ENERGIAGAZDÁLKODÁS

A modern öblös- és háztartási üvegkemencék munka- és elosztócsatornáinak tervezési irányelvei*

Manfred Schnorr

HORN Glasanlagen GmbH

A globalizációval járó világméretű változások az üvegpiacon is egyértelműen éreztetik hatásukat. Különösen igaz ez az öblös- és háztartási üveggyártásra. Éppen Európára jellemző, hogy a kis és közepes, önálló üveggyártó cégeket nagy konszernnek veszik át. Az üveggyártó cégek ilyen mérvű koncentrációjának mindenekelőtt az lenne a célja, hogy ezáltal a versenyképesség növelése érdekében nagyobb hatékonyság, átfogó piacpotenciál és „karcsúbb” költségstruktúra valósuljon meg. A kívánt eredményekből a gyakorlatban persze csak akkor lehet profitálni, ha ezeknek az általános alapelveknek az átültetése a cégek átvétele után következetesen meg is történik.

Egy kemenceépítőnek ezekből az egyesületekből messzemenő következtetéseket kell levonnia. Az új nagyvállalatoknál a vásárláspolitikai és stratégiai célok mellett műszaki követelmények és megfontolások is szerepet játszanak. Ez a gyakorlatban az egyre nagyobb egységek, vagy a nagyon speciális és flexibilis, viszont ennek megfelelően kis olvasztókemencék készítésének igényét jelenti.

A kemencetervezők szempontjából nézve nagyon érdekes az utóbbi 20 év fejlődése. Kétségtől itt most a piacra tervezett és megépített kemencéknek csupán egyfajta típusorát tudjuk bemutatni. Viszont éppen ez a sor jelzi, hogy milyen egyértelmű iránymódosítás figyelhető meg az öblösüveggyártás területén. Amíg 1986 és 1997 között még rekuperátorral üzemelő kemencéket is gyakrabban terveztek és építettek, mára ez a típus az öblösüveggyártás területéről csaknem teljesen eltűnt. Annak ellenére, hogy a létjogosultságuk még (különösen speciális alkalmazásoknál) fennáll, az általános tendencia egyértelműen a > 200 t/nap teljesítményű U-lángú kemencék építése felé mutat.

A háztartási üveggyártásban is megfigyelhető egy ilyen irányú fejlődés. Itt a trend a teljesen villamos olvasztókemencék és kis rekuperátoros kemencék felől a < 200 t/nap teljesítményű U-lángú kemencék felé mutat, miközben a

rekuperátoros kemencék jelenléte még mindig nagyon meghatározó.

A dolgokat közös nevezőre hozva, az üvegyiparban az öblös- és a háztartási üveggyártás területén két tendencia észlelhető.

Az egyik azt mutatja, hogy egyre nagyobb és nagyobb, tömeggyártásra szolgáló 5, vagy még több feederrel ellátott berendezéseket terveznek és építenek. A másik tendencia szerint a különleges színű üvegek és az ezzel járó kis mennyiségű, könnyen változtatható adagok gyártásához viszonylag kisebb egységeket, az oliva, cuvee, tubourg nevű, különleges színű üvegekhez legtöbbször multicolor-kemencéket építenek. A háztartási üveg ágazatában a fejlődés iránya egyértelműen az U-lángú kemencék alkalmazása felé mutat; a múltban a még rekuperátoros kemencéket (unit melter) és a < 20 t/nap teljesítményű, teljesen villamos olvasztókemencéket fokozatosan felváltották a kisebb, 35 m²-es és 75–80 t/nap teljesítményű, U-lángú kemencék. Ugyanakkor ma már léteznek 160 t/nap teljesítményű, 75 m²-es, 8 soros berendezések is. A nagyságnak ma már – úgy tűnik – csak a kidolgozó gépek elrendezése szab határt.

