F12

YÜKSEK SICAKLIK FIRINLARINDA ENERJİ TASARRUFU - II** SON GELİŞMELER

Orhan BÜYÜKALACA*

ÖZET

Bu çalışmada yüksek sıcaklık fırınlarının daha verimli çalışması için uygulanan alışılagelmiş sistemlere ilave olarak son yıllarda üzerinde çalışılan bazı yeni yöntemler ele alınmıştır. Bu yöntemlerde esas amaç fırın içerisinde taşınım ve ışınımla ısı transferini artırarak fırın verimini iyileştirmektir.

In this paper, some recent developments in addition to the conventional energy saving methods in high-temperature furnaces have been outlined. The new methods mainly aim to enhance the convective and radiative heat transfer within the furnace

Giriş

Bu makalenin birinci bölümünde, öncelikle endüstride kullanılan fırınlarda ısı kayıplarının nasıl oluştuğu belirlenmiş ve daha sonra bu kayıpları en aza indirerek fırın ısıl verimini artırmak için alınabilecek tedbirler ve kullanılan sistemler ele alınmıştır. Bu sistemlerin iyileştirilebilmeleri için günümüzde bazı çalışmalar yürütülebilmekle birlikte, teknolojik ve ekonomik olarak hemen hemen sınıra ulaşılmış durumdadır ve bu sistemlerde çok daha fazla gelişim beklenmemektedir [1]. Ancak son yıllarda bu alışılagelmiş sistemlerden ayrı olarak yeni bazı yöntemler üzerinde çalışmaktadır. Bunların birçoğu daha araştırma düzeyinde olup labaratuvar şartlarında denenmektedir. Makalenin bu ikinci bölümünde bu yeni gelişmeler ele alınmıştır. Endüstride kullanılan fırınlarda, yanma sonucu oluşan alev ve yanma ürünlerinin sıcaklığı yüksek olduğundan fırın içerisinde ısı transferi esas olarak ışınımla meydana gelmektedir. Bu sebeple yeni yöntemlerin çoğu fırın içerisinde ışınımla ısı transferini artırmak amacını gütmektedir. Böylelikle atık ısı geri kazanım sistemi kullanılması bile bu sisteme gönderilen enerjinin en aza indirilmesi mümkün olacaktır.

Fırın İç Cidar Isıl Yayınım Katsayısının Artırılması

Birinci bölümde de değinildiği gibi düşük ısıl kapasiteleri ve kolay bakım ve tamirat gibi avantajları sebebiyle günümüzde fırınlarda yaygın olarak kullanılmaya başlanan seramik fiberler, fırınlarda kullanılan mevcut yalıtım malzemeleri arasında sağlık açısından en fazla tehlike oluşturan malzemelerdir. Seramik fiberler açıkta kullanılmaları (sıcak yüzeylerde astar malzemesi gibi) durumunda "cristobalite" isimli bir madde oluşturmaktadır ve bu madde Uluslararası Kanser Araştırma Enstitüsü tarafından kansere yol açması muhtemel maddeler sınıfında değerlendirilmektedir. Bu sebeple önümüzdeki yıllarda seramik fiberlerin kullanımına (özellikle sıcak yüzey astar malzemesi olarak) bazı sınırlandırılmaların getirilmesi beklenmektedir [2].

