1280	1380
Cr – Ni Östenitik Çelik		1300	1420

2.3. Üniform Isıtma

Üniform ısıtma olarak kastedilen; metalin merkezi ile yüzeyi arasındaki sıcaklık farkını belirleyen farkın yüksek veya az olması durumudur. Bu fark fazla olursa plastik deformasyon esnasında istenmeyen durumlar ile karşılaşılabilir. Özellikle ısıl işlem esnasında üniform ısıtma çok önemlidir. Çünkü yapısal değişiklikler çok dar bir alanda oluşabilir ve bu durumda sıcaklık farkı bu dar alanı aşmamalıdır.

Tüm kesit boyunca sıcaklık eşitliğini sağlamak için yavaş ısıtma ve uzun süre gereklidir. Bu durum fırının kapasitesini azaltır ve metalin oksitlenme ile kaybını artırır. Bunun yanında plastik deformasyon esnasında, yüzeyden merkeze doğru oluşacak ısı iletimini de göz önünde tutmak gerekir.

Derinliğe bağlı olarak oluşacak sıcaklık farklılığı özel tecrübeler ile belirlenir. Pratik şartlarda üniform ısıtma ölçümü yapılamaz, bununla birlikte fırından alınan kütük ve ingotun istenen üniform ısıtmayı sağlamış olması gerekir.

2.4. Isıtma Şartları

Isıtma şartları genelde; zamana bağlı olarak metaldeki sıcaklık paterni olarak adlandırılır. Haddeleme esnasında ısıtma şartlarını final sıcaklığı belirler. Isıtma şartlarını belirlerken; ısıtmanın çok hızlı yapılması ve bununla birlikte fırının verimliliğinin artırılması ile birlikte oksitlenme ile karbon yanmasını minimuma indirmek ile yakıt tüketimini azaltmakgöz önünde bulundurulurken ısıtma hızı nedeniyle, metalin yüzeyinin aşırı ısınması ve iç kısımların daha az ısınması nedeniyle oluşabilecek termal gerilim hasarlarının önüne geçmek için belli bir hızda sınırlandırılmalıdır.

2.5. Termal Gerilimler

Bilindiği gibi, ısınan yüzeyler genleşir. Eğer metalin bazı bölümleri sıcaklığı kolayca alamıyorsa; sıcaklık farkından dolayı metal içinde gerilimler oluşur, bu da deformasyona neden olabilir. Isıtma esnasında sıcak olan üst yüzeyler genleşmeye çalışacaktır ve bu durumda basma yüküne maruz kalacaktır, aynı şekilde soğuk olan iç kısımlar yüzey kadar genleşemeyecek ve çekme yükü altında olacaktır.

Eğer metal yeterince plastik ise; bu gerilimler altında deforme olacaktır ve metalde incelmeler görülecektir. Az plastik metallerde, iç gerilimler elastik sınıra eriştiğinde; metalde kırılma ve/veya çatlama oluşabilir. Çelikler genelde (bazı cinsler hariç) 500 °C ye kadar plastik özellik göstermezler ve bu sıcaklığın üzerinde plastik hale gelirler. Karbon çeliklerinde bu dönüşüm 400 °C de başlar ve dolayısıyla termal gerilimler ısıtmanın başlangıcında oluşur.

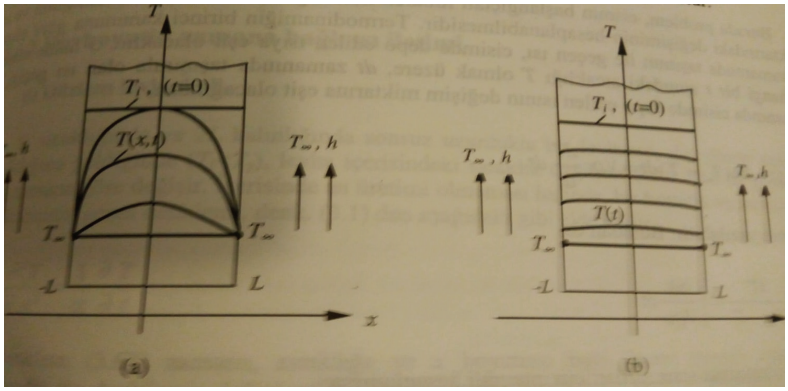
Akılda tutulması gereken önemli bir konu da kırılma ve kopmaya neden olabilecek kalıntı gerilimlerin de metal ısıtılırken veya soğutulurken oluşabilir. Soğutma esnasında dış yüzey iç bölgelere göre daha soğuk olacaktır ve dolayısıyla soğuk metal plastiklik özelliğini kaybedecektir. Daha iç bölgeler sıcak olacağı için dış bölgeler basma iç bölgeler çekme yükü altında olacaktır. Kalıntı gerilimler özellikle ingotların soğutulması esnasında tehlikeli bir hal alabilir. Bu konuda araştırma yapan N. U. Taits'e göre bir metalin yüzeyi ile merkezi arasında kabul edilebilir sıcaklık farkı aşağıdaki formüller ile hesaplanabilir.

$\Delta t_{al}=1{,}05_{\sigma t}/\beta E^*$ Yassı ürünler için

$\Delta t_{al}=1{,}4_{\sigma t}/\beta E^*$ Yuvarlak ürünler için

Burada σt = Çeliğin kopma mukavemeti (kg/mm^2) , β = Lineer genleşme sabiti,

E* =Elastisite modülü (kN/m^2)



3. ISI GEÇİŞİ

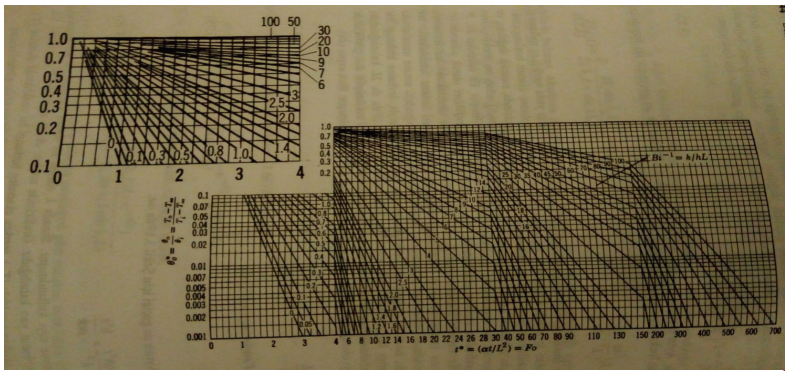
Bu konuya başlamadan önce okuyucuya Isı (Transferi, Geçişi, İletimi) kitabı temin etmesi önerilir.

İlk önce ısının bir madde üzerindeki etki çeşitleri ve bu çeşitlerin ana formülleri ile başlanacaktır.

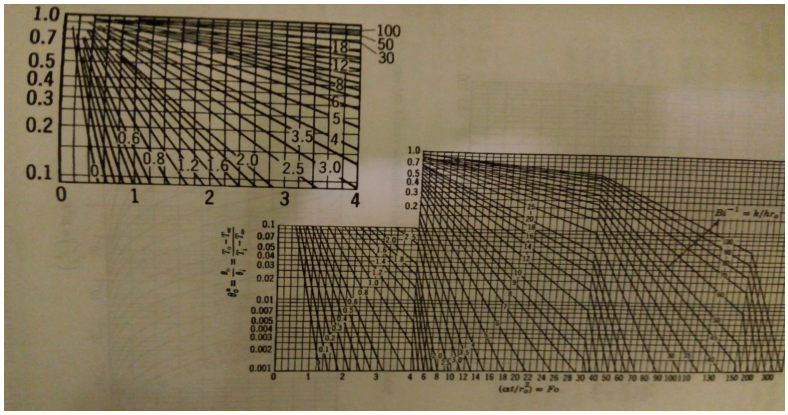
a-) Isı İletimi (Conduction) $Q_x = -kA(dT/dx)$ (W) ; $q_x= Q_x/A$ ise$q_x = -k(dT/dx)$ (W/m^2)

b-) Isı Taşınımı (Convection) $Q_t =hA\Delta T$ (W) ;$q_t=Q_t/A$ ise$q_t = h\Delta T$ (W/m^2)

c-) Isı Işınımı (Radyasyon) $Q_ı =\varepsilon\sigma A (T^4 - T^4$çevre) (W/m^2)



Yukarıdaki formülleri sıcaklık değişimi baz alarak incelendiğinde; 800°C den yüksek sıcaklıklarda Q_i daha etkin hale gelir. Bu nedenle 800 °C ve üzeri sıcaklıklarda üretim yapılacaksa, ısıtacağımız metalin şekli ve istifleme özelliği ön plana çıkacaktır. Çünkü; sıcaklık artınca bu metallerin yüzeyleri de ışınım yaymaya başlayacaktır. Birbirine yakın karşılıklı iki metalin yüzeyleri de ışınım yayacaktır. Her iki metalden de gelen ışınımlar kendi aralarında çatı oluşturacak ve ilave gelen ışınımları engelleyerek iki metal arasının ısıtmasına veya olması gerekenden az ısınmasına neden olacaktır. Bu da metalin homojen ısınmaması demektir.



3.1. Zamana Bağlı Isı İletimi

Bir sistemde ısı geçişi esnasında, herhangi bir noktadaki sıcaklık zamanla değişiyor ise bu ısı geçişine **zamana bağlı ısı geçişi** denir. Bu duruma en iyi örnek ısınmaya ve soğutulmaya bırakılmış cisimlerdir. Zamana bağlı ısı iletimi, cismin içindeki sıcaklık basamağının ihmal edilip edilmemesine göre iki şekilde incelenebilir. Sıcak bir levha ani olarak soğuk bir akışkan içerisine daldırıldığında, levha içinde zamana göre değişen bir sıcaklık değişimi meydana gelir. Başlangıçta (t=0 anında) cismin sıcaklığı Ti ve akışkan sıcaklığı T∞ olması halinde bu değişim Şekil 1 (a) daki gibidir.

