

Az üvegiparban alkalmazott hőcserélő berendezések

A távozó nagy hőmérsékletű füstgáz hőtartalmának hasznosítása céljából alkalmazzák.

A füstgáz entalpiájával az égéslevegő előmelegítve:

- csökken a füstgázokkal távozó hőveszteség,
- növekszik az égési hőmérséklet és az égés intenzitása,
- javul a betét felé irányuló hőátadás.

→ javul a kemence hőtani hatásfoka.

A hőcserélő berendezések csoportosítása:

- primer hőhasznosítók
 - rekuperátor
 - regenerátor
- szekunder hőhasznosítók
 - füstgázkazán
 - elpárologtató

Rekuperátor:

- a hőleadó meleg (füstgáz) és a hőfelvevő hideg (levegő) közeget szilárd fal választja el.
- Hőátadás a gázközegben konvektív úton, a falon keresztül vezetéssel valósul meg.
- Nagy füstgáz hőmérséklete esetén a sugárzás is jelentős.
- Állandósult (stacionér) állapotú üzemük.

Regenerátor

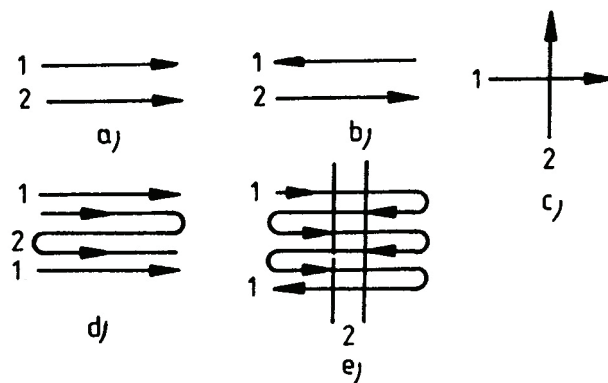
- A hőleadó (füstgáz) és a hőfelvevő (levegő) közeg azonos helyen áramlik.
- A hőleadás és hőfelvétel térben azonos helyen történik.
- A hőcsere folyamatok időben elkülönítve valósulnak meg. A regenerátor üzeme tehát nem stacionér, időben váltakozó.

Rekuperátorok

A rekuperátorok felosztása a füstgáz és a levegő áramlása szerint

A hőátadás a rekuperátor falán keresztül megy végbe,

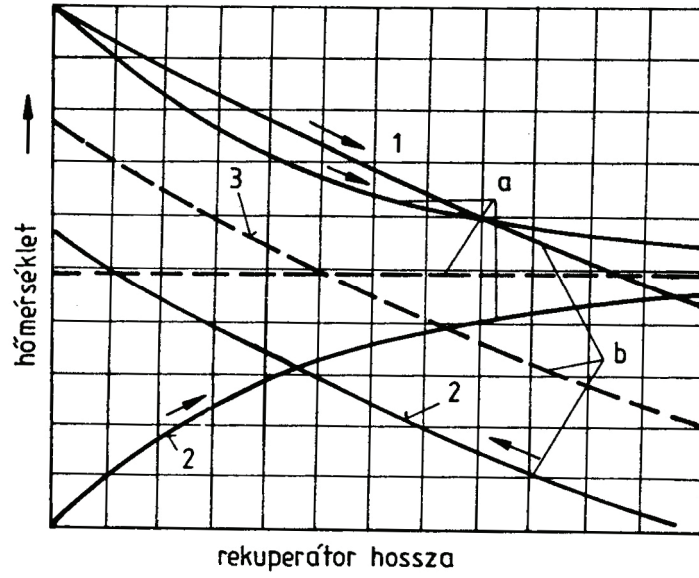
- egyik oldalon a füstgáz,
- a másikon az előmelegítendő levegő vagy gáz áramlik.



Hőcserélőben megvalósítható áramlási módok

Áramlási módok:

- Egyenáramú:** levegő és a füstgáz áram a rekuperátorban párhuzamos és egyirányú.
- Ellenáramú:** párhuzamos, de ellentétes irányú áramlás,
- Keresztirányú:** a levegő és a füstgáz árama egymásra merőleges.
- d) és e) **Kombinált:** a gyakorlatban a levegő- és füstgáz áramlás bonyolultabb sémái is előfordulnak



Hőmérséklet eloszlás egyen- és ellenáramú rekuperátorban

A rekuperátor hőtani számítása

$$\Phi = \Phi_1 = k \cdot \Delta T_{\text{átl}} \cdot A$$

Leggyakrabban a fűtőfelület meghatározása a feladat:

$$A = \frac{\Phi}{k \cdot \Delta T_{\text{átl}}}$$

ahol

- Φ [W] a rekuperátorban a füstgáz által az előmelegítendő levegőnek átadott hő,
 k [W/m²·K] hőátbocsátási tényező,
 $\Delta T_{\text{átl}}$ [°C] az átlagos hőmérsékletkülönbség.

A hőátbocsátási tényező

Meghatározása a munkaigényes.

Általános alakban:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{fg}} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_1}}$$

ahol

- α_{fg} [W/m²·K] a füstgázból a rekuperátor falára történő hőátadás együtthatója,;
- α_1 [W/m²·K] a fal és az előmelegítendő levegő közötti hőátadási együttható,
- δ [m] a rekuperátor falvastagsága,
- λ [W/m·K] a rekuperátor fal anyagának hővezetési tényezője.

- Fém rekuperátor számításánál a δ/λ viszony igen kis érték, így elhanyagolható.

Pl. ha a legvastagabb fallal (8-10 mm) rendelkező öntöttvas rekuperátor esetén a hővezetési tényező 400-500 °C-nál kb. 35 W/m·K

$$\frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,01}{35} = 0,0003$$

- $1/\alpha_1$ és $1/\alpha_{fg}$ értéke 0,01-0,03, tehát a fém rekuperátor falának termikus ellenállása a füstgáz és levegőoldali hőátadás ellenállásához viszonyítva elenyészően kicsi, ezért elhanyagolható.

Fém rekuperátor esetén a hőátbocsátási tényező egyszerűsített képlete:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{fg}} + \frac{1}{\alpha_1}}$$

$$k = \frac{\alpha_1 \cdot \alpha_{fg}}{\alpha_1 + \alpha_{fg}}$$

Kerámiai rekuperátorok számításánál a fal δ/λ termikus ellenállása nem hanyagolható el.

Hőátadás **konvektív úton + sugárzással**

$$\alpha_{fg} = \alpha_{fg}^s + \alpha_{fg}^k,$$

ahol

α_{fg}^s és α_{fg}^k [W/m²·K] a füstgáz és a fal közötti sugárzásos és konvektív hőátadási tényező.

Az átlagos logaritmikus hőmérsékletkülönbség

Az átlagos logaritmikus hőmérsékletkülönbség a következő képlet alapján határozható meg:

$$\Delta T_{\text{átl}} = \frac{T_{\text{kezd}} - T_{\text{végső}}}{\ln \frac{T_{\text{kezd}}}{T_{\text{végső}}}}$$

ahol T'_{fg} [°C] a füstgáz kezdeti (belépési) hőmérséklete,

T''_{fg} [°C] a füstgáz végső (kilépési) hőmérséklete,

T'_l [°C] a levegő kezdeti (belépési) hőmérséklete,

T''_l [°C] a levegő végső (kilépési) hőmérséklete.

és

- egyenáram esetén

$$T_{\text{kezd}} = T'_{fg} - T'_l \quad \text{és} \quad T_{\text{végső}} = T''_{fg} - T''_l$$

- ellenáram esetén

$$T_{\text{kezd}} = T'_l - T''_l \quad \text{és} \quad T_{\text{végső}} = T''_{fg} - T'_l$$

A rekuperátor fal hőmérséklete

Általános feladat: az elemek maximális falhőmérsékletének meghatározása (anyagra vonatkozó fizikai korlát).

Egységnyi falfelületen átadódó hőmennyiség:

$$\varphi = k \cdot (T_{fg} - T), \text{ W/m}^2$$

Hőegyensúly esetén ugyanez a hőmennyiség adódik át a füstgáztól a falnak és a faltól a levegőnek:

$$\varphi = \alpha_{fg} \cdot (T_{fg} - T_w)$$

$$\varphi = \alpha_1 \cdot (T'_w - T)$$

Ezekben az egyenlőségekben

T_w és T'_w [°C] a rekuperátor fal hőmérséklete a füstgáz és levegő oldalon,

α_{fg} és α_1 [W/m²·K] a füstgáz és levegőoldali hőátadási tényező.

A fal hőmérséklete:

$$T_w = T_{fg} - \frac{\varphi}{\alpha_{fg}} = T_{fg} - \frac{k \cdot (T_{fg} - T)}{\alpha_{fg}}, \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T'_w = T + \frac{\varphi}{\alpha_1} = T + \frac{k \cdot (T_{fg} - T)}{\alpha_1}, \text{ } ^\circ\text{C}$$

Fém rekuperátor esetén a fal hőellenállása elhanyagolható és felvehető, hogy $T_w = T'_w$.

Ezt felhasználva:

$$\alpha_{fg} \cdot (T_{fg} - T_w) = \alpha_l \cdot (T_w - T_l)$$

Innen:

$$T_w = \frac{\alpha_{fg} \cdot T_{fg} + \alpha_l \cdot T_l}{\alpha_{fg} + \alpha_l}$$

Sugárzó rekuperátorok

Eltérés a konvektív rekuperátoroktól:

- Nagy füstgáz hőmérséklet ($T > 900-1000 \text{ °C}$),
- Domináns hőátadási forma a sugárzás.
- Füstgáz réteg gáz- és rekuperátor előtti tér falazatsugárzása
- A nagy rétegvastagság érdekében a gáz útját nagy keresztmetszettel alakítják ki (0,5-3 m)
- Konvektív rekuperátorokban a füstgázjáratok mérete nem haladja meg a 0,1 m-t.
- Nagyobb fűtőfelület hőmérséklet.

Előnyök:

- A nagyhőmérsékletű levegő előmelegítés lehetősége,
- kisebb hőállóacél szükséglet (a hőcserélő nagyobb fajlagos hőterhelése következtében).
- A fűtőfelülete jóval kevésbé koszolódik, mint a konvektív rekuperátoré.

Hátrányok

- Nagyobb méret: azonos átadott hőmennyiségre vonatkoztatva terjedelmesebb és külső méretei szerint 2-3-szor nagyobb teret foglal el, mint a konvektív rekuperátor.