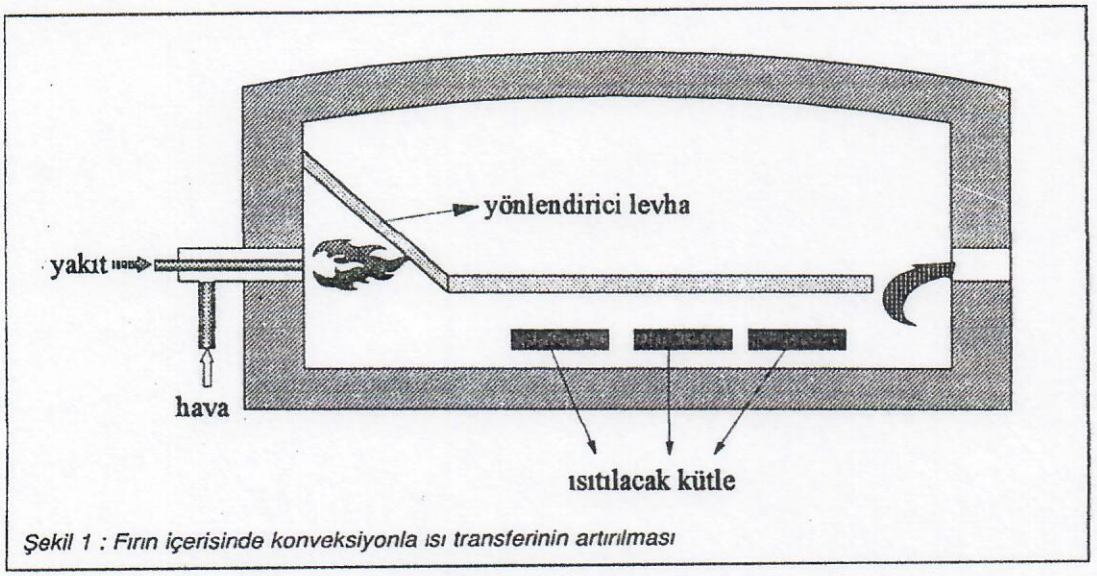
İngiltere'de Biritish Gas tarafından yapılan bir araştırmada fırın iç cidar malzemesi ısıl yayınım katsayısının artırılmasıyla belli koşullarda fırın veriminde önemli artışların elde edilebileceği görülmüştür. Seramik fiber malzemelerin 4 μm den düşük dalga boylarında düşük ışınım yayma katsayılarına (<0.3) sahip olduğu bulunmuştur[3]. Hem seramik fiberlerin sağlık açısından muhtemel zararlarını ortadan kaldırmak, hem de daha yüksek ısıl yayınım katsayılarına sahip oldukları düşüncesiyle fırın iç cidarının gözenekli seramik levhalar ile kaplanması üzerinde bazı araştırmalar yapılmaktadır.

* Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makina Müh. Bölümü

Bu araştırmaların ilk basamağını fırın iç ortam koşullarına uygun ve yüksek ısıl yayınım katsayısına sahip gözenekli seramik malzemelerin elde edilmesi oluşturmaktadır. Günümüzde istenen ısıl, kimyasal ve mekanik özelliklere sahip gözenekli seramik üretecek teknoloji mevcut olmakla birlikte alumina, zirconia, mullite ve cordierite gibi malzemelerden daha ucuza gözenekli seramikler üretecek yeni metodlar üzerinde çalışmalar devam etmektedir.

Yüksek Hızlı Isıtma

Özellikle doğal gaz gibi temiz ve kaliteli bir gaz kullanılarak ısıtılacak kütleyi hızlı bir şekilde ısıtmak mümkündür. Bu amaçla ya yüksek hızlı brülörler kullanarak doğrudan jet çarpması oluşturulabilir veya fırının iç yapısı ısıtılacak kütlenin şekline uydurulabilir. Böylelikle yanma sonucu açığa çıkan gazlar ile ısıtılacak kütle arasındaki taşınımla ısı transferi artırılabilir. Şekil 1'de şematik olarak gösterilen sistemde alüminyumun ısıl işleminde kullanılan bir fırın içerisine yerleştirilen levha ile yanma ürünleri ısıtılacak kütle üzerine yönlendirilmiş ve taşınımla ısı transferi artırılmıştır[4].



Şekil 1 : Fırın içerisinde konveksiyonla ısı transferinin artırılması

Yüksek hızlı brülörlerde yanma işleminin hemen hemen tamamı brülör çıkışında tamamlandığından, brülörü terk eden yanma gazlarının hızı 250 m/s ye kadar ulaşabilir[5]. Klasik düşük hızlı sistemlerde yük üzerinde mevcut durağan sınır tabaka ve yanma ürünlerinin ışınım yayma katsayısının düşük olmasından dolayı taşınımla ısı transferi katsayısı çok yüksektir. Ayrıca yüksek bir hıza sahip olduklarından yanma sonucu açığa çıkan gazlar ısıtılacak kütle etrafında çok iyi bir sirkülasyon oluşturarak, kütlenin düzenli bir şekilde ısınmasını sağlarlar.