Ez utóbbi tény egész különleges hatással van a munkakádrol és elosztócsatornáról alkotott felfogásra. Ezeknél a funkcióknál általában a „munkakád” kifejezés használata már nem megfelelő. Az ilyen jellegű, többsoros berendezéseknél már csak elosztócsatornáról beszélhetünk. TRIER, az „Üvegolvasztó kemencék tervezése és üzemelése” c. könyvében a munkakáddal kapcsolatban csak annyit említ meg, hogy azt kisebb üvegmenyiségnél fűteni kell. Ez persze nem jelent lekicsinylést, de rámutat arra, hogy a múltban mennyire (nem) tulajdonítottak jelentőséget ennek az egységnek. Ezt a témát manapság a több feederrel ellátott kemencéknél egyértelműen másképp kell megközelíteni.

Míg a feedereknek „csupán” az a feladata, hogy biztosítsák az üvegbelépéstől a csepp-pontig a hőmér-

* A 2005. októberi Üvegyipari Konferencián elhangzott előadás szerkesztett változata.

séklet-gradienst és a megfelelő homogenitást, addig az elosztócsatornának az átfolyótól a feederbe történő belépésig biztosítani kell a kondicionálást és szolgáltatni az ehhez szükséges hőmérsékletprofil. Amennyiben megközelítőleg abból indulunk ki, hogy egy feeder kb. 100 K gradienst tud megfelelő homogenitással végigvinni, ki lehet számítani, hogy ehhez – a helyzettől függően – az elosztócsatornának mi mindent kell biztosítania.

Triviálisan szólva, egy elosztócsatorna alapfeladata az, hogy az átfolyótól a feederbe történő belépésig a hőmérsékletet úgy alakítsa, hogy a feederben csak a csepp előkészítésével kelljen foglalkozni. Az elosztócsatorna tehát összekötő kapocs a kemence és a feeder között.

Minél több feedert integrálunk az összkoncepcióba, annál több lehetőség adódik a különféle terhelési, hőmérsékleti, hűtési és fűtési állapotok megfelelő kombinációjára.

Az elosztócsatorna tehát egyre inkább csúcstechnológiává alakul, melynek egy összetett feladatot kell megoldania. A kemencetervező egyértelműen jelzi ezt a költségeken keresztül, melyek ennek a „részegységnek” a méretezése, számítása, majd azután a tervezése és építése során felmerülnek.

Egy ilyen összetett elosztócsatornának csak a méretezése hosszabb ideig tart, mint egy kemencéé, és a szükséges ráfordítás is kb. 30%-kal nagyobb. Minél rugalmasabbnak kell egy ilyen elosztócsatornának lennie, a tervezőnek annál jobban meg kell fontolnia a beépítendő egységeket. A megfelelő energiafelhasználási és minőségi keretek kialakításához a feederek elhelyezkedése, az üvegkivétel nagyságának és a termékskálának az ismerete az egyik leglényegesebb dolog. Nagyon fontos itt a vevő ötlete is a gépek elrendezésével és a hidegoldallal kapcsolatban. Fontosak a gyári helyviszonyok is. Helybőség vagy „zöldmezős” beruházás esetén bőkezűen lehet bánni a méretezéssel, ugyanakkor mások a keretfeltételek olyan üveggyárak esetében – ezekből Németországban sok van –, melyek 150 évesek vagy öregebbek. Minél kisebb a hely, annál komplikáltabb elosztócsatornát kell építeni.

Az elosztócsatorna méretezésének kulcskérdése az oda belépő üveg hőmérsékletének és az ehhez kapcsolódó számítások ismerete. Amennyiben ez a belépő hőfok túlságosan alacsony, sokat kell fűteni, amely a magas energiaköltség mellett az üveghibák előfordulásának lehetőségét is magában rejti.

Túlságosan magas hőmérséklet esetén hűteni kell, amely homogenitásp problémákhoz és ugyancsak üveghibákhoz vezethet.

Ezt a belépő hőmérsékletet nem lehet a kemencekoncepciótól és ennek megfelelően a kemencegeometriától, valamint különféle paraméterektől elvonatkoztatva kezelni, mivel ezek a tényezők lényeges befolyással vannak az elosztócsatornába belépő üveg hőmérsékletére.

