

Hűtés és cseppfolyósítás alkalmazása gázok kezelésére

1. Bevezetés

Gázáramok kezelésekor gyakran előfordul, hogy a kezelendő gázáram kondenzálódó gőzt és nem kondenzálódó gázt tartalmaz, s ekkor kedvező lehet a kondenzálódó gőz cseppfolyósítása a gázáramból és visszanyerése, különösen nagyobb gőzkoncentráció esetében. A cseppfolyósítás rendszerint a gázáram hőmérsékletének csökkentésével valósítható meg, de egyébként a nyomás növelésével hasonló eredményt érhetünk el. Ipari feladatokban általában a hűtéssel való cseppfolyósítást alkalmazzák, minthogy a nyomás növelése általában korlátozott, különösen nagy térfogatáramokra gazdaságtalan (gyakran még akár kis mértékűre is). A hűtéssel megvalósított folyamat a levegő-vízgőz rendszerre vonatkozó Mollier-féle entalpia-koncentráció diagramban vagy az angolszász területen használatos pszichrometriai diagramban ábrázolható.

A cseppfolyósítás megvalósítására kétféle berendezés alkalmazható: a **keverő kondenzátorok** (az angol nyelvű szakirodalomban kontakt kondenzátorok) és a **felületi kondenzátorok**. A keverő kondenzátorokban a kezelendő gázáramot közvetlenül érintkeztetjük a hűtőközeggel, s ekkor a cseppfolyósuló komponens keveredik a hűtőközeggel. E megoldást gyakran alkalmazzák többfokozatú bepárló telepek - besűrítő telepek - utolsó fokozatából kilépő ill. kondenzációs gőzturbinából kilépő telített gőz cseppfolyósítására, amikor mindkét esetben a telített gőzáram nyomása általában 0.1 bar alatt van, melyhez a telítési hőmérséklet kb. 45 °C. A keverő kondenzátoroknál talán gyakrabban alkalmazzák a felületi kondenzátorokat, melyek lényegében felületi hőcserélők. Ezek egyik oldalán áramlik a hűtőközeg, másik oldalán a kezelendő gázáram és a hűtött elválasztó felületen cseppfolyósodik a cseppfolyósítható komponens, s így a hőcserélő ezen oldalán „tisztán” összegyűjthető a kondenzátum.

Előrebocsátható, hogy az itt tárgyalt módszer a kondenzálódó komponensnek általában csak nagyobb koncentrációja esetében gazdaságos, ezért a kondenzáció rendszerint csak egyéb módszerekkel együtt alkalmazható módszer (mint pl. abszorpció, adszorpció, égetés stb. előtt).

2.1. Keverő kondenzátorok

A keverő kondenzátor lényegében üres hengeres készülék, melyben a két fázis (a hűtőközeg és a hűtött gázáram) minél hatékonyabb érintkeztetését kell megvalósítani. Ennek érdekében a hűtőközeget porlasztják, vagyis cseppeket képeznek belőle és a folyadékcseppek felületén, mint fázishatárfelületen valósul meg a két fázis érintkeztetése. A cseppképzés megvalósítható túlnyomás alkalmazásával (nyomásos fűvóka), centrifugális erő alkalmazásával (centrifugális porlasztó, mely lehet forgó szórótárcsa vagy forgó fűvóka) vagy injektor alkalmazásával, amikor a fűvókából kilépő nagy áramlási sebességű folyadéksugár szívja be a kezelendő gázáramot a berendezésbe, miközben a folyadéksugár cseppekre bomlik. A keverő kondenzátorból a folyadék „kiemelhető” (rendszerint centrifugális) vákuumszivattyúval vagy ún. barometrikus ejtőcső alkalmazásával (ebben az esetben barometrikus keverő kondenzátorról beszélünk), a keverék atmoszférikus nyomáson lép ki, így hosszát a kondenzátorban lévő nyomás és az atmoszférikus nyomás különbsége határozza meg (a folyadékoszlop hidrosztatikus nyomása tart egyensúlyt a nyomáskülönbséggel, mely közel egyenlő lehet az atmoszférikus nyomással, s ekkor a folyadékoszlop magassága megközelíti a 10 métert, nyomásvesztés nélkül). Az ejtőcső előnye, hogy nem tartalmaz

forgó elemeket és olcsó, hátránya a nagy helyszükséglet, a vákuumszivattyúval szemben, mely igen költséges berendezés. A hűtőközeg rendszerint víz, de gyakran célszerűbb más folyadék alkalmazása, minthogy a hűtőközeg keveredik a kondenzátummal.