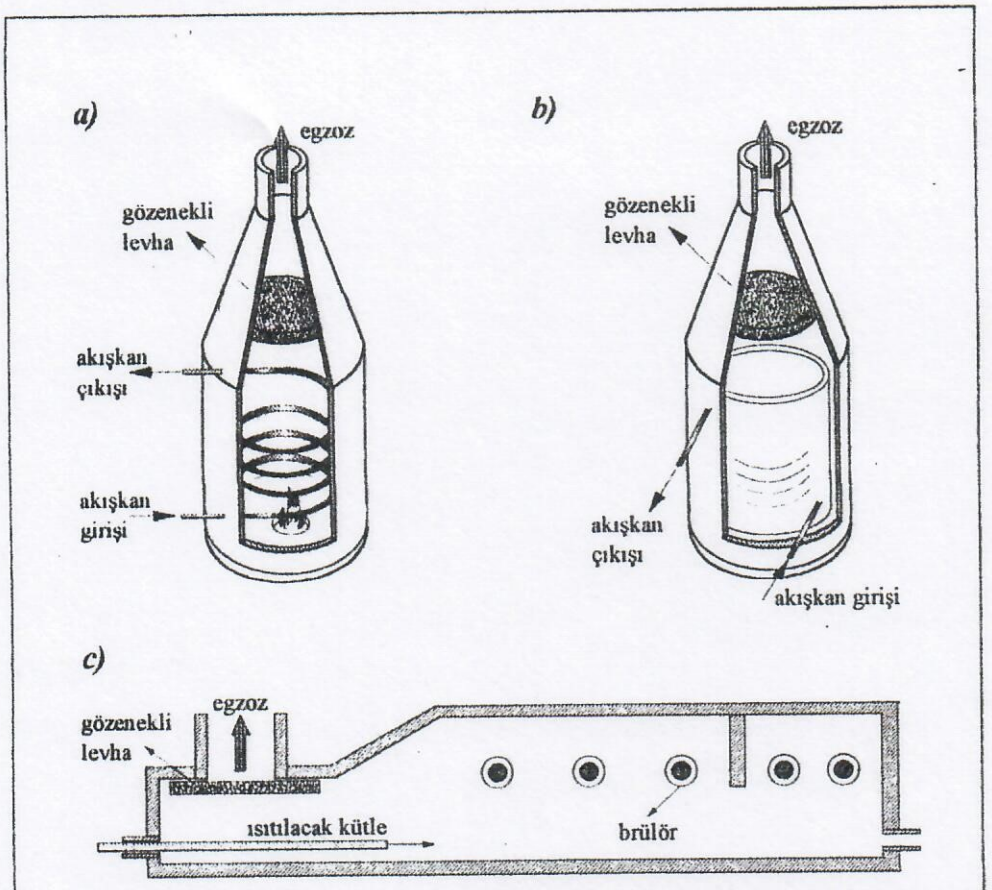
Yüksek hızlı brülörler çok kısa bir sürede (5 ile 10 dakika) istenilen sıcaklığa ulaşabildiklerinden, aralıklı olarak ısıtmaya ihtiyaç duyulan işletmelerde sadece ısıtmaya ihtiyaç duyulduğu anda çalıştırılarak büyük enerji tasarrufu sağlayabilirler. Ayrıca yüksek hızlı brülor kullanılan fırınlarda ısı transferi doğrudan yanma ürünlerinden ısıtılacak kütle olduğundan, brülöre gönderilen hava ve yakıt miktarı kontrol edilerek ısıtma kontrol edilebilir. Bu da otomasyon gerektiren işletmelerde fırın kontrolünün kolaylıkla yapılabilmesini mümkün kılar.

Bu tür ısıtıcılar esas olarak metallerin (demir içeren ve içermeyen) ısıtılmasında kullanılmakla birlikte yüksek ısı akım şiddetine ve yüksek gaz hızına dayanabilecek diğer malzemeler için de kullanılabilir. Yüksek hızlı brülörler çelik kütüklerin ısıtılması amacıyla kullanılan endüstriyel fırınlarda denenmiş ve atık ısı geri kazanımı olmadığı durumlarda bile fırın ısıl veriminin %40 mertebesine kadar çıktığı görülmüştür[5].

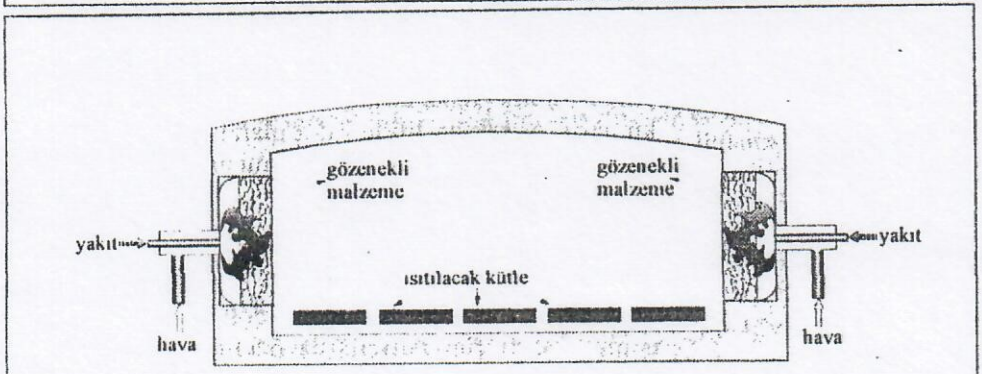
Egsoz Gazlarının Isısından Fırın İçerisinde Yararlanma

Bir fırın içerisinde, yanma ürünlerinden taşınım veya ışınımla ısı transferini artıran her türlü metod atmosfere atılacak olan egsoz gazının sıcaklığını düşürür. Yukarıda taşınımla ısı transferini artıracak yöntemler ele alınmıştır. Ancak taşınımla ısı transferini artıracak özel bir düzenlemenin yapılmadığı fırınlarda taşınımla ısı transferi, fırın içerisindeki toplam ısı transferinin küçük bir oranını (<%10) oluşturduğundan, taşınımla ısı transferini artırarak elde edilebilecek olan verim artışı ışınımı artırarak elde edilebilecek olan verim artışının yanında çok fazla önemli olmayacaktır [6].

Hem konveksiyon hem de ışınımı içeren bir yöntem, fırın içerisine yanma ürünlerinin akış yönüne dik, geçirgen, gözenekli katı bir levhanın yerleştirilmesidir [7]. Gözenekli malzeme yeterli bir optik kalınlığa ve içerisinden geçen gaz ile arasındaki taşınımla ısı transferi katsayısının yüksek olduğu bir yapıya sahip olmalıdır. Bu noktalar dikkate alındığında gözenekli levha seramikten, paketlenmiş küreciklerden, katmanlı elek şeklinde düzenlenmiş tellerden oluşmuş olabilir. Gözenekli levha gazdan taşınımla ısı alırken aynı zamanda ışınımla ısı yayar ve saçar. Bu yüzden gözenekli malzemeyi terk eden gazın sıcaklığı gelen gazın sıcaklığından daha düşük olur. Böylelikle, yanma ürünlerinin duyulur ısısının bir bölümü geriye fırın cidarlarına ve ısıtılacak kütleye



Şekil 2 : Egsoz gazlarının enerjisinden fırın içerisinde faydalanma



Şekil 3 : Gözenekli malzeme içerisinde yanma ile fırın ısıl veriminin artırılması

yönlendirilmiş ve dolayısıyla da kullanılabilir enerjiye çevrilmiş olur. Şekil 2'de bu yöntemin petrokimya endüstrisinde çelik ısıtmak amacıyla kullanılan fırınlarda (Şekil 2-c) uygulanışı şematik olarak gösterilmiştir.