A következő paraméterekkel kell számolni:

- gát, illetve egyéb, a fizikai tisztulást elősegítő építmények megléte,
- buborékolatás megléte,

- pótfűtés megléte, ill. ennek felosztása és elrendezése,
- mélyített derítőrész,
- kemencetípus (U-lángú, keresztüzelésű, rekuperatív),
- felépítménykonstrukció / felépítmény magassága / átfolyó kiképzése,
- égőnyakak elrendezése és tervezése (U-lángú és keresztüzelésű).

Ahogy azt már korábban is említettük, fontos a termékprofil ismerete. Amennyiben pl. hosszú ideig gyártott termékről van szó, legfeljebb csak egy kis gát vagy mélyített derítőtér szükséges. Hosszú ideig gyártott termék azt jelenti, hogy negyedévente mindössze egy típuscserét kell „leküzdeni”.

Amennyiben viszont viszonylag magas cseréparánnyal és egységenként 5 vagy ennél több feederrel és naponta minimum 1 vagy 2 típuscserével kell dolgozni, a gát és mélyített derítőtér kiépítése fontos, hogy az így kialakított pufferezónával a típuscsere miatt fellépő mennyiségi ingadozások ellenére is jó minőségű üveget nyerjünk. Fontos továbbá annak ismerete, hogy színesüveg-feederek integrálása vagy későbbi kiépítése szükséges-e.

Most példákkal illusztrálva néhány gondolatmenetet adunk arra vonatkozóan, hogy az elosztócsatornába lépő üveg hőmérsékletét milyen módon lehet az optimális tartományban tartani és már a tervezés során befolyásolni.

Bemutatunk továbbá különféle példákat azzal kapcsolatban, hogy a különféle vevőspecifikus keretfeltételek és igények kielégítésére milyen filozófiák és lehetőségek adódnak az elosztócsatornával kapcsolatban.

1. példa

Itt egy tipikus ámbra, cuvee, tubourg és oliva többszín (multicolor) -üvegkemencéről van szó. Ezt a kemencét 120 t/nap kivételről 130 t/nap-ra kellett bővíteni, miközben az olvasztófelületet 39-ről 44,5 m²-re növelték. A meglévő két csepp-pontot (cseppadagolást) változatlanul kellett hagyni. Ezenkívül viszonylag kevés hely volt a két sor között, és a szomszédos kemence is közel volt. Mindegyik feedernek 20 és 85 t/nap közötti teljesítménnyel kellett végigvinnie az üveget. A 20 t/nap-os kivételnél 1215 °C-os csepphőmérsékletet és 100 g cseppsúlyt kellett biztosítani. A 65 és 85 t/nap közötti teljesítménnyel NNPB (szűknyak-prés-fűvő) eljárással csomagolóüveget kellett gyártani, valamint a 65 t/nap teljesítménnyel 1500 g cseppsúllyal és 1100 °C-os csepphőmérséklettel kellett dolgozni.

A meglévő munkakádat a korábbi kemenceépítő „Y” elrendezésben építette meg. A vevő tájékoztatása szerint nagy üvegkivétel esetén nehezen lehetett elérni és tartani a szükséges alacsony csepphőmérsékletet. A viszonyokat javítandó, gyakran kikapcsoltak állomásokat az IS-gépből.

Változtatni kellett tehát az egész koncepciót. Különféle fűtési és hűtési mechanikák kombinációit (sugárzónyílás és közvetlen felépítményhűtés) alkalmazva lehetőség nyílt

arra, hogy az összes állapotot és kombinációs lehetőséget kipróbáljuk, és optimális cseppkialakítási lehetőséget teremtsünk (K faktorok $> 98,5\%$). Az elvégzett elosztócsatorna-modellezések alapján a kemence tervezési fázisában az üvegmélységet és a feederek felé az átmeneteket úgy lehetett kialakítani, hogy ne jöhessen létre holttér és rövidzár-áramlás. Az összkoncepció fontos része, hogy az elosztócsatorna méretezése során nem mindig helytállóak bizonyos vevők azon feltételezései és véleményei, melyek szerint az elosztócsatornában a tartózkodási idő 1,8 és 2,5 óra között kell legyen. Sokkal fontosabb itt az a képesség, hogy az elosztócsatornába lépő üveg hőmérsékletét tartani tudjuk, vagy az, hogy a hőmérsékletet a szükséges hőprofil szerint adhassuk le. Csak ezután kell – éppen a multicolor-kemencéknél – a tartózkodási idővel foglalkozni. Hosszú tartózkodási idők azt eredményezhetik, hogy a hőmérsékletprofil megtartásához keményen kell fűteni az elosztócsatornát. Ez a kritikus színek esetében „újratorrósi” hatásokhoz vezethet, ami az üveg minőségét nagymértékben befolyásolja.

