

Sıcak havalı kupol fırını,

teorisi ve hesapları

Prof. Dr. Y. Müh. Metin Yılmaz GÜRLEYİK

Niğde Üniversitesi Mühendislik - Mimarlık Fakültesi

Makina Bölümü - Malzeme ve Konstrüksiyon Anabilim dalı

Sıcak havalı kupol fırını, teorisi ve hesapları

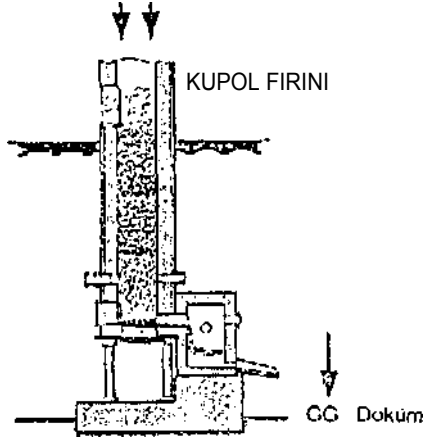
1- Giriş

Türkiye'de Fabrika dökümhaneleri de dahil hiçbir yerde; "Sıcak havalı kupol fırını" bulunmadığını, Köşgeb idaresinden esefle öğrenmiş bulunmaktayım. Halbuki; Almanya'da sıcak havalı kupol fırınları ile çalışan fabrika dökümhanelerde %40 kadar varan, enerji tasarrufu sağlandığı literatürlerden bilinmektedir. Literatürde; yedi tip sıcak havalı kupol fırınları bulunduğu görülmektedir. Bunlardan bazılarında sıcak hava; ayrıca yakıt sarfı ile veya baca gazının ısısından faydalanılarak, rejeneratif metot ile temin edilmektedir. Reküperatör ile temin edilen sıcak yakma havalı fırınların; işletilmesi ve bakımında da duman gazları içerisinde bulunan bol miktardaki tozlar dolayısıyla, bazı işletme zorlukları da çıkmaktadır. Bu projede; teklif edilen ve hesaplanan konstrüksiyon ile; bu zorluklar, ekonomik olarak minimuma indirilmekte ve işletme kolaylığı sağlanabilmektedir.

Bu nedenle; imali ve bakımı kolay, bizim şartlarımıza uygun, yeni tip bir konstrüksiyon yapılmış ve ilgili hesaplamalar bu çalışmada rapor edilmiştir.

2- Kupol fırını çeşitleri:

Ön hazneli, kupol fırınları: Kapasitesi küçük (çapı dar) olan kupol fırından, bir boşaltmada, daha fazla ergitilmiş metal alınmak istendiğinde, bunun için *Sekil: 1* 'de gösterildiği gibi, ön hazneli kupol fırınları kullanılır.

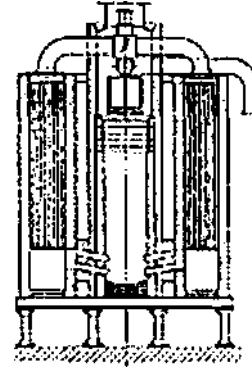


Şekil: 1 Ön hazneli kupol fırını.

Sıcak havalı kupol fırınları: Ergitilmiş metalin daha ekonomik olarak temini, aynı zamanda küçük çaplı bir kupol fırından, kapasitesi üzerinde ergitilmiş metal alınmak ve bu metalin sıcaklığının da daha yüksek olması istenirse; fırının yakma havasının da kendi baca gazları ile ısıtılması gerekmektedir. Zira soğuk havalı kupol fırınlarında, yakacak ısısının hemen hemen %40 kadarı baca gazları ile dışarıya atılmaktadır. Ayrıca; yakma havası ısıtıldığında, üretilen sıvı metalin sıcaklığı da daha yüksek olmaktadır. Bu tip sıcak yakma havalı kupol fırınları, son yıllarda ülkemizde de inşa edilmektedir. Sıcak yakma havalı kupol fırınlarının

baca gazları, daha az toz içerdiklerinden, çevre havasını da daha az kirletmektedirler. Yalnız, bunların ilk tesis yatırımı ise; daha pahalı olmaktadır.

İlk sıcak havalı kupol fırını E. Schürmann tarafından geliştirilmiştir. Bu fırının bugün yapılanlardan farkı; yakma havasının ısıtılmasının, rejeneratif yöntemle yapılmasıdır, *Sekil: 2*.

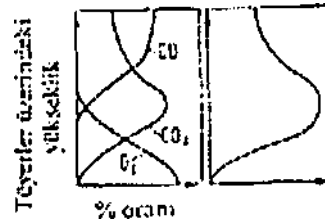


Şekil: 2 Schürmann sıcak yakma havalı kupol fırını ve etrafında bulunan rejeneratör. (Pacyna 'ya göre: GieBerei 46, 1959)

Soğuk ve sıcak havalı kupol fırınlarında, birçok konstrüksiyon ve prensip ortaklığı vardır. Örneğin: Hava üfleme tüyerleri, silindirik gövde ve fırın yapısı gibi .

3- Yanma olayı:

Soğuk havalı kupol fırınlarında, tüyerlerden içeri üflenen hava, derhal kok kömürünü yakar. Bu bölge yanma bölgesidir. $C + O_2 \rightarrow CO_2 + Q$ Kcal ekzotermik olay ve daha sonra $CO_2 + C \rightarrow 2CO$ endoterm yanma olayları ceryan eder. Kupol fırını içerisinde, gaz bileşimi ve sıcaklığın değişimi, *Sekil: 3* de şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil: 3 Kupol fırınında, gaz bileşimi ve sıcaklığın fırın tabanından itibaren değişimi.

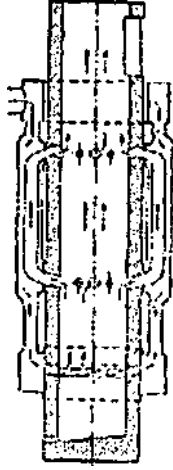
E. Schürmann tarafından geliştirilen sıcak havalı kupol fırınında, her iki rejeneratör, sıcak baca gazları ile sıra ile ısıtılmaktadır. Bu tip kupol fırınları, bugün pek kullanılmamaktadır.

Yakma havası ön ısıtma yapılan kupol fırının diğer bir tipi ise; pek az kullanılan *Fruenknecht* fırınıdır, Şekil: 4 Yakma havası; fırın çeperini çember gibi kuşatan ve fırın baca gazları ile ısıtılan borular yardımı ile yakma havası 100 - 150 °C sıcaklığa kadar ısıtılabilir.

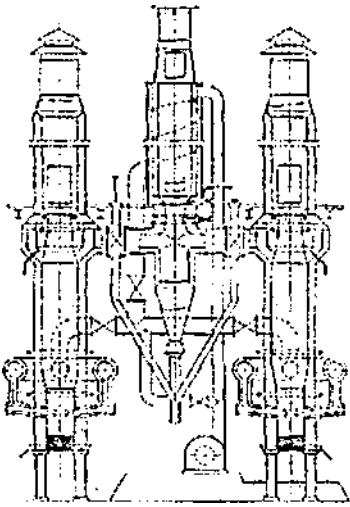
Son yıllarda yeni inşa edilen sıcak yakma havalı tesislerde; yakma havası reküperatif olarak ısıtılır. Sıcak yakma havalı kupol fırınlarında, yakma havasının sıcak baca gazları (*duman*) ile ısıtılması; ekonomik olması bakımından, en çok benimsenen metottur.

Baca gazları, reküperatörden geçirilirken ısınıp, yakma havasına vermektedir. Baca gazlarının fırın çıkışında emilişi; aşağıda belirtilen şekillerde yapılmaktadır:

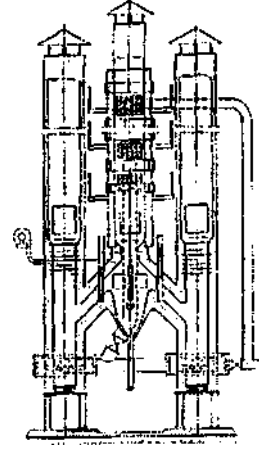
- 1- Baca gazları, fırın doldurma kapısının hemen altından emilir, Şekil: 5
- 2- Baca gazları yanma bölgesinin, hemen üzerinden emilir, Şekil: 6
- 3- Baca gazları fırın doldurma kapısının, hemen üzerinden emilir, Şekil: 7



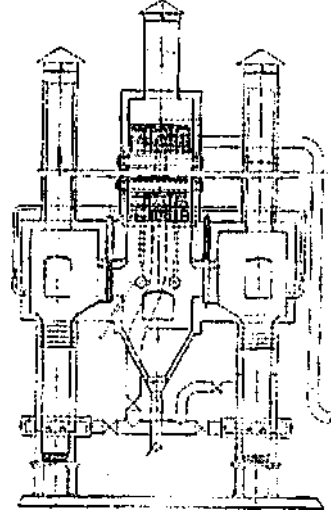
Şekil: 4 Frauenknecht sıcak havalı kupol fırınının şeması. (Speer'e göre GieBereitechnik 18/19 1955)



Şekil: 5 Baca gazları ile, spiral reküperatörlerde ısıtılan yakma havası, dumanın emilişi doldurma kapısının biraz altındadır. (Pacyna 'ya göre: GieBerei 46, 1959)

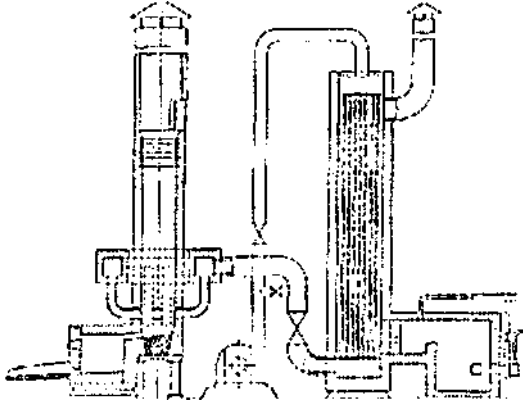


Şekil: 6 Baca gazlarının sıcaklığı ve boru reküperatör yardımı ile yakma havasının ısıtılması. Dumanın yanma bölgesinin hemen üzerinden emilmektedir. (Pocyna'ya göre GieBerei 46, 1959)



Şekil: 7 Sıcak çeperli kupol fırını tesisi, reküperatör boruları, baca gazı ile ısıtılmaktadır. Dumanın emilişi, doldurma kapısının hemen üzerindedir. (Pocyna'ya göre GieBerei 46, 1959)

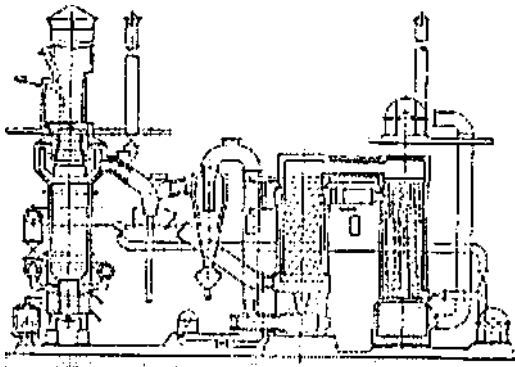
1. ve 2. metotlarda, baca gazlarının kimyasal ısısından, yani CO gazının yanma ısısından faydalanılır. 2. Metotta ise, fırın baca gazlarının sıcaklığından, yakma havasının ön ısıtılması için faydalanılır. Bunlardan başka, kupol fırınlarının yakma havası diğer yakacaklar ile de ısıtılabilir, Şekil: 8 Böylelikle; kupol fırının, baca gazlarına bağımlılık ortadan kalkar. Bu şekilde, yakma havasının sıcaklığının ayarlanması kolaylıkla yapılabilir. Kupol fırının sıcaklığının, aşırı yükselmesi halinde ise; kupol fırınının dış tarafından su ile soğutma yapılır.



Şekil 8

Aynı yakıtla, borulu reküperatörler yardımı ile yakma havası ısıtılan, sıcak yakma havalı kupol fırını. (Poczyna'ya göre Giesslerci 46, 1959)

Kupol fırınlarının astarı, genellikle asidiktir. Son yıllarda başta Fransa ve Belçika'da, metalurjik sıcak yakma havalı kupol fırınları, geliştirilmiş olarak inşa edilmektedir. Bunlara DOAT fırınları da denilmektedir. Bu tip fırınların inşası, Almanya'da da hızla yayılmaktadır. Bu tesisler spiral borulu reküperatör ile kombine yapılırlar, Şekil: 9. Bu fırınlar, son zamanlarda, bazik cürufu çalıştırılmaktadırlar. Bu fırının alt tarafı; nötr astarla yani grafit tuğlalar ile kaplıdır. Yanma bölgesi üzerindeki kısımda, ateşe dayanıklı hiçbir malzeme yoktur. Dış taraftan su ile soğutulan bu fırının iç yüzeyinde, soğutma derecesine göre bir demir cüruf katışımları katılarak, ateşe dayanıklı astar görevini yapar. Bu şekilde çalışan kupol fırınlarının, çalışma süreleri, soğuk hava ile çalışanlara göre, daha uzun olmaktadır.



Şekil 9

Sıcak yakma havalı kupol tesisi, baca gazları kombine edilmiş spiral ve borulu reküperatörlerle verilmektedir. (Poczyna'ya göre GieBerei 46, 1959)

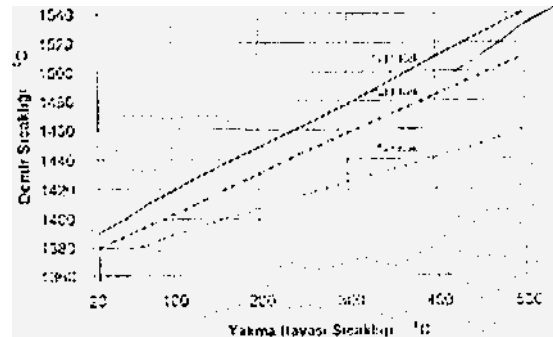
Sıcak havalı kupol fırınında yanma : Yanma olayı, prensip olarak diğer fırınlardaki gibidir. Tek farkı; yanma bölgesinin tüylerin bulunduğu seviyeye kadar düşmüş olmasıdır. Bunun nedeni; yakma havasının önceden ısıtılması, fırın içerisinde ısınması gereken bölgeye kadar yükselmesine lüzum kalmamasındandır. Ergime bölgesinin daralması,

yüksek ocak sıcaklığında, " Boudouard reaksiyonlarının " hızlanmasına neden olur. Böylece; sıcak yakma havalı kupol fırınlarında, soğuk yakma havalı kupol fırınlarına göre, daha dar bir bölgede, yanma olayı ceryan etmektedir. Demirin izlediği yol, soğuk yakma havalı kupol fırınlarında, olduğu gibidir.

Ergitme gücü ve demir sıcaklığının düzgünlüğü: Sıcak havalı kupol fırınlarında, yakma havasının ön ısıtılması nedeniyle, yüksek alev sıcaklığı dolayısıyla, ergitilen demirin sıcaklığı da daha yüksek olmaktadır. Kok şarjı %8 - 12 oranında düşer. Ergitilen demirin sıcaklığı 1450 - 1550 °C arasındadır. Bu nedenle karbonu az olan hurda (*çelik*) ile de çalışma imkânı doğmaktadır. Diğer bir imkân da bazik cüruf; demir bileşimindeki kükürt oranının, azalmasını sağlamasıdır.

Sıcak havalı kupol fırının işletilmesi: Ergitme başlangıcında yakma havası, henüz sıcak değildir. Çünkü; aynı bir yakıtla ısıtılan bir reküperatör veya ek ısıtıcı yoktur. Yakma havasının sıcaklığı; reküperatörün kupol fırını baca gazları ile ısınması ile giderek artmakta ve kısa sürede, rejim haline gelmektedir.

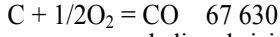
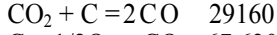
Ölçme tertibatı: Soğuk havalı kupol fırınında olduğu gibi burada da ölçme tertibatları bulunmalı ve özellikle, daha dikkatle kontrol edilmelidir. Sıcak yakma havalı kupol fırınının kendi baca gazı ile ısıtılan reküperatörü özellikle otomatik ölçme (*Oerstat*) aleti ile donatılmış olmalıdır. Ayrıca; belirli yerlerde, yakma havasının sıcaklığının kontrol edilmesi gereklidir. Bu sıcaklık ölçme noktaları, bir nevi regülatör görevi yapmaktadır. Yani; yanıcı gazın, çok sıcak olması halinde, soğuk hava ile karıştırma yapar. Sıcaklığın düşük olması halinde ise; diğer yakacaklar ile ısıtılan yardımcı yakma havası; ısıtıcıların kısa sürede devreye girmesini sağlamaktadır. Sıcak havalı kupol fırınları, birçok avantajı yanında; soğuk havalı kupol fırınına göre, işletme masrafı yüksek olduğundan; genellikle büyük tonajlı döküm yapma işlerinde uygulanır. Sıcak yakma havalı kupol fırınlarından alınan sıvı demirin sıcaklığı; soğuk havalı kupol fırınına göre; 100 - 150 °C daha yüksek olmaktadır. Bazı hallerde 1550 °C sıcaklığa kadar çıkabilir, Şekil: 10. Yüksek sıcaklıkta ergitilen metalin, karbon miktarı biraz daha düşürülebilmekte, sıvı metal içerisinde cüruf ve yabancı maddelerin miktarı azalmakta ve bu nedenle de, döküm yapılan parçalarının mukavemeti ise, yüksek olmaktadır.



Şekil 10

Çeşitli kok kömürü oranlarında, demir sıcaklığının, üflenen hava sıcaklığı ile değişimi.

Kupol fırınında; pik demirinin, redüklenerek, içerdiği karbon miktarının azaltılması olayı ceryan etmektedir. Demirin redüklenme ortamı: Kok kömürü, hurda demir ve hurda çelik ile ve cüruf oluşturan kireç taşı ile sağlanmaktadır. Yanma havası; kok karbonunu yakar. Yanma ürünü CO₂ gazı karbon ile redükte olarak CO gazı oluşmaktadır.



yanma oranını belirlemek için, CO₂ ve CO hava miktarı ile yanma randımanını ve yanma oranını belirten tablo vardır.

4- Yakma havası ihtiyacı ve baca gazları miktarı :

Genel: Yanmaya ait kimyasal denklemlerden, yakma için gerekli oksijen dolayısıyla gerekli hava miktarı ve hacmi Avogadro kanunundan hesaplanabilir: Avogadro kanununa göre, her gazın 1 Mol'u aynı basınç ve sıcaklıkta, eşit hacimdedirler, 1 Mol gaz 760 mm barometre basıncında ve 0 °C sıcaklıkta 22,4 it 'dir. Yanıcı hidrokarbon ve kükürt gibi katı maddeler için de, bu kanun geçerlidir.

Karbonun yanması:

- C + O₂ = CO₂ 32/12 = 1 kg C yanması için
2,67 [kg] Oksijen gereklidir.
- 12 g + 32 g = 44 g (1 Mol) (1 Mol) 1 kg C yanması için
(1 Mol)
22,4/12 = 1,87 [Nm³] Oksijen gereklidir Çünkü: 12 g
C 1 Mol (22,4 it) gerekmektedir 1 m³ Oksijen ise
1 Nm³ CO₂ gazı vermektedir.

Hidrojenin yanması:

- 2H₂ + O₂ = 2H₂O 32/4 1 kg Hidrojen yandığında
=8 [kg] Oksijen gereklidir.
- 4 g + 32 g = 36 g (1 Mol) (1 Mol) 1 kg Hidrojen yandığında
(2 Mol)
22,4 /4 = 5,6 [Nm³] Oksijen gereklidir Çünkü 1 [m³]
Oksijen, 2 [Nm³] H₂O (Su buharı) yapar

Kükürdün yanması:

- S + O₂ = SO₂ 1 kg Kükürt yakılabilmesi için
32/32 = 1 [kg] 32g + 32 g Oksijen gereklidir.
= 64 g
(1 Mol) (1 Mol) (2 Mol) 1 kg Kükürt
yakılabilmesi için 22,4/32 = 0,7 [Nm³] Oksijen gereklidir.

Teorik olarak hava ihtiyacı:

Hava yaklaşık ağırlık olarak 23 kısım oksijen ve 77 kısım azottan oluşmakta olduğundan, 1 [kg] karbonun tam yanması için, 2,67*100/23 = 11,6 [kg] hava veya 1 [Nm³] hava 1,293 [kg] olduğundan 11,6/ 1,293 = 9 [Nm³] hava gerekmektedir. Hacimsel olarak hava %21 oksijen ve %79 azottan oluştuğuna göre; 1 [Nm³] oksijeni 100/21 = 4,76 [Nm³] hava (kesin olarak 4,78 [Nm³]) içermektedir.