Yapılan çalışmalar bu tekniğin fırınlara uygulanması durumunda, daha yüksek ısıl verim ve ısıtma oranı ile birlikte fırın içerisinde daha düzenli bir sıcaklık dağılımının elde edilebileceğini ortaya koymuştur. Bu ise sonuçta kullanıcıya daha az egsoz gazının atmosfere atılması ve kalite düşüklüğünden dolayı kabul edilmeyen ürün sayısında azalmaya, dolayısıyla da malzeme geri kazanımında ve yeniden işlemede daha az enerji tüketimine yol açacaktır.

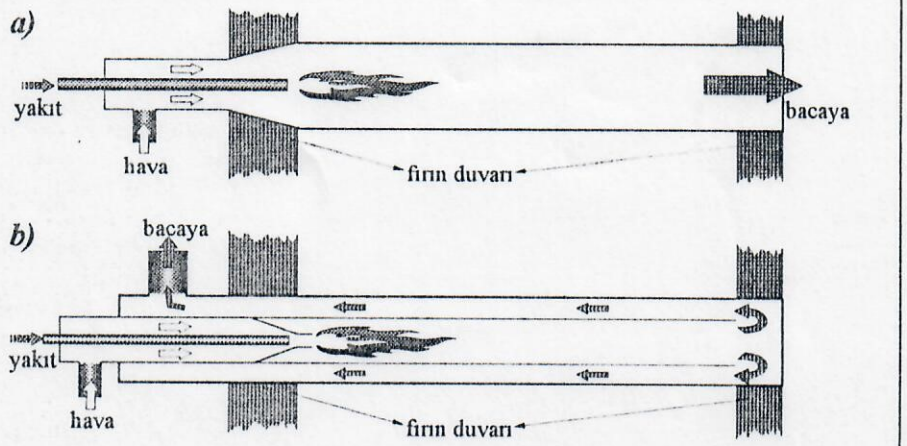
Bu konudaki araştırmaların birçoğu Japonya'da Echigo ve grubu tarafından gerçekleştirilmiştir (8-12). Ayrıca Duckers ve arkadaşları da [6], İngiltere'de bazı araştırmalar yapmışlardır. Bu araştırmacılar doğal gaz ile çalışan bir fırın içerisine gaz akış yönüne dik olarak değişik gözenekli levhalar yerleştirmişler ve fırın tabanındaki çelik kütükleri ısıtarak deneyler yapmışlardır. Bu deneyler sonucunda kullanılan gözenekli levhanın gözenekliliğine ve fırının çalışma koşullarına bağlı olarak, atmosfere atılan gaz sıcaklığında 150 °C ye kadar varan bir azalma ve ısıtılan çelik kütüklerde belirli bir sıcaklığa %22 ye varan oranlarda daha kısa bir sürede ulaşıldığı görülmüştür. Ayrıca, kazanılan enerji miktarı dikkate alındığında gözenekli levhanın yerleştirilmesinden doğan basınç düşümünün önemli olmadığı belirtilmiştir (6,7).

İlk olarak yaklaşık 50 yıl önce ortaya atılan bu fikir (14, 15) son yıllara kadar uygulamaya geçirilmemiştir. Sadece Japonya'da bazı endüstriyel fırınlarda uygulanmış ve fırın türüne bağlı olarak %10 ile %30 arasında değişen oranlarda enerji tasarrufu sağlanmıştır [13].