Eğer levha ince ise ya da ısı iletim katsayısı çok yüksek ise levha içerisinde x yönündeki sıcaklık basamağı iptal edilebilir, bu durum ısı iletim katsayısı yüksek olan küçük parçalarda görülür. Şekil.1 (b)

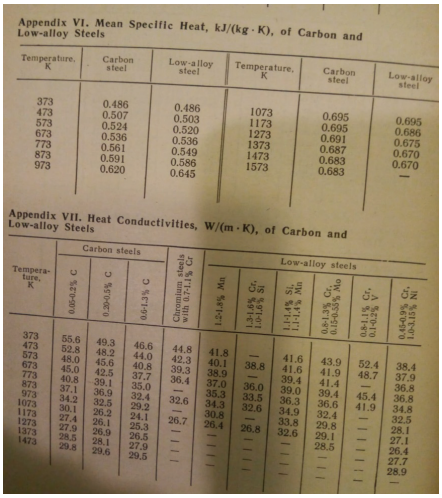
Burada; A= Cismin dış yüzey alanı, V= Cismin hacmi, ρ= Cismin yoğunluğu, c= Cismin ısınma katsayısı

Ti= Cismin ilk sıcaklığı, T∞=Akışkan (ortam) sıcaklığı, h= Isı taşınım katsayısıdır. To< T∞ olsun

Buradaki sorun, cismin başlangıçtan itibaren herhangi bir zamandaki sıcaklığının ve ısı miktarının hesaplanabilmesidir. Termodinamiğin birinci kanununa göre, cismin dt zamanında taşınım ile geçen ısı, cisimde depo edilen ısıya eşit olacaktır. O halde cismin herhangi birt anındaki sıcaklığı T olmak üzere, dt zamanında taşınımla olan ısı geçişi, dt zamanında cisimde depo edilen ısı miktarı ile eşit olacağından;

Q=hA(T∞ - T)dT= Vρc(dT/dt) dt bağıntısı yazılabilir. Buradan; $\int_{T1}^{T} dt/(T\infty - T)$=$\int_{0}^{t}(hA/V\rho c)$ dt olur ve aşağıdaki sınır şartları için integral alınırsa; t=0 ise T=Ti , t=t ise T=T den ln(T-T∞ /Ti - T∞)= -(hAt/Vρc) bulunur. θ= T- T∞ ve θi= Ti- T∞ tanımları yapılırsa $\theta/\theta_i = T - T_\infty / T_i - T_\infty = e^{-(hAt/V\rho c)}$ olur (**F1**)

Zamana bağlı ısı geçişinde, bağıntılar ile çalışmak pratik olmadığı için, bu denklemler çeşitli araştırmacılar tarafından grafik haline getirilmiştir. En önemlisi **M. P. Heisler** tarafından hazırlanmış **Heislergrafikleri**'dir. Şekil 2'de 2L kalınlığındaki sonsuz uzunluktaki bir levhanın merkez eksen (merkezindeki) sıcaklığı vermektedir. Bu grafiklerde boyutsuz sayı olarak **Biot** sayısı **(Bi)** ve **FourierSayısı (Fo)** kullanılmıştır. **Bi = hL/k** ise **Bi^{-1}=k/hL** dir. Fo sayısı ise **Fo = $\alpha t/L^2$** olur. Burada, k= cismin ısı iletim katsayısı, h= cismin ısı taşınım katsayısı, L= levhanın yarı kalınlığıdır. Grafiklerde merkez eksen sıcaklığı (To), cismin ilk sıcaklığı (Ti), akışkan sıcaklığı (T∞), merkez eksenden herhangi bir uzaklıktaki sıcaklık (T), akışkan sıcaklığına göre başlangıçtaki iç enerjisi θo ve iç enerji değişimi θ ile gösterilmiştir.



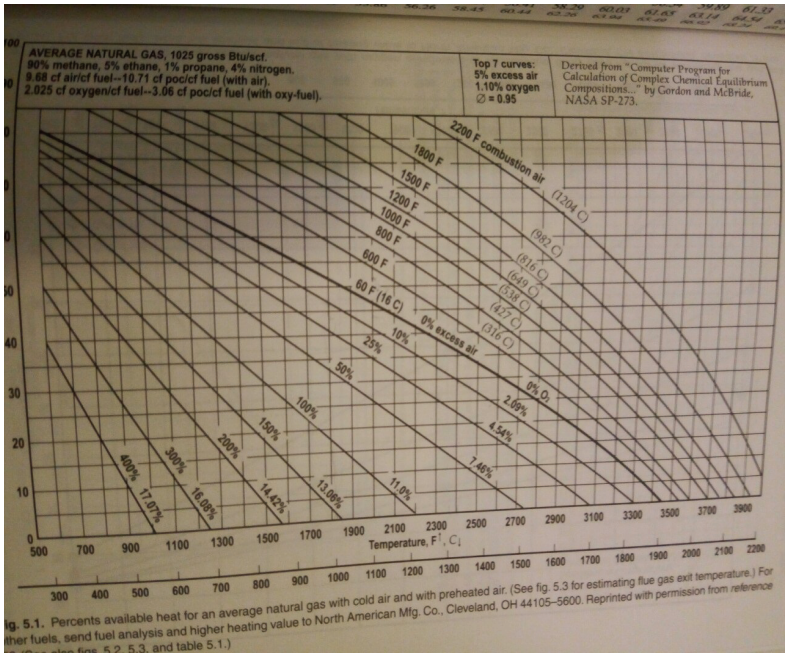
Appendix VI. Mean Specific Heat, kJ/(kg·K), of Carbon and Low-alloy Steels

Temperature, K	Carbon steel	Low-alloy steel	Temperature, K	Carbon steel	Low-alloy steel
373	0.486	0.486	1073	0.695	0.695
473	0.507	0.503	1173	0.695	0.686
573	0.524	0.520	1273	0.691	0.675
673	0.536	0.536	1373	0.687	0.670
773	0.561	0.549	1473	0.683	0.670
873	0.591	0.586	1573	0.683	—
973	0.620	0.645			

Appendix VII. Heat Conductivities, W/(m·K), of Carbon and Low-alloy Steels

Temperature, K	Carbon steels			Chromium steels with 0.7-1.1% Cr	Low-alloy steels						
	0.05-0.25% C	0.30-0.5% C	0.6-1.3% C		1.25-1.8% Mn	1.3-1.6% Cr, 0.9-1.6% Si	1.1-1.4% Si, 1.1-1.4% Mn	0.4-1.1% Cr, 0.15-0.55% Mo	0.8-1.1% Cr, 0.1-0.2% V	0.45-0.9% Cr, 1.0-3.15% Ni
373	55.6	49.3	46.6	44.8	41.8	—	41.6	43.9	52.4	38.4
473	52.8	48.2	44.0	42.3	40.1	38.8	41.6	41.9	48.7	37.9
573	48.0	45.6	40.8	39.3	38.9	—	39.4	41.4	—	36.8
673	45.0	42.5	37.7	36.4	37.0	36.0	39.0	39.4	45.4	36.8
773	40.8	39.1	35.0	—	35.3	33.5	36.3	36.6	41.9	34.8
873	37.1	36.9	32.4	32.6	34.3	32.6	34.9	32.4	—	32.5
973	34.2	32.5	29.2	—	30.8	—	33.8	29.8	—	28.1
1073	30.1	26.2	24.1	26.7	26.4	26.8	32.6	29.1	—	27.1
1173	27.4	26.1	25.3	—	—	—	—	28.5	—	26.4
1273	27.9	26.9	26.5	—	—	—	—	—	—	27.7
1373	28.5	28.1	27.9	—	—	—	—	—	—	28.9
1473	29.8	29.5	29.5	—	—	—	—	—	—	—

Silindirik yüzey hali: Silindirik yüzeyler için de Heisler grafikleri düzenlenmiştir. Bu grafikler şekil 3 de görülmektedir. Burada Biot ve Fourier sayılarında L yerine, silindirin yarıçapı olan ro kullanılarak hesap yapılmaktadır.



g. 5.1. Percents available heat for an average natural gas with cold air and with preheated air. (See fig. 5.3 for estimating flue gas exit temperature.) For ther fuels, send fuel analysis and higher heating value to North American Mfg. Co., Cleveland, OH 44105–5600. Reprinted with permission from reference

4. HESAPLAMALAR

Hesaplamalarda haddeleme amaçlı bir kütük ısıtma fırını, bir slab ısıtma fırını ve bir dikişsiz boru yapma amaçlı yuvarlak kütük fırınının (rotaryhearth) iç çalışma ebatları hesaplanacak ve sonra da kütük ısıtma fırının brülör kapasitesinin belirlenmesi amacıyla hesaplamalar yapılacaktır. Brülör hesabı aynı şekilde diğer fırınlara da uygulanabilir.

Hesaplamalara başlamadan önce bu fırınlarda en çok kullanılan bir kütük, bir slab, birde yuvarlak kütük ebadı seçilecektir. (Bunlar kütük için 150mm * 150 mm * 12000mm = 0,15m *0,15m*12m slab için 150 mm * 1200 mm * 6000 mm = 0,15 m * 1,2 m * 6m yuvarlak kütük için Ø 150 mm * 6000 mm= Ø 0,15 m * 6m dir). Bu ebatların dışında yarı ürün (bundan sonra kütük, slab ve yuvarlak kütüğün hep yarı ürün olarak kullanılacaktır. Benzer bir durum da fırın tipiyle ilgilidir ve hesaplamalarda **yürüyen kiriş** ve **rotary-hearth** tipi fırını göz önüne alınmıştır. Diğer cins fırın kullanan firmalar kendi durumlarına göre hesaplamalar yapmalıdır.

Hesaplamalarda fırın sıcaklığını 1300 °C = 1573 K ve yarı ürünlerin merkez sıcaklığını 1200 °C =1473 K yarı ürünün ilk sıcaklığını 30 °C =303 K olarak kabul edilmiştir. Yani fırın sıcaklığı ile ürün merkez sıcaklığı arasındaki farkı 100 °C olarak kabul edilmiştir. Uygulayıcı; yazımızın başında bahsettiğimiz metalürjiksorunları göz önünde tutarak bu farkı değiştirebilir.

Önceki sayfalarda ısı iletimi, ısı taşınımı, ısı ışınımı konusunda ana formüller belirlenmiştir. Bu formüllerde ışınımda ısı; sıcaklıktan T^4 olarak etkilendiği için diğer katsayılar ne kadar düşük olursa olsun 800 °C sıcaklıktan yüksek sıcaklıklarda ışınımın ısı değeri daha büyük olacaktır ve diğer ısılar ihmal edilebilir durumda olacaktır. Yüksek sıcaklıklarda ışınım ısısı etkin oldukça tüm yüzeylerden ışınımlar oluşacaktır. Buna yarı ürün yüzeyleri de dahil, **yüzeylerden yayılan ışınımın şiddeti aradaki mesafe ile ters orantılıdır mesafe arttıkça şiddet azalır.** Yakındaki cisme olan etkisi fazla uzaktaki cisme olan etkisi az olacaktır. Yanyana iki yarı ürünün arasındaki mesafe az olursa birbirine bakan iki yüzeyin ışınımları bir çatı oluşturup dışarıdan (brülörlerden) gelen ilave ısıların yarı ürünler arasına girmesine engel olacaktır. Bu durum yarı ürünün homojen ısınmamasına ve hatta alt ve üst yüzeyler aşırı ısınırken birbirine bakan yan yüzeyler yeterince ısınmamış durumda olabilmesine neden olabilecektir. Bu durum için **(R1)** kaynağında **"ısıtılacak iki ürün arasındaki mesafe ürün kalınlığının 1,5 ila 2,5 katı olmalıdır."** İbaresi vardır ve biz hesaplamalarımızda kalınlığın 1,5 katı mesafeyi dikkate alınacaktır.

Hesaplamalarda tüm terimleri metrik sisteme çevrilip ve sıcaklıklarda; K olarak kullanılacaktır. Burada amaç uygulayıcı formüllerdeki birime dikkat edilmeden yapılacak hataların önüne geçmektir. Aynı şekilde tersten gidip sıcaklık hesaplaması yapılmak istendiğinde bulunacak değer K olacağı için uygulayıcının bunu °C sanmasının önüne geçmek hedeflenmiştir.

Hesaplamalarda dikkate alınacak katsayılar. k= 38,1 W/m°C = 32,73 kcal/m°C, c= 0,612 kJ/kgK = 0,146 kcal/kg°C (burada her iki katsayıda da Şekil 4 de görüldüğü gibi sıcaklıkla değişen değerlerin ortalaması alınmıştır) ρ= 7753 kg/m^3 h= 100 W/m^2K =85,6 kcal /m^2C, α=0,97x10^{-5} m^2/sn

Hesaplama önce kare kütük için yapılacaktır.

$\theta_c = \theta/\theta_i$ = (T - T∞)/(Ti - T∞) = (1473 K – 1573 K)/(303 K – 1573 K) ise $\theta_c = \theta/\theta_i$ =0,078 olur. Kare bir üründe x ekseninin ve y ekseninin merkeze mesafeleri eşit olduğundan. $\theta_c = \theta\,(_{x,y,t}) = \theta 1(_{x,t}) * \theta 2(_{y,t})$ olur.

$\theta_1(_{x,t}) = \theta_2(_{y,t}) = \theta_{dc}$ ise $\theta_c = \theta_{dc}{}^2$ olur. Buradan $\theta_{dc} = (\theta_c)^{1/2}$ olur. $\theta_{dc} = (0{,}078)^{1/2}$ = 0,28 eder. **(R4)**

Bi^{-1}=k/hL idi. Bi^{-1}= 32,73 kcal/mC / (85,6 kcal/ m^2C *0,075 m) =5,098 ~ 5 Tablo 2 den θ_{dc}=0,28 ve Bi^{-1}= 5 ise şekil 2 den F_o=7,8 bulunur. $F_o = \alpha t/L^2$ idi buradan 7,8 = (0,97x10^{-5} m^2/sn * t)/(0,075m)^2 ise

t= (7,8* 5,625x$10^{-3}m^2$)/0,97x10^{-5} m^2/sn den t=4523 sn ~ 75.4 dk. bir kütüğün ısınması için gerekli süre.