A teljesség kedvéért megemlítjük a kemence új teljesítményadatait. 135 t/nap kivételével 35%-os cseréparánnyal, max. 20 buborék/100 g minőségben a barnaüveg megolvasztásához mindössze 1077 kcal/kg hőre volt szükség, beleértve 700 kWh/h áramot is. Fosszilis tüzelőanyagként földgázt használtak.

2. példa

Egy meglévő 160 t/nap-os U-lángú flintüveg kemencét 320 t/nap-ra kellett kibővíteni. A teljesítmény egy részének, 280 t/nap-nak az eléréséhez csak fosszilis tüzelőanyag állt rendelkezésre, a 320 t/nap-ra történő kibővítéshez elektromos pótfűtést lehetett használni, s mindehhez egy 117,5 m²-es kemencét építettek. A kemence elhelyezkedésével kapcsolatos tárgyalásokat nehezítette, hogy a középső csepp-pontot – és ezzel együtt a feedert – közvetlenül az átfolyóval szemben kellett elhelyezni. A gép helyzetét sem lehetett megváltoztatni. A modellezés bizonyította azt a gyakorlatból adódó feltevést és tapasztalatot, hogy ennél a feedernél az üveg közvetlenül az átfolyóból mintegy „átlövedik” a feederbe.

Ugyancsak matematikailag modellezték azt a megfontolást, hogy egy elosztócsatorna helyett inkább kettőt kellene építeni. Így egy hosszabb út adódott a középső, 3. sor számára, amellyel a hőmérsékletprofil az átfolyótól a sorba történő belépésig jobban be lehetett állítani. Ezt viszont csak az elosztócsatornába történő beömlés különleges kialakításának köszönhetően lehetett elérni. Érdekessége a dolognak, hogy a modellezés eredményeképp megkapott feederbe belépő üveghőmérséklet és az üzembe helyezés után mért hőmérséklet között mindössze 5–10 K volt a különbség.

Az eddig nem említett vevőoldali keretfeltételek, miszerint adott esetben mindhárom soron NNPB eljárással kell

gyártani, valamint az, hogy napi egy, de inkább 2 típuscserét kell végrehajtani, a megoldás esélyeit növelték. Az összes előnyt és hátrányt mérlegelve a két elosztócsatornás megoldást választották, és amint kiderült, helyesen döntöttek. A két elosztócsatorna miatt egy típuscserére nagyon könnyen végrehajtható anélkül, hogy ez a többi soron az NNPB-t lényegesen befolyásolná. Normálkörülmények között minden típusátállás üvegszint-ingadozással jár, ami negatív hatással van az NNPB eljárással működő sorokra.

Az egyes sorok eltérő üvegvákuja és hőmérséklet-igénye ellenére az üvegmélység differenciálásával, az energiaháztartás kiszámításával és a felépítmény kiképzésével egy olyan koncepciót alakítottunk ki, melynek során teljesen el lehetett tekinteni a különféle sugárzási és kényszerhűtésektől.