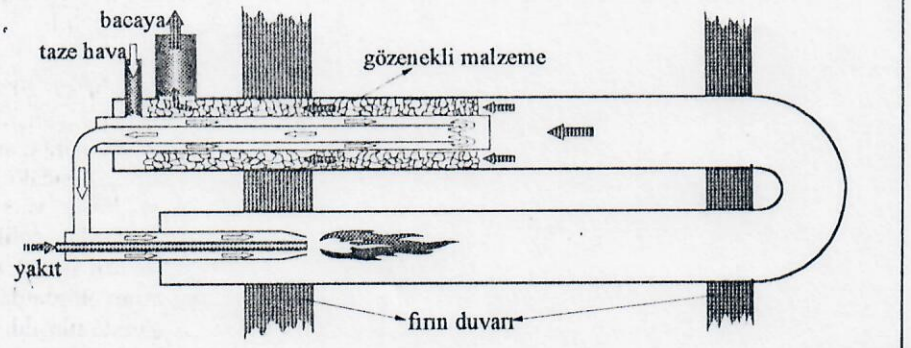
GÖZENEKLİ MALZEME İÇERİSİNDE YANMA

Gaz yakıt kullanan fırınlarda ısıl verimi artırmada umut veren gelişmelerden birisi de yanma işleminin gözenekli bir malzeme içerisinde gerçekleştirilmesidir. Yanma sonucu açığa çıkan ısıl enerji gözenekli malzemenin ısınmasını sağlamakta, ısınan malzeme de ısıl ışınım yayarak ısıtılacak kütleyi ısıtmaktadır (Şekil 3).

İçerisinde yanma işleminin gerçekleştirileceği mal-



Şekil 4 : Işınım esaslı basit (a) ve reküperatif (b) tüp ısıtıcılar



Şekil 5 : Işınım esaslı tüp ısıtıcılarda ışınımın artırılması

malıdır. Şekil 4-a'da gösterildiği gibi bir basit ışınım esaslı tüp ısıtıcıda, tüpün bir ucuna brülor yerleştirilmiştir ve egsoz gazları tüpü diğer uçtan terk ederler. Atmosfere atılan gazların enerjisinden faydalanabilmek için reküperatif olarak imal edilmiş tüpler de mevcuttur. Böylece bir ısıtıcı Şekil 4-b'de şematik olarak gösterilmiştir. Egsoz gazları sistemi terk etmeden önce, reküperatörde taze yanma havasını belirli bir sıcaklığa kadar ısıtarak fırın ısıl verimini bir miktar artırırlar. İşletme parametrelerine bağlı olarak değişmekle birlikte, reküperatif ışınım esaslı bir tüp ısıtıcının verimi doğrusal tüplerde yaklaşık %70-%80, U şekilli tüplerde ise %20-%50 mertebesindedir[5].

Işınım esaslı tüp ısıtıcılarda yanma sonucu açığa çıkan alev ve gaz, tüp içerisinden geçerken konveksiyon ve ağırlıklı olarak ışınımla ısı transferinden dolayı tüpün ısınmasını sağlarlar. Sıcaklığı artan tüp de yine ışınımla (ve az miktarda taşınımla) ısıtılacak yükü ısıtır. Ancak özellikle yakıt olarak doğal gazın kullanılması durumunda, yanma sonucunda alev içerisinde çok az miktarda kurum oluştuğundan alevden tüpe ışınımla ısı trensferi iyi değildir [17].

Kontrollu bir ortamda ısıtmayı sağlamaları, tüp boyunca sıcaklığın yaklaşık sabit olması ve reküperasyona elverişli olmalarından dolayı tercih edilen ışınım esaslı tüp ısıtıcılarda özellikle ışınımla ısı transferini artırabilmek amacıyla son yıllarda bu sistemler üzerinde bazı iyileştirme çalışmaları yapılmaktadır. Önerilen sistemlerin biri tüp içerisine, eksen boyunca yüzey alanı artan kanatçıklı metal bir parçanın ilave edilmesidir. Diğer bir yöntem ise yanma işleminden önce hava-yakıt karışımı içerisine küçük soy parçacıkların ilave edilmesi ve daha sonra egsoz gazından ayrıştırılarak tekrar kullanılmasıdır [17]. Birinci yöntem ile belirli bir başarı elde edilmiş olmakla birlikte ikinci yöntemin uygulanması pratik değildir. Tüp ısıtıcılarda özellikle ışınımla ısı transferini iyileştirmek için önerilen yöntemlerden en başarılısı tüp içerisine gözenekli geçirgen bir malzeme seçilirken, yanma işlemi esnasında herhangi bir reaksiyona girmeyecek özelliklere sahip olmasına dikkat edilmelidir. Bu amaçla kullanılabilecek malzemeler içerisinde en uygun olanı yüksek sıcaklığa dayanabilmeleri, ısıl genleşme ve oksidasyon gibi problemlerinin olmayışından dolayı seramik malzemeleridir [6].