0,15 m * 0,15m * 12m kütük = 2.064 ton ise 150 ton/saat kapasiteli tesis kurmak istiyorsak saatte ısıtmamız gereken kütük miktarı = (150 ton /saat)/(2.064 ton/ adet) = 72,67 adet/ saat eder 1 saat=60dk= 3600 sn ise 3600/72,67 = 49,5 sn/adet kütük demektir. 4523 sn/(49,5 sn/adet) = 91,3 kütük fırında bulunmalı, tam sayıya yuvarladığımızda =92 kütük eder. Bu durumda fırının eni=E=12m + 2*0.25m =12,5m eder. Boy=B= kütük sayısı (n) * Kütük kalınlığı + (n+1) * ara (boşluk) uzunluğu ise B= 92*0.15 +93*0.225 =13,8m + 20.925 m = 34.725 m eder.

Slab için hesaplama yapıldığında:

$\theta_c = \theta/\theta_i$ = (T - T∞)/(Ti - T∞) = (1473 K – 1573 K)/(303 K – 1573 K) ise $\theta_c = \theta/\theta_i$ =0,078 olur.

Bi^{-1}=k/hL idi. Bi^{-1}= 32,73 kcal/mC / (85,6 kcal/ m^2C *0,075 m) =5,098 ~ 5 Tablo 2 den θ_c=0,078 ve Bi^{-1}= 5 ise şekil 2 den

F_o=14,6 bulunur. $F_o = \alpha t/L^2$ idi buradan 14,6 = (0,97x10^{-5} m^2/sn * t)/(0,075m)^2 ise t= (14,6 * 5,625x10^{-3}m^2)/0,97x10^{-5} m^2/sn den t= 8466 sn~ 141,1 dk.0,15m*1,2m*6m ebadındaki bir slabın ağırlığı= 8,38 ton/ adet ise 250 ton/saat kapasiteli fırın kurmak isteniyorsa saatte ısıtılması gereken slab sayısı =250 ton/(8,38ton/adet) ise 29,8 adet slab eder. 1 saat=60dk= 3600 sn ise 3600/29,8 =120,67 sn de bir slab fırından alınmalı. 8466 sn/(120,67 sn /adet) =70,1 adet ~ 70 slab fırında bulunmalıdır. Bu durumda fırının eni= E=6m+2*0,25m= 6,5mBoy=B= kütük sayısı (n) * Kütük kalınlığı + (n+1) * ara (boşluk) uzunluğu ise B=70*1,2m + 71*0,225 m ise B= 84m +15,975m=99,975 m

Dikişsiz boru fırını için (rotary hearth) yuvarlak kütük için hesaplama yapıldığında;

$\theta_c = \theta/\theta_i$ = (T - T∞)/(Ti - T∞) = (1473 K – 1573 K)/(303 K – 1573 K) ise $\theta_c = \theta/\theta_i$ =0,078 olur.

Bi^{-1}=k/hL idi. Bi^{-1}= 32,73 kcal/mC / (85,6 kcal/ m^{2}C *0,075 m) =5,098 ~ 5 Tablo 3 den θ_c=0,078 ve Bi^{-1}= 5 ise şekil 2 den F_o=6,8 bulunur. $F_o = \alpha t/L^2$ idi buradan 6,8 = (0,97x10^{-5} m^2/sn * t)/(0,075m)^2 ise t= (6,8 * 5,625x10^{-3}m^2)/0,97x10^{-5} m^2/sn den t= 3943 sn ~ 65,7 dk . Ø 0,15m*6m ebadındaki kütük 0,821 ton/adet tir. 40 ton/saat lik kapasiteli bir fırın düşünüldüğünde fırından bir saate alınacak kütük miktarı bulmak istenildiğinde (40 ton/saat)/(0,821 ton/adet) =48,7 adet/saat yuvarlak kütük fırında ısıtılmalı. 1 saat=60dk= 3600 sn ise 3600/48,7 = 73,89 sn de bir yuvarlak kütük alınmalı fırından. 3943 sn/(73,89 sn/adet) = 53,36 adet/kütük olmalı tam sayıya yuvarlarsak 54 adet/kütük olmalı.

Rotary Hearth fırını yuvarlak bir fırındır. Fırının 360º lik tüm bölümü ısıtma amacıyla kullanılamaz. 28º lik bölümü yükleme ve boşaltma amacıyla kullanılırken 332º lik bölümü ısıtma amacıyla kullanılır. Hesaplamalarda bunu göz önünde bulundurulacaktır.

Bu fırında önce; yükleme küçük çapı bulmamız gerekir. Aynı şekilde hesaplama yapmak istenildiğinde B= 54*0,15 m + 55*0,225 m ise B=8,1m + 12,375 m=20,475 m eder. Ancak fırının 332º lik bölümü kullanıldığı için bu uzunluk yükleme iç çapının tamamı değildir. Bu durumda B=20,475 m (360/332) ise B=22,2 m eder. Çevre uzunluğunu bulduğumuz dairenin çapını bulmak istediğimiz de Ç=2πr veya Ç=πR dir. Biz R yi hesaplamak istiyoruz, küçük yükleme çapı 22,2=3,14R den R=22,2/3,14 =7,07 m eder. Fırın iç ve dış çapının bulmak istenildiğinde kütüğün her iki ucundan 0,3 m boşluk bırakmak gerekir R_{Fi}=7,07 -2*0,3 ise **R_{Fi}=6,47** maynı şekilde fırının dış çapını bulmak istenildiğinde R_{FD}= 7,07m + 6m+2*0,3m ise **R_{FD}=13,67 m** olarak bulunur.