Ez a kád kiválóan alkalmassá vált színező feeder hozzáépítésére is. Az elosztócsatorna helyzetéből adódóan lehetőség volt ezt az egyes vagy ötös sorokhoz építeni. Mivel a tervezési fázisban a piackutatási adatok még nem álltak rendelkezésre, először egy szokásos feedert építettek, majd az üzembe helyezés után fél évvel megtették az előkészületeket egy színező feeder kiépítéséhez. A piac felvevőképessége indokoltá tette a színező feeder kialakítását. Az elosztócsatorna kialakítása lehetővé tette, hogy a színező feeder előfűtési zónája részben az elosztócsatornába kerüljön beépítésre, amivel költséget lehet megtakarítani. A két elosztócsatornának köszönhetően már egy egészen más hőmérsékletprofil lehetett beállítani az elosztócsatornába történő beömléstől kezdve, ami nagyon előnyös volt a termelés szempontjából.

A teljesség kedvéért itt is megemlítjük a kemence új teljesítményadatait. 282 t/nap kivételével 16%-os cseréparánnyal, max. 20 buborék/100 g minőségben a flintüveg megolvasztásához 1020 kcal/kg hőre volt szükség, elektromos pótfűtés nélkül. Fosszilis tüzelőanyagként ugyancsak földgázt használtak. 325,5 t/nap kivételével 14%-os cseréparánnyal, max. 15 buborék/100 g minőségben a flintüveg megolvasztásához 965 kcal/kg hőre volt szükség, beleértve 981 kWh/h pótfűtési teljesítményt is.

3. példa

A meglévő 35 m²-es kemence 75 t/nap üveget gyártott 5 sorra. A kemencét üzemben kívül helyezték, és egy új, 75 m²-es, 160–180 t/nap háztartási üveget 8 sorra gyártó, U-lángú kemencét építettek. A termékprofil ismerete ebben az esetben különlegesen fontos volt ugyanúgy, mint a csepphőmérséklet és cseppszűrés, valamint az egyes feederek üvegvákuja ismerete. E 8 sor kombinációs lehetőségeiből kiindulva kellett mindenekelőtt tisztázni, hogy milyen állapotok, mikor és hogyan következnek be.

Az elosztócsatornában az üvegmélység és áramlási sebesség méretezésének nagy jelentősége volt, mivel a vevő tapasztalatai alapján az elosztócsatornában a nagy áramlási

sebesség huzalosságához vezethetett. A tartózkodási idő közvetett befolyással van a huzalra.

Fontos volt továbbá az elosztócsatorna-felépítmény magasságának és a tüztértérfogatnak a kiszámítása is. Amennyiben alacsony felépítményt nagy hőteljesítménnyel fűtünk, hosszú lesz a kéményekből kicsapó láng. Ez többek között azt mutatja, hogy az elosztókádban nagyon kevés a tüztértérfogat.

Extrém esetben emiatt a kívánt hőhatás olyan mértékben megváltozhat, hogy egyre több gázelegy jut a felépítménybe, amely nem tud kiégni, és emiatt a széleken hűtőhatás lép fel.

A felépítmény magasságának megnövelésével járó energiavesztés elhanyagolható azokhoz a negatív hatásokhoz képest, melyek egy alacsony felépítmény velejárói.

Az elosztócsatornában lévő kemencetérnyomás beállítása ugyancsak nagyon fontos, különösen akkor, amikor speciális derítőszert (antimonderítés) alkalmazunk. Ebben az esetben az elosztócsatornában lévő térnyomásnak a kondenzátumképződés szempontjából van fontos szerepe. Itt játszanak még rendkívül lényeges szerepet a kéménycsapantyú-nyílások. El kell döntenie, hogy közvetlen vagy közvetett kéményt alkalmazzunk-e, valamint azt is, hogy a kemenceteret milyen sebességgel hagyja el a füstgáz. Az elosztócsatorna terhelési állapotának és az energiaháztartásának megfelelően ki lehet számolni, hogy 1 vagy 2 sor vegyes égőt alkalmazzunk, valamint hány és milyen méretű kéményt és csappantyút építsünk be. Ebben a példában ráadásul további 2 színező feedert is építettek. Annak érdekében, hogy a színezési folyamathoz szükséges magas hőmérsékletet az elosztócsatornába történő beömlésnél a színezés előkészítéséhez felhasználhassuk, a színező feedereket közvetlenül az átfolyó közelében, az elosztócsatornába építették.

4. példa

Jelenleg egy nagyméretű, U-lángú kemence megvalósítása van folyamatban. Ezt a 600 t/nap, 165 m²-es öblösüveg-kemencét két átfolyóval kell ellátni, mivel egy átfolyóval működve olyan méretűre kellene tervezni, amellyel a rá háruló terhelést már nem lehetne kezelni. Ez egyrészt az AZS-anyagok gyártási korlátaival magyarázható. Egy átfolyóval kritikussá válna az elosztócsatornába történő befolyó környékének kialakítása is. Ennek a beömlőrésznek nagyon nagy lenne a terhelése. Másrészt egy ilyen nagyméretű, 6 soros, soronként 100 tonnás kemencénél a hőmérsékletprofil annyira különféleképpen kell beállítani, hogy két elosztócsatorna kiépítését nem lehet elkerülni. Az elosztócsatornába történő beömlést továbbá úgy kell kialakítani, hogy ne forduljon elő rövidzár-áramlás. Ezért itt nagyon fontos, hogy a termékprofilnak megfelelően legyen az üvegtermék méretezve. Aszerint, hogy milyen gyártási programot és gépelrendezést alkalmaznak, a felépítménybe közvetlen és közvetett hűtés kombinációja kerül beépítésre.

Összefoglalás

Összefoglalva el lehet mondani, hogy a tervezés során alkalmazott elemek, mint a gát, a buborékoltatás (bubbling), az elektromos pótfűtés (boosting), a mélyített derítőrész, valamint az alkalmazott elosztócsatorna száma, fontos szerepet játszanak egy elosztócsatorna méretezése során. Lényeges szempont emellett az egész feederelevezés és kivitelezés, valamint a kemence általános helyviszonyai.

A termékprofil, az üvegtermék, az egyes csepp-súlyok, hőmérsékletek, gyártási eljárások (BB-fűvő-fűvő/PB-prés-fűvő/NNPB) ismerete egyfajta szimbiózist eredményez. A koncepció és a berendezés vevőspecifikus, így minden egyes elosztócsatorna egyedi darabnak számít. Eddig még nem fordult elő, hogy egy elosztócsatornát ugyanabban a méretezésben kétszer használhattak fel.

Az elosztócsatornák a feederekkel együtt a termeléshez szükséges optimális hőmérséklet-beállítást szolgálják. Az energiateljesítményükkel kapcsolatos megnyilvánulások emiatt aztán másodlagosak, mivel a kemence melegoldali részének kezelése mindig nagyon nehéz, és sok tényező függvénye. Ezért a megfelelő hőmérséklettel és homogenitással bevezetett üvegnek kell elsőbbséget élveznie. Az elosztócsatornában lévő homogén hőmérséklet kialakításához önmagában a fűtő- és hűtőrendszerekkel ellátott felépítmény nem elégséges. Ugyanolyan fontos az elosztócsatorna alsó részének kialakítása is.

Végezetül fel kell tenni a kérdést: rendelés esetén mennyire érdemes és célszerű olvasztókádakat és elosztócsatornákat egymástól elválasztani vagy külön-külön rendelni?

* * *

KÖNYVAJÁNLÓ

A beltéri szén-dioxid légszennyeződéssel kapcsolatban augusztusban megjelent a VDI (Német Mérnök Szövetség) kiadványa „What a frowst!” címmel. Elérhető német és angol nyelven.

A VDI 4300/9 Irányelv tartalmazza a beltéri levegő szén-dioxid-tartalmának meghatározását, a vizsgálati eljárásokat, az elvárható alapértékeket, valamint a szellőzési paraméterek részletes meghatározását. Foglalkozik továbbá a szellőzési követelmények számításával is.

A beltéri levegő szennyezettségének meghatározására leginkább a szén-dioxid-tartalmat használják. A természetes szellőzésű helyiségekre – melyekben nagyszámú ember tartózkodik (pl. iskolai tantermek, előadótermek) – különösen jellemző a levegőminőség gyors romlása. Mesterséges szellőztetés nélkül az előírt határértéket ezekben a helyiségekben meglehetősen nehéz betartani.

További információ: www.vdi.de