Gözenekli malzemeler içerisinde yanma düşüncesi yeni olmamakla birlikte, malzeme ve özellikle seramiklerdeki son gelişmeler bu sistemleri tekrar gündeme getirmiş ve bu konuda yeni bazı araştırmaların başlamasına yol açmıştır [5].

Işınım Esaslı Tüp Isıticılar

Endüstride bazı ısıtma işlemlerinin kontrollü bir atmosferde yapılması zorunluluğu vardır. Bu amaçla kullanılan dolaylı ısıtma fırınlarından bir tanesi de ışınım esaslı tüp ısıtıcılardır. Bu tür ısıtıcılarda fırının durumuna göre tüp değişik şekillerde olabilmektedir. Doğrusal (Şekil 4-a ve 4-b), U (Şekil 5) veya W yaygın olarak kullanılan türlerdir. Metalik tüpler yaklaşık 900 °C sıcaklığa kadar kullanılabilmesine rağmen, daha yüksek sıcaklıkların söz konusu olduğu durumlarda seramik malzemelerden yapılmış tüpler kullanıl-

nin yerleştirilmesi olmuştur. Böylelikle hem alevden tüpe hem de reküperatif tiplerde egsoz gazından taze yanma havasına ışınımla ısı transferi iyileştirilebilir. Model bir fırında gerçekleştirilen deneysel bir çalışmada, tüp içerisine gözenekli seramik malzemelerin yerleştirilmesiyle ışınımla ısı tansferinin 5 kat iyileştiği ve bunun ayrıca NOx yayınımında da %30 lara varan azalmayı beraberinde getirdiği görülmüştür (17). Pratikte daha yaygınlaşmamış olan bu uygulamanın belki de tek örneği Japonya'da Daido Steel firması tarafından çelik tavlama fırınlarında gerçekleştirilmiş ve başarılı sonuçların elde edildiği bildirilmiştir [18].

SONUÇ

Endüstriyel fırınların ısıl verimlerinin düşük olmasındaki en büyük faktör belirli bir miktar enerjinin bacadan egsoz gazlarıyla birlikte dışarı atılmasıdır. Bu enerjiden faydalanmak üzere fırınlara atık ısı geri kazanım sistemleri ilave edilmektedir. Bu sistemlerin başlıcaları reküperatörler, reküperatif brülörler ve rejeneratörlerdir. Bu sistemlerin uygulanmasıyla fırın ısıl verimini artırmak mümkün olmakla birlikte, büyük ve pahalı sistemler olduklarından ancak büyük ölçekli işletmelerde ekonomik olmaktadırlar. Bu sebeple ideal olan yanma sonucu açığa çıkan gazların enerjisinden mümkün olduğunca fırın içerisinde faydalanılarak atık ısı geri kazanım sistemine gönderilen enerjinin en aza indirilmesidir. Bu amaçla fırın içerisinde ışınım ve taşınımla ısı transferini artıracak yeni bazı sistemler üzerinde çalışılmaktadır. Bunların başında da gözenekli seramikler gelmektedir. Gözenekli seramikler cidar malzemesi veya yanma ortamı olarak kullanılmaları durumunda fırın içi ışınımı artırmakta ve ayrıca bacaya gönderilmeden önce egsoz gazlarının önüne yerleştirilmeleri durumunda egsoz gazlarının enerjisini geriye fırın içine ve ısıtılacak kütleye yönlendirmektedirler. Günümüzde daha araştırma düzeyinde olup endüstriyel fırınlarda yaygın olarak kullanılmamakla birlikte önümüzdeki yıllarda gözenekli seramiklerin fırınlarda kullanımının yaygınlaşacağı beklenmektedir.

