

FÉMCSÖVEK ALAKÍTÁSA ROBBANTÁSSAL, NÖVELT HATÁSFOKÚ HŐCSERÉLŐ KÉSZÍTÉSÉHEZ

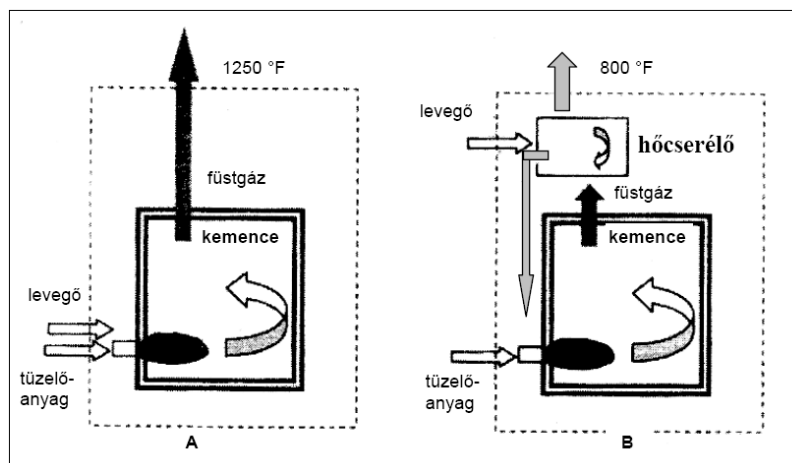
ÖSSZEGZÉS: A csőköteges hőcserélők hatásfoka nagymértékben javítható, ha a csöveken olyan dudorokat alakítunk ki, melyek a csőben áramló közeg turbulenciáját okozzák. Ezek a dudorok a célszerűen kialakított szerkezetben elhelyezett acélcsővek robbantásos alakításával előállíthatók. Az előadás ismerteti az optimális csőalakok meghatározásának elvi módját és azt a robbantásos eljárást, mellyel az optimális alakok a gyakorlatban megvalósíthatóak.

Kulcsszavak: robbantás; csőalakítás, hőcserélő

BEVEZETÉS

Melegebb közeg entalpiájának egy meghatározott részét nála hidegebb közegnek átadhatja. E hőátvitel célszerű berendezése a hőcserélő. Szénhidrogén energiahordozók használatakor a fűtéshez szükséges hőenergia jelentős hányadát teszi ki a füstgázzal távozó hő veszteség. Egyes esetekben hőcserélőkkel ezek a veszteségek visszanyerhetők. A hőcserélők által visszanyert hőt a színes- és könnyűfém öntődégekben, hőkezelő berendezésekben, gázkazánoknál hasznosítják.

A megfelelően méretezett és gyártott hőcserélők alkalmazásának gazdasági előnyeit az alábbi példával szemléltetjük (1. ábra).



1. ábra: Hőcserélő nélkül (A) és hőcserélővel (B) üzemeltetett kemence

Az 1A ábrán látható földgáztüzelésű kemence a környezetből szívja be az égéshez szükséges levegőt és magas hőmérsékleten bocsátja ki az égéstermékeket. A nagy hőmérsékletű füstgázok 20–40% energiát visznek el a kemencéből. Egy hőcserélő berendezés, pl. egy rekuperátor, vagy regenerátor beállításával visszanyerhető a füstgázok energiája és felhasználható az 1B ábrának megfelelő módon a beérkező friss levegő előmelegítéséhez. A rekuperátor és regene-

¹ National Center Scientific Research „Demokritos” (Athén, Görögország)

² Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar

³ S-Metalltech 98 Anyagtechnológiai Kutató-fejlesztő Kft.

⁴ S-Metalltech 98 Anyagtechnológiai Kutató-fejlesztő Kft.

rátor olyan hőcserélő berendezések, amelyeket korábban a kemencehatásfok javításához használtak fel. A rekuperátorban a hőátadás vezetéssel és konvekcióval, általában a két áramló közeget elválasztó médiumon keresztül valósul meg. A regenerátorban egy másik közeg tárolja az átadott energiát és a tároló közegen keresztül váltakozva halad át a forró közeg, valamint a hideg levegő. Bármelyik berendezés beiktatása megnöveli a kemencén a nyomásesést, fokozza a légfúvó által megkívánt teljesítményt. A rekuperátor gyakran némi módosítással a kemence kiáramló rendszeréhez csatlakoztatható: a kéményhez, vagy a levegőbeszívó vezetékekhez és az égéslevegőt tápláló fűvóhoz. A forró gázok függőleges irányba távoznak és a friss levegő a csöveken keresztül áramlik az égéstérbe. A regenerátor hatását általában mozgó alkatrészekkel, vagy szakaszos tüzeléssel fokozzák. A hőcserélő típusától függetlenül a hatásfok javítása érdekében szabályozásra is szükség van. A szabványos égők általában 200–300 °C-ra előmelegített levegővel táplálhatók, módosításokkal egészen 425 °C hőmérsékletig is alkalmazhatók. Magasabb hőmérsékletű előmelegítést tesznek lehetővé a tökéletesített égők és a módosított levegőkezelő berendezések.

Ebben az esetben a füstgázhőmérséklet 680 °C. A hőcserélő mérete fontos, mivel ez határozza meg a berendezés költségét és az elérhető megtakarítást. Amennyiben egy vállalat földgáztüzelésű kemencét használ alumíniumolvasztáshoz és a teljes felhasznált energia 70%-át fordítja erre a műveletre, egy nagyjából 10 m² felületű hőcserélő beiktatásával 14% energiát takaríthat meg. [1]

A HŐCSERÉLŐK MÉRETEZÉSI ALAPJAI

A hőcserélő csöveit úgy kell megválasztani, hogy a lehető legjobb hőátadási együtthatót eredményezzék. Ez egyrészt azt jelenti, hogy a csövekben turbulens áramlás valósuljon meg, másrészt a hőkonvekció ne legyen jelentősen eltérő a csőfaltól távolabbi folyadéktér és a csőfal között. Mindkét célt a kisebb átmérőjű, vékonyabb csövek biztosítják. A hőcserélő összes geometriai méretének meghatározása alatt csőátmérők, a csövek közötti távolság, a csövek hossza és a köpenyátmérő meghatározását értjük. A csövek méretét a belső áramlási tulajdonságok, a csövek közötti távolságot pedig a külső áramlási tulajdonságok határozzák meg. A csövek hosszát a hőátadáshoz szükséges felületből állapítjuk meg.

A folyamatokat különféle, általában dimenzió nélküli viszonyszámokkal lehet leírni, amelyek felfedezőjük, az áramlástan nagy tudósainak nevét viselik.

A Nusselt-számot a $h \cdot d/k$ képlet írja le, ahol h a konvektív hőátadási tényező, d a cső átmérője és k a hővezetési tényező. Minél nagyobb ez a szám, annál jobb a hőátadás.

A Prandtl-szám az impulzus molekuláris diffuzivitásának (ν , