



YAPI MALZEMELERİNDEKİ BOŞLUKLARIN ISI YALITIMINA ETKİSİ

Kemal ONAT

İ.T.Ü. Makina Fakültesi, İstanbul
E-mail: konat27@hotmail.com

(Geliş Tarihi: 30.05.2003)

Özet: Bu makalede kuru yapı malzemeleri içerisindeki boşlukların malzemenin ısı yalıtımlığına etkisi araştırılmış, boşluk boyutlandırması hakkında bilgi verilmiştir.

Anahtar kelimeler: Yalıtım Tuğlası, Boşluklu Tuğla

INFLUENCE OF THE HOLES INSIDE BUILDING MATERIALS ON HEAT INSULATION

Abstract: In this paper the influence of the geometry of the holes inside building materials has been investigated. Results of the elimination of convection heat transfer in the hole are reported.

Keywords: Insulating Building Materials, Building Materials with Holes.

SEMBOLLER

A	Isı geçiş alanı(m ²)	η	Oran
a	Katsayı	v	Kinematik viskozite(m ² /s)
b	Katsayı	σ ₀	Siyah cismin ışıyım katsayısı(W/m ² K ⁴)
c	Katsayı	φ	Alanlar oranı
d	Katsayı	İndisler ve üsler	
g	Yerçekimi ivmesi(m/s ²)	c1	Sıcak cidar
H	Boşluk yüksekliği(m)	c2	Soğuk cidar
h	Film katsayısı(W/m ² K)	çapraz	Boşlukları çapraz sıralı
k	Isıl iletkenlik(W/mK)	d	Dış
n	Arka arkaya boşluk sayısı	düz	Boşlukları düz sıralı
Nu	Nusselt sayısı	e	Eşdeğer
Pr	Prandtl sayısı	h	Hava
Q	Isıl debi(W)	i	İç
q	Isıl akı (W/m ²)	il	İletim
R	Isıl direnç (K/W)	k	Katı
Ra	Rayleigh sayısı	kr	Kritik
T	Sıcaklık(K)	m	Ortalama
α	Isıl yayılım katsayısı(m ² /s)	r	İşinım
β	Isıl genleşme katsayısı(1/K)	t	Taşınım
Δ	Fark	δ	Tabaka kalınlığı
δ	Kalınlık(m)		
ε	Isıl yayılım katsayısı		

GİRİŞ ve YÖNTEM

Yapı malzemelerini hafifletmek, aynı zamanda ısı yalıtkan hale getirmek için içerisinde mikro ve makro boşluklar oluşturulur. Doğal, yapay gözeneklerden oluşan mikro boşluklar içerisindeki hava durgun kaldığından taşınım akımları yoktur ve cidarlar arasındaki düşük sıcaklık farkı nedeniyle ışıma önemsizdir. Makro boşluklar ise önlem alınmadığı takdirde her türlü ısı geçişine izin verirler. O halde nem içermeyen makro boşluktaki ısı akısı

$$q = q_{ii} + q_k + q_r \quad (1)$$

şeklinde ifade edilebilir. T_{c1}, T_{c2} boşluk cidar sıcaklıklarını gösterdiğine göre

$$q_{ii} = k_h (T_{c1} - T_{c2}) / \delta_h \quad (2)$$

$$q_k = h (T_{c1} - T_{c2}) \quad (3)$$

$$q_r = \varepsilon \sigma_0 (T_{c1}^4 - T_{c2}^4) = k_r (T_{c1} - T_{c2}) / \delta_h \quad (4)$$

anlamlandırılır. Toplam ısı akısı için

$$q = k_e (T_{c1} - T_{c2}) / \delta_h = (Nu_\delta k_h + k_r) (T_{c1} - T_{c2}) / \delta_h \quad (5)$$

yazılabilir. k_e eşdeğer iletkenlik anlamında olup

$$k_e = k_h + h \delta_h + k_r \quad (6)$$

$$Nu_\delta = (k_h + h \delta_h) / k_h \quad (7)$$

olarak bilinir. Boşlukta taşınım olmadığında $Nu_\delta = 1$ olacak demektir. k_r görünür ışıma iletkenliğidir ve (4) bağıntısından hareketle aşağıdaki gibi yaklaşıklıkla hesaplanabileceği bilinir.

$$T_m = (T_{c1} + T_{c2}) / 2, \quad T_{c1} \approx T_{c2} \quad (8)$$

$$k_r = 4 \varepsilon \sigma_0 T_m^3 \delta_h \quad (9)$$

Tuğlanın ısı yalıtımını iyileştirebilmek maksadıyla düşünülebilecek ilk önlem boşluktaki taşınımı engellemek olabilir. Bunun için düşey durumdaki boşluğun kalınlığını mümkün olduğu kadar ince tutarak Rayleigh sayısını yaklaşık 1000 değerinin altına indirmek yeterlidir. Şekil 1'de görüldüğü gibi dikdörtgen kesitli ve arka arkaya n sayıda düz sıralanmış boşluklar içeren bir tuğla için

$$q = (T_i - T_d) / R = \Delta T_h / R_h \quad (10)$$

$$R = 1/h_i + (n+1) \delta_k / k_k + n R_h + 1/h_d \quad (11)$$

$$R_h = \delta_h / k_e = \delta_h / (Nu_\delta k_h + k_r) \quad (12)$$

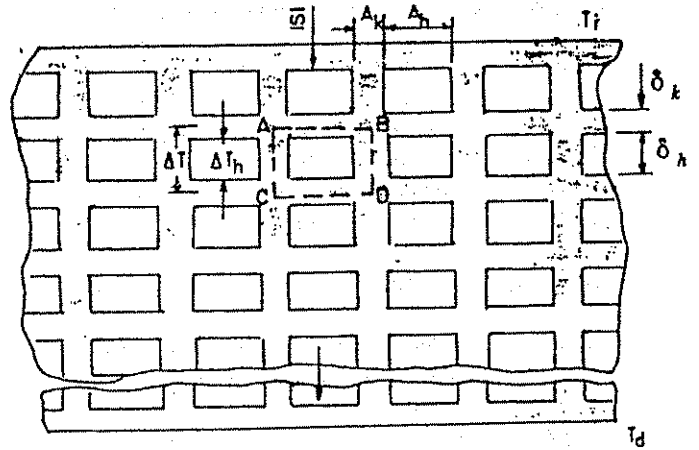
eşitliklerinin yazılabileceği açıktır. Taşınımın olmadığı ($Nu_\delta = 1$) kritik hal için kritik boşluk sayısı yukarıdaki bağıntılar yardımı ile

$$n_{kr} = (R_{h,kr} (T_i - T_d) / \Delta T_{h,kr} - 1/h_i - 1/h_d - \delta_k / k_k) / (\delta_k / k_k + R_{h,kr}) \quad (13)$$

şeklinde elde edilir. Burada

$$\Delta T_{h,kr} = (v \alpha R_{a,kr} / g \beta \delta_{h,kr}^3) \quad (14)$$

olarak verilmiştir. Diğer bütün kritik değerler (10), (11), (12) bağıntılarında $Nu_\delta = 1$, $\delta_h = \delta_{h,kr}$ konarak elde edilmişlerdir. δ_h ve δ_k kalınlıkları teknik nedenlerle belirli değerlerin altına inemeyeceğinden bunların önceden seçimi bahis konusu olacaktır.



Şekil 1: Boşlukları düz sıralanmış tuğla

Geniş yan yüzeylerinden ısı geçişi yapılan, diğer yüzeyleri adyabatik olan bir düşey akışkan tabakasındaki doğal taşınım için

$$Nu_\delta = 0.22 (Ra_\delta Pr / (Pr + 0.2))^{0.28} (H/\delta)^{-0.25} \quad (15)$$

$$Ra_\delta = g \beta \Delta T_h \delta^3 / (v \alpha) \quad (16)$$

$$2 < H/\delta < 10 \quad (17)$$

$$10^3 < Ra_\delta < 10^{10} \quad (18)$$

bağıntısı bilinir. H, δ sırasıyla akışkan tabakasının yüksekliğini ve kalınlığını göstermektedir.

Taşınımın önlendiği tuğla ile aynı sayıda boşluk içeren ($\Delta T_h \approx \Delta T_{h,kr}$), fakat boşluk kalınlıkları daha fazla olan taşınımlı tuğladan geçen ısı akısının

(q) , taşınımsız tuğladan geçen ısı akısına (q_{kr}) oranının hesaplanması istensin.

$$\eta = q/q_{kr} = R_{h,kr}/R_h \quad (19)$$

(11),(12),(15),(16) bağıntılarından hareketle (19) bağıntısı

$$\eta = \delta_{h,kr} (a \delta_h^{1.09} k_h + b \delta_h) / (\delta_h (k_h + b \delta_{h,kr})) \quad (20)$$

şekline sokulabilir.

$$a = 0.22 (Pr \text{ g} \beta \Delta T_{h,kr} / ((0.2 + Pr) \nu \alpha)^{0.28} H^{-0.25} \quad (21)$$

$$b = 4 \epsilon \sigma_0 T_m^3 \quad (22)$$

olarak verilmiştir.

Sonuncu bağıntıya bütün diğer şartlar aynı bırakılarak sadece δ_h boşluk kalınlığı artırılmak suretiyle ulaşıldığına göre boşluk kalınlığının η değerini etkilediği, fakat 1.09 mertebesindeki üs nedeniyle bu etkinin pek fazla olmayacağı anlaşılmaktadır. $\delta_h > \delta_{h,kr}$ halinde iletim ve ısınıma ek olarak taşınım da vardır, yani ısı geçişi iyileşmiştir, ancak bu iyileşme tabaka kalınlığının artması ile doğan direnç tarafından dengelenmektedir. Bu bakımdan (19) eşitliğini

$$\eta \equiv \delta_{h,kr} (a k_h + b) / (k_h + b \delta_{h,kr}) \quad (23)$$

şeklinde yazmak ilk yaklaşıklıkta kabul edilebilir. Buradan çıkan sonuç boşluk kalınlığını artırmanın ısı geçişini pek etkilemeyeceği, buna karşılık tuğlanın toplam kalınlığını, dolayısıyla kütlelerini ve kaplayacağı yeri gereksiz yere artıracığı hususu olacaktır. Diğer taraftan tan boşluk kalınlığı arttığı halde taşınımın başlamaması isteniyorsa bu takdirde arka arkaya olan boşluk sayısını artırarak cidarlar arasındaki sıcaklık farkını düşürme yoluna gitmek gerekecektir. Bu durumda boşluk sayısı (13) bağıntısı ile hesaplanabilecektir.

Boşlukları düz sıralanmış bir tuğlanın ısı iletkenliği Şekil 1'de gösterilen ve bütün tuğlayı karakterize edebilecek olan bölge (ABCD alanı) için yazılabilir

$$Q = A k_t \Delta T / (\delta_h + \delta_k) = A_k k_k \Delta T / (\delta_h + \delta_k) + A_h \Delta T / (\delta_k / k_k + R_h) \quad (24)$$

bağıntısından hareketle

$$k_{t,düz} = \phi k_k + (1 - \phi) (\delta_h + \delta_k) / (\delta_k / k_k + R_h) \quad (25)$$

şeklinde ifade edilebilecektir. Burada A_k, A_h sırası ile katı kısma ve boşluğa rastlayan kısımlardan ısının geçtiği dik yüzeyler, A ise toplam yüzey anlamındadır.

$$A = A_k + A_h \quad (26)$$

$$\phi = A_k / A = \delta_k / (\delta_k + \delta_h) \quad (27)$$

Benzer düşüncelerle boşlukları çapraz sıralanmış bir tuğla için ısı iletkenlik

$$k_{t,çapraz} \equiv (2\phi / c + (1 - 2\phi) / d) 2(\delta_k + \delta_h) \quad (28)$$

$$c = (\delta_h + 2\delta_k) / (k_k + R_h) \quad (29)$$

$$d = 2(\delta_k / k_k + R_h) \quad (30)$$

bağıntısı ile bulunur.

Örnek:

$\delta_k = \delta_h = 10$ mm, $k_k = 0.4$ W/mK (gözenekli malzeme), $H = 40$ mm, $T_i = 20$ °C, $T_d = -20$ °C, $h_i = 8$ W/m²K, $h_d = 23$ W/m²K değerleri alındığında kuru tuğlanın boşluklarında taşınımın önlenmesi için arka arkaya en az 4 boşluk olması gerekeceği hesaplanır. Boşluk kalınlığı 15 mm değerine çıkarılır ve aynı sayıda boşluk yapılırsa $\eta = 1.02$ bulunur ki ısı geçişinde iletme göre pek fazla bir değişiklik olmadığı anlaşılır. Eğer boşluk kalınlığı 15 mm değerine çıkarılıp aynı zamanda taşınımın önlenmesi istenseydi (13) bağıntısına göre arka arkaya en az 16 boşluk yapmak gerekeceği hesaplanırdı. O halde boşluk kalınlığını artırıp taşınımına izin verilmesi daha karlı olmaktadır.

Kritik sıcaklık farkı (14) bağıntısına göre boşluk kalınlığı 10 mm ise yaklaşık 7, 15 mm ise 2 °C kadar olmaktadır.

Boşluklar düz veya çapraz sıralandığına göre yukarıdaki örnekte verilen tuğla için ısı iletkenlik değerlerinin bilinmesi istenirse (25) ve (28) bağıntıları yardımı ile $k_{t,düz} \equiv 0.20$ W/mK, $k_{t,çapraz} \equiv 0.17$ W/mK değerleri elde edilir. Görüldüğü gibi çapraz sıralama tuğlanın yalıtkanlığını artırıcı etki yapmaktadır.

Yukarıdaki hesaplarda boşluk içerisindeki ortalama sıcaklık $T_m = 0$ °C varsayıldı, halbuki farklı sıralardaki ortalama sıcaklık aynı değildir. Ancak sıcaklık azaldıkça aynı bir Rayleigh sayısı için fiziksel özelliklerdeki değişim nedeniyle $\Delta T_{h,kr}$ değeri de azalır, diğer deyişle tuğlanın dış havaya bakan soğuk tarafında daha küçük $\Delta T_{h,kr}$ değerinde taşınım başlamakla birlikte $R_{h,kr}$ değerindeki hızlı artış sonunda kritik boşluk sayısında artma olur, fakat bu artma önemsiz mertebelere düşer. Örneğin T_m için 0 °C yerine uç bir değer olan -20

°C dahi alınsaydı kritik boşluk sayısı 3.84 yerine 4.4 olarak bulunurdu. Doğal olarak, istenirse hesaplar her boşluk için tayin edilecek bir ortalama sıcaklığa göre yapılabilirdi. Burada ana hatları ile bir fikir vermek istendiğinden böyle bir ayrıntıya girilmemiştir.

SONUÇ

Malzeme içerisinde oluşturulan boşlukların boyutlandırılmasında ısı geçişi ve teknik bakımdan bazı hususların göz önünde tutulması gerekmektedir. Öncelikle boşlukların ince yapılması taşınım akımlarının önlenmesi bakımından önem arz etmektedir. Ancak imalat tekniği yönünden belirli bir kalınlığın altına inilemeyeceğinden uygulamada 8-10 mm değerleri alt sınır kabul edilmektedir. Boşluk kalınlaştıkça taşınım akımları nedeniyle ısı geçişi iyileşmekte ise de tabaka kalınlığının yol açtığı ek direnç bu artışı frenlemekte, dolayısıyla ısı geçişindeki artış sınırlı kalmaktadır. Buna karşılık boşluk kalınlığının artması ile tuğlanın toplam kalınlığı ve işgal ettiği yer artmaktadır. Bu nedenle boşlukları teknik bakımdan mümkün olan incelikte tutmak tercih edilecek yol olarak gözükmektedir. Göz önünde tutulacak diğer bir husus da boşlukların çapraz sıralanmasının yalıtım bakımından daha yararlı olduğudur.

KAYNAKLAR

Incropera, Frank P., David P. De Witt, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, John Wiley & Sons, 1990.

Krischer, O., W. Kast, *Die Wissenschaftlichen Grundlagen der Trocknungstechnik*, Springer-Verlag, 1978.

Onat, K., *Yapılarda Isı Yalıtımının Önemi*, Termas A.Ş. Teknik Yayınları 7, 1992.