** *YÜKSEK SICIKLIK FIRINLARINDA ENERJİ TASARRUFU konulu bu makalenin I. Bölümü olan KLASİK YÖNTEMLER Haziran 1997, 449. Çevre ve Enerji Özel Sayısında Yayımlanmıştır.*

KAYNAKÇA

1. **Onishi, Y. and Watanabe, N. and Echigo, R.,** "Application of Thermal Energy Converter Technology to Industrial Furnaces in Chemical Industry", High Temperature Heat Exchangers (Ed: Y.Mori, A.E. Sheindlin, N. Afgan), Hemisphere Pub.Co.,1986.
2. Energy Efficiency Office, "Guide No. 164: Energy Efficient Operation of Kilns in the Ceramic Industries", Energy Efficiency Office, 1996.
3. **Jackson, J.D. and Yen, C.C.,** Measurements of Total and Spectral Emissivities of Some Ceramic Fibre Insulation Materials", Ceramics in Energy Applications Conference, Institute of Energy, 1994.
4. **Kapros, T., Solyom, J. and Török, I.,** "Convective Heat Transfer Analysisat Industrial Furnaces", International Symposium on Transient Convective Heat Transfer, 1996.
5. **Fassbender, A.G., McGee, M.J. and Yanase, Y.,** "Energy Efficient Industrial Technology in Europe and Japan", Noyes Data Co.,1983.
6. **Duckers, J.G., Tucker, R.J. ve Dale, S.,** "The Use of a Permeable Ceramic for Radiation Enhancement in a Gas-Fired Furnace", Proc. of the Conference on Ceramics in Energy Applications, 1994.
7. **Wang, K.Y. ve Tien, C.L.,** "Thermal Insulation in Flow Systems: Combined Radiation and Convection Through a Porous Segment", Transactions of ASME, J.Heat Transfer, Vol. 106, pp.453-459, 1984.
8. **Tucker, R.J.,** "Advances in Radiation Transfer for Gas-Fired Furnace Design", IMechE Conference Transactions, 4th UK National Conference on Heat Transfer, 1995.
9. **Echigo, R.,** "Effective Energy Conversion Method Between Gas Entalphy and Thermal Radiation and Application to Industrial Furnaces", Proc.of 7th Int.Heat Transfer Conference, 1982.
10. **Echigo, R., Ilanamura, K., Yoshizawa, Y. and Tomimure, T.,** "Radiative Heat Transfer Enhancement to a Water Tube by Combustion Gases in Porous Media", Proc. of International Symposium on Heat Transfer, 1985.
11. **Echigo, R.Hanamura, K., Yoshizawa, Y. ve Tomimura, T.,** "Radiative Heat Transfer Enhancement to a Water Tube by Combustion Gases in Porous Media", Proc. of Int. Syposium on heat Transfer, Vol. 3, 1985.
12. **Hasegawa, S., Fukuda, K and Echigo, R.,** "Improvement of High Temperature Heat Exchanger Efficiency by Inserted Wire Net Layers", High Temperature Heat Exchangers (Ed: Y. Mori, A.E. Sheindlin, N. Afgan), Hemisphere Pub.Co., 1986.
13. **Echigo, R.,** "High Temperature Heat Transfer Augmentation", High Temperature Heat Exchangers (Ed: Y.Mori, A.E. Sheindlin, N. Afgan), Hemisphere Pub. Co.,1986.
14. **Anderson, R.H., Gunn, D.C. and Roberts, A.L.,** "Use of Perme able Refractories for Furnace Construction", J.Inst. Fuel, 1944.
15. **Anderson, R,H., Gunn, D.C. and Roberts, A.L.,** "Further Experience for the Use of Permeable Refractories in Furnace Construction", J.Inst. Fuel, 1945.
16. **Sathe, S.B., Peck, R.E. and Tong, T.W.,** "A Numerical Analysis of Heat Transfer and Combustion in Porous Radiant Tubes", Int. Journal of Heat and Mass Transfer, 1991.
17. **Goeckner, B.A., Helmich, D.R., McCarthy, T.A., Arinez, J.M., Peard, T.E., Peters, J.E., Brewster, M.Q., and Buckius O.,** "Radiative Heat Transfer Augmentation of Natural Gas Flames in Radiant Tube Burners with Porous Ceramic Inserts", Experimental Thermal and Fluid Science, 1992.
18. **Ishida, J., Oguri, Y. and Maruno, Y.,** "New Continuous Annealing Furnace for Specialty Steel Wire Rods", Proc. of the 54th Annual Convention of The Wire Association International, Inc.", 1984.