1 kg karbonun yanması için 1,87*4,78 = 8,94 [Nm³] hava gerekmektedir.

C kg karbon, H kg hidrojen ve S kg kükürt ve O kg oksijenden oluşan

1 kg yakıtın yanması için:

$$(2.67C + 8H + S - O) \quad [\text{kg}] \text{ oksijen veya}$$

$$(2,67C + 8H + S - O) * 100/23 \quad [\text{kg}] \text{ hava yahut}$$

$$(2.67C + 8H + S - O) * 100/23 * 1/1,293 \quad [\text{Nm}^3]$$

hava, gerekmektedir.

Kok kömürünün ısı değeri 7893,6 [kcal/kg] olarak hesaplandığında, yakma havası ihtiyacı:

$$2,67*82,3/100 + 8*5/100 + 1*1,1/100 - 1*6,7/100 * 3,36 = 8,54 \quad [\text{Nm}^3] \text{dür.}$$

Bu değer, hacimsel oran hesaplarından da bulunabilir. Yalnız bunun için yakıt analizindeki bileşimler, ağırlık oranı olarak verilmiş olmalıdır. Isı değeri hesaplanmasında olduğu gibi, çekilen oksijen 1/8 O olduğuna göre hava gereksinimi :

$$1,87 C + 5,6 H + 0,7 S - 1/8 O \quad [\text{m}^3] \text{dür}$$

Benzer şekildeki hesaplamalar; sıvı ve gaz yakacaklar için de geçerli olmaktadır.

Teorik yakma havası gereksiniminin ortalaması :

1 [kg] taş kömürü için 8,6 [Nm³], 1 [kg] linyit briketi için 8,67 [Nm³], 1 [kg] gaz yağı için 12,2 [Nm³], 1 [kg] kok gazı için 4,5 [Nm³], 1 [kg] havagazı için 5,4 [Nm³], 1 [Nm³] baca gazı için; 0,7 [Nm³]dür.

Pratik hava gereksinimi: Pratik olarak tam yanma, ancak hava miktarının fazla olması halinde olmaktadır. Yakma için kullanılan hakiki hava miktarı L, teorik olarak gerekli olan hava ise L_m, hava fazlalık katsayısı m = L/L_m olur. Ortalama m değerleri kok kömürü için, ateşleme şekline göre 1,3 - 1,9, linyit kömürü için 1,8 - 2,0 , petrol için 1,2 - 1,4 ve gazlar için 1,15 - 1,3 olmaktadır.

Duman miktarı: Yanma denkleminde göre 1 [kg] karbonun yanması için 1,87 [Nm³] oksijen gereklidir ve 1 [Nm³] oksijenden ise 1 [Nm³] CO₂ gazı oluşmaktadır. Ayrıca 1 [kg] C 'nün yanması için 1,87*4,78 = 8,94 [Nm³] hava gereklidir. Kullanılan hava miktarından Avogadro kanuna göre, yanma sırasında oluşan duman miktarı 1 [kg] C için 8,94 [Nm³] 'dür. Teorik olarak oluşan dumanda, karbondioksit miktarı, hacimsel olarak

$$1,87 \text{ Nm}^3 \text{ CO}_2 / 83,94 \text{ Nm}^3 \text{ Duman} * 100 = \%21 \text{ (hacim)dir.}$$

Pratikte normal hava fazlalığı ile çalışıldığından ve kömürün de kimyasal olarak saf olmayışından dolayı, pratik olarak karbondioksit miktarı, pek tabii ki %21 'den daha azdır. Kok kömürü için karbondioksit miktarı maksimum %20,5 , taş kömürü için maksimum %18,9 , linyit briketi için maksimum %18,7 olmaktadır. Pratik olarak ortalama değerler, yaklaşık olarak %13 -15 arasında olmaktadır. Baca gazı kontrolü, pratik olarak duman içerisindeki, karbondioksit miktarının tespiti ile yapılır. Bu hesaplama benzer şekilde hesaplamalar, yakıtın içerdiği diğer yanıcı maddeler için de yapılabilir. Fakat, bunların miktarı, duman içerisinde % olarak çok az olduğundan, ihmal edilmektedir.