Fırınların boyutlarını belirlendikten sonra; kütük fırınını dikkate alınarak, gerekli brülör kapasitesinin belirlenmeye çalışılmalıdır. Fırın yüksekliğini 2,75 m olarak kabul edilecektir.

Fırının çalışma alanı ebatları =12,5 m * 34,725 m* 2,75m dir. Fırın kapasitesi 150 ton/saat= 150000 kg/ saat idi. Buradan 30 °C den 1200 °C'ye 150000 kg çeliği ısıtmak için gerekli ısı miktarı $Q_Ç$=m*c*ΔT den $Q_Ç$= 150000 kg* 0,146 kcal/kgC *1170C ise $Q_Ç$=25623000 kcal olur. Bu arada fırından kaybedilen ısı miktarının hesabı: Ortalama ısı kayıpları tavan için= 2450 kcal/m^{2}h. Yan duvarlar için =1350 kcal/m^{2}h, kapılar için=3000 kcal/m^{2}h olarak kabul edildiğinde Bu arada fırında kütüklerin giriş ve çıkışını sağlayan 0,4 m*0,4 m ebatlı iki kapı bulunduğu kabul edilmiştir.

Tavandan kaybedilen ısı miktarı. Q_T = 12,5 m * 34,725 m *2450 kcal/m^{2}h = 1063453 kcal/h

Duvarlardan kaybedilen ısı miktarı Q_D= (2*34,725 m*2,75 m +2*12,5 m*2,75 m)*1350 kcal/m^{2}h = 350646 kcal/h

Kapılardan kaybedilen ısı miktarı Q_K=2*0,4 m*0,4 m*3000 kcal/m^{2}h = 960kcal/h

Fırında kütükleri taşıyan ve hareket ettiren su ile soğutulan bir sistem bulunmaktadır. Söz konusu sistemden 480 m^3/h su geçmekte ve ΔT= 10 C olduğunu kabul edildiğinde 1lt suyu 1C ısıtmak için gerekli enerji miktarı 1kcal ise buradan c=1kcal/ltC olur. 1m^3=1000 lt ise 480 m^3=480000 lt ise Q_S=m*c* ΔT den Q_S= 480000 lt*1kcal/ltC*10C ise Q_S=4800000 kcal/h olur.

Q_{Top}= Toplam gerekli ısı miktarı olarak tanımlanırsa Q_{Top}=$Q_Ç$ + Q_T +Q_D+Q_K+$Q_S$$Q_{Top}$= 25623000+1063453+350646+960+4 800000 ise Q_{Top}= 31838059 kcal/h dir bu durumda bir saatte bize gerekli ısı miktarı Q_{Top}=31838059 kcaldir.

Bundan sonraki hesaplamaları ikiye ayırıp o şekilde ayrı ayrı hesaplama yapılacaktır. Bu durumlar, A durumu= Reküperatör kullanılmadığı fırında %10 fazla hava (excessair) kullanıldığı ve fırına sürekli ortam sıcaklığında hava üflendiği durum. B durumu = Reküperatör kullanıldığı ve yanma havasının 400 °C olduğu durum.

A Durumu: 1 saatte gerekli ısı miktarı = 31838059 kcal idi. Şekil 5'e bakıldığında %10 fazla hava (excessair) kullanıldığı durumda mümkün ısı (available heat)=%32 dir. Bu durumu gözönüne alındığında fırına verilmesi gereken ısı miktarı= Q = İhtiyac duyulan ısı miktarı Q_{Top}/ % mümkün ısı ise Q= 31838059/0,32 = 99493934 kcal

Yukarıda bulunan ısı değerindeki brülörleri fırına monte edildiğinde fırın tam ısınmışken vefırın refrakterleri ısı depo etmediği durumda yukarıdaki üretim belki alınabilir. Ancak brülör kapasitesini bir emniyet katsayısı ile çarpıldığında ve daha kapasiteli brülör monte edildiğinde refrakterler ısı depolarken bile fırın sıcaklığına ulaşıldığında üretim yapılabilir. Bu gerek fırını ilk ısıtmada, gerek herhangi bir tatil ve arızadan sonra zaman kazandırır. Bu katsayı 1,3 ve 1,4 olabilir. **(R3)** Hesaplamalarda 1,3 katsayısını dikkate alınacaktır. Bu durumda tüm brülörlerin ısı kapasitesi Q_B=99493934 kcal *1,3 = 129342114 kcal eder.

B Durumu: 1 saatte gerekli ısı miktarı = 31838059 kcal idi. Şekil 5 e baktığımızda reküperatör kullanıldığı ve fırına sürekli 400 C sıcak hava üflendiği durumda; mümkün ısı (available heat)=%58 dir. Bu durumu gözönüne alındığında fırına verilmesi gereken ısı miktarı= Q = İhtiyac duyulan ısı miktarı Q_{Top}/ % mümkün ısı ise Q= 31838059/0,58 = 54893205 kcal eder. Brülör ısı kapasitesi Q_B= 54893205 * 1,3 =71361167 kcal eder.

Benzer hesaplamalar ve katsayılar diğer fırınlar için de kullanılabilir.

5. SON SÖZ

Bu yazıya başlama nedeni; mühendislik olarak arada kalan bazı bölümleriyle Metalurji Mühendisliğini bazı bölümleri ile Makine Mühendisliğini ilgilendiren konularda, her bölümün "benim konum değil " diyerek uzak kaldığı ara konularda ilgili bölümlere diğer bölüm hakkında da bilgi vermek amaçlıdır. O nedenle önce çelik ve özellikleri hakkında biraz bilgi verilmiş bu konuda Makine Mühendislerine daha sonra ısı iletimi ve hesaplamalar konusuna girilmiştir ve bu konuda da Metalurji Mühendislerine bilgi verilmesi amaçlanmıştır. Konu çok geniştir ancak yazının kısa tutulması gerektiğinden her konuda bilgi verilememiş yukarıdakiler ile yetinilmiştir. Diğer konularda mail adresimden bana ulaşılabilir eğer bildiğim konu ise yardımcı olacağımın bilinmesini isterim.

Diğer bir neden de ülkemizde birçok firma Mühendisleri "diplomalı ustabaşı" seklinde algılayıp yabancının her dediğinin "doğru-adamlar biliyor" olarak algılanıp onların her dediğini yapma ve yaptırma durumuna girmeleridir. Bu özelliğimiz bilen birçok yabancı firma; kendi ürünlerini allayıp pullayıp cazip hale getirip bize pazarlama niyetindeler.

Bu konuda bir örnek vermek istiyorum. Yukarıda bahsettiğim 1,3 katsayısı ile çarpma konusu ülkemizde birçok işletmeci tarafından farkedilmiş ancak yanlış yorumlanmıştır. Bu yorumlamaya göre örn. 100 ton/saat lik bir hadde fırınından bazı zamanlar 130 ton/saat kütük alınabilir, ancak bu durum sadece inşaat çeliği üretiminde sorun yaratmaz veya az sorun yaratır. Bu fırının işletmecisi böbürlenip sanki kendi başarısıymış gibi üstlerine kendini pazarlayabilir. Bunu bilen yabancı bize 100 ton/saatlik bir fırını 130 ton/saatlik kapasiteli imiş gibi pazarlayabilir. Hatta normal 130 ton/saatlik fırın teklifi veren firmadan %10 daha az fiyat vererek, sanki fırını ucuza yapıyormuş gibi imaj da verebilir. Oysa gerçek 130 ton/saatlik teklif veren firmadan daha küçük fırını olması gerekenden daha pahalıya bize satabilirler. Bu durumu bir örnek ile açıklamaya çalışalım. Gerçek 130 ton/saatlik firmanın teklifi 130 TL olsun, bunun yanında 100 ton/saat lik fırın üretip bunu 130 ton/saat kapasiteli fırınmış gibi pazarlamak isteyen firmanın teklifi %10 indirimle 117 TL olsun teklifi ton başına TL olarak düşündüğümüz ilk teklif 1TL/ton, ve ikinci teklif 1,17 TL/ton olacaktır. Sizce hangisi pahalı? Burada dikkat edilecek konu iki yarı ürün arasında kalınlığın 1,5 katı mesafe bırakma durumudur. Gerek görüşmeler esnasında ve gerekse kapasite testi esnasında iki yarı ürün arasında bu mesafe boş bırakılmalı ve bunda ısrarcı olunmalıdır. Yukarıda elimden geldiği kadar basitleştirmeye çalıştığım hesaplamalar da göz önünde bulundurulmalıdır. Tüm mühendis arkadaşların yazıdan fayda görmeleri umuduyla, herkese başarılar dilerim.

REFERANSLAR.

(R1): *METALLURGICAL FURNACES V. Krivandin, B. Markow Mir Publisher 1980 Moskova*

(R2): *ISI TRANFERİ Prof. Dr. Muhsin Kılıç, Prof. Dr. AbdulvahapYiğit Alfa Akademi Yayınlari 2008 Bursa*

(R3): *INDUSTRIAL FURNACES 6.th Edition R.A.Shannon, R.J.Garvey, M.H.Mawhinney , W.Trinks John Wiley&Sons. Inc. 2003 USA*

(R4): *ISI GEÇİŞİ Doç.Dr. Fethi Halıcı, Uzm. Mehmet Gündüz Burak Ofset 2001 Sakarya*