A keverő kondenzátorok alkalmazásakor a kilépő folyadékkeverék és a kilépő gázáram hőmérséklete közötti különbség általában igen kicsi (legfeljebb néhány °C). Ebből következik, hogy az érintkeztetés igen hatékony, de igen nagy a hűtőfolyadék szükséglet, minthogy a párolgási hőt döntően érzékelhető hővel vonjuk el, bár lehet némi elpárolgás is. Így pl. a hűtővíz 10-20 °C hőmérsékletnövekedése esetében 1 kg vízgőz cseppfolyósításához atmoszférikus nyomáson mintegy 55-30 kg hűtővíz szükséges, de pl. 15 °C hőmérsékletű hűtővízből csak 12 kg kell, ha megengedjük a keverék 60 °C-ra való felmelegedését. Atmoszférikus nyomásnál kisebb nyomás esetén még tovább növekszik a hűtővíz szükséglet, mivel a nyomás csökkenésével növekszik a párolgáshő. A hűtővíz szükségletet még valamelyest növeli a gázárammal elvitt veszteség (1-2 %), melynek csökkentésére cseppleválasztót kell beépíteni a berendezésbe. A keverő kondenzátorokat szerves gőzöket tartalmazó gázok kezelésére ritkán használják, hiszen ekkor a keletkező folyadékelegyet más módszerrel kell szétválasztani, a kondenzátumot kinyerni (pl. desztillációval, ami energiaigényes, vagy extrakcióval, ami viszonylag körülményes). Nem szerves gőzöket tartalmazó gázelegyek kezelésére azonban igen kiválóak a keverő kondenzátorok.

A keverő kondenzátorból a keverék a berendezés alján távozik, a kezelt gáz a berendezés fejrésznél lép ki. A kilépő gázáram a nem kondenzálódó komponenseket és a visszamaradó gőzöket tartalmazza az adott kilépő hőmérsékletre tartozó telített állapotban - mely jó eséllyel feltételezhető - illetve szerves gőzök esetén még a hűtővíz gőzével is telítődik (ha hűtővizet használunk) a bepárolgás révén, tehát ekkor fellép hűtőközeg veszteség ilyen módon is. E berendezések leválasztási hatékonyságát egyértelműen a hűtőközeg hőmérséklete határozza meg, minthogy a kilépő gázelegy hőmérsékletének e hőmérséklet szab alsó határt.

A keverő kondenzátorok előnyei: általában vákuum alatt működnek, így huzat hozható létre a szennyezett gázáramra (tehát feleslegessé válik ventilátor alkalmazása), egyszerűbbek és olcsóbbak a felületi kondenzátoroknál, kondenzációs kapacitásuk igen jelentős. A keverő kondenzátorok egyetlen hátránya az igen nagy vízszükséglet. Egyes esetekben vegyszerek alkalmazása lehet szükséges, hogy a kellemetlen szagokat kiküszöböljük (bűzös gázok kezelése esetén). Egy keverő kondenzátort tüntet fel az **1. ábra**.

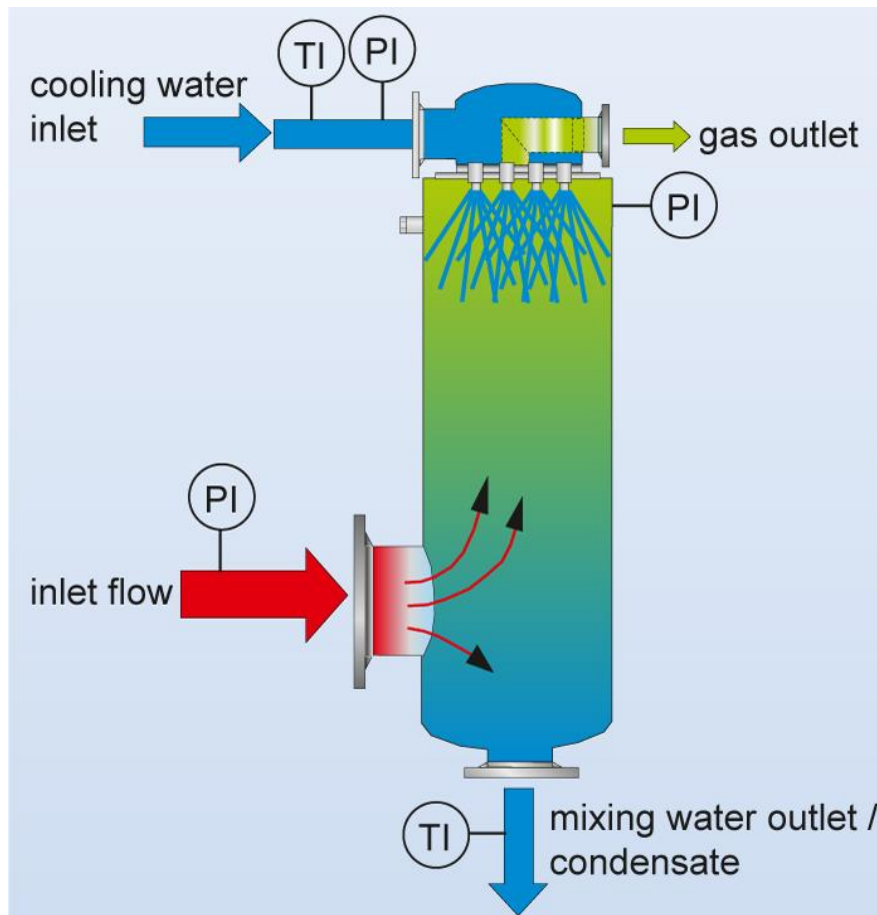
A keverő kondenzátorokban lényegében egyidejű hő- és anyagátadás valósul meg, méretezésüket is ennek megfelelően kell elvégezni, s meglehetősen összetett feladat.

Megjegyzés: e berendezések az ún. permetező abszorberek.

3. Felületi kondenzátorok

A felületi kondenzátorokat (vagy nem közvetlen érintkeztetésű kondenzátorokat) a vegyiparban igen elterjedten alkalmazzák. Bennük a hűtőközeg nem érintkezik a hűtött gázárammal, így a kondenzátum tisztán kapható meg, s a hűtőközeg is visszaforgatható (pl. hűtőtornyban való hűtést követően). A felületi kondenzátorok rendkívül sokféle változatát alkalmazzák: lehetnek csöves hőcserélők, (a gázoldalon) bordázott hőcserélők, cső-a-csőben típusú vagy (sík ill. spirál) lemezes hőcserélők. Előnyeik: a kondenzátum kinyerhető, a víz visszaforgatható, hűtésére akár hűtőtornyos léghűtés is alkalmazható (hűtővíz hiányában),

vízszükségletük lényegesen kisebb a keverő kondenzátorokénál (tizede, huszada is lehet az ott szükséges mennyiségnek, mivel ellenáram alkalmazható, s így a kilépő hűtőfolyadék hőmérséklete megközelítheti a belépő gáz hőmérsékletét). Hátrányuk a nagyobb beruházási és a nagyobb üzemeltetési költség. Ezt az eljárást a szakirodalom gyakran **inert szárításnak** is nevezi, hiszen a hordozó gáz nem kondenzálódik.

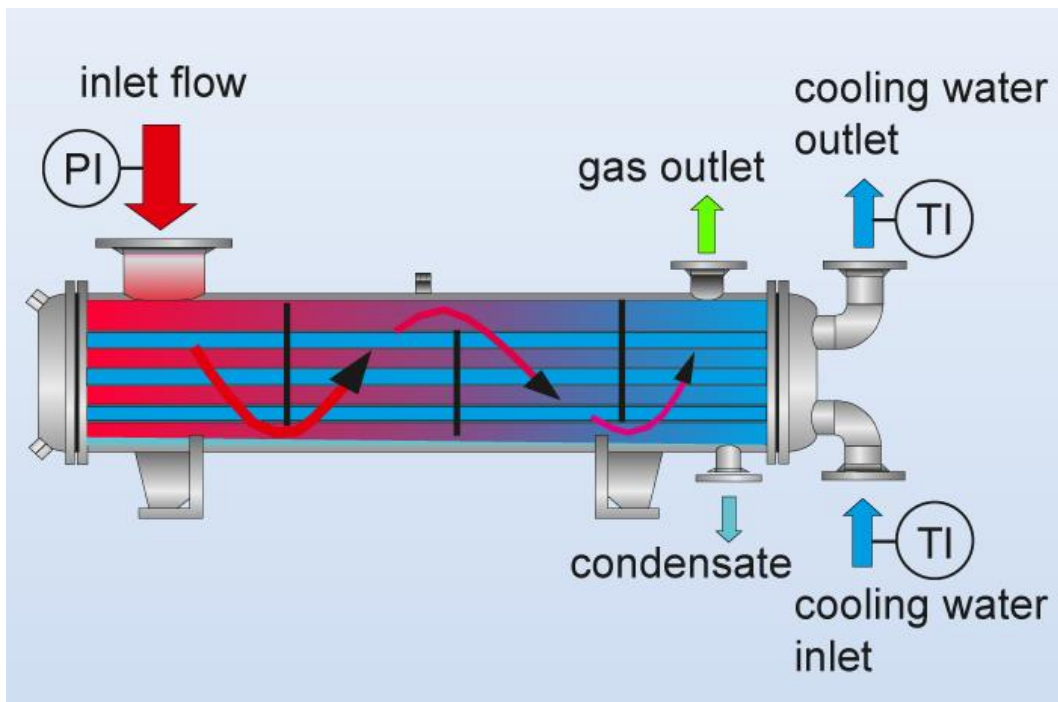


1. ábra
A keverő kondenzátor kapcsolási sémája

Újabban egyes - főleg folyékony gázokat forgalmazó - cégek hűtőköröket alakítottak ki és ajánlanak szerves illékony komponensek kinyerésére, illetve visszanyerésére, melyekben a hűtőközeg folyékony nitrogén. E folyamatot **kriogén hűtésnek** hívjuk. Alkalmazása főleg gazdaságossági kérdés, értelemszerűen kisebb gáz térfogatáramok kezelésére és nagyobb koncentrációkra. Folyékony nitrogén alkalmazásakor a hűtőközeg hőmérséklete -180 °C vagy még ennél is alacsonyabb, s az elérhető harmatponti hőmérséklet $-50, -60\text{ °C}$ vagy még alacsonyabb is lehet. Illékony szerves komponensek gyakorlatilag teljes mértékben eltávolíthatók a kezelt gázáramokból. Egy felületi kondenzátort tüntet fel a **2. ábra**.

Megjegyzés: a folyékony nitrogén forráspontja atmoszférikus nyomáson 77 K (-196 °C), ha viszont folyékony héliumot használunk, annak a forráspontja atmoszférikus nyomáson 4.2 K (-269 °C), szigorúbb elvárások is teljesíthetők, de a költség nagyobb.

A felületi kondenzátorok gázfázis oldalán lényegében egyidejű hő- és anyagátadás valósul meg, méretezésüket is ennek megfelelően kell elvégezni.



4.2. ábra
A felületi kondenzátor kapcsolási sémája

Használható irodalom

- Brauer, H. and Varma, Y.B.G. 1981. Air Pollution Control Equipment. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- Perry, R. H., Green, D.W. and Maloney, J.O. 1997. Perry's Chemical Engineers' Handbook. 7th edition. McGraw-Hill Book Company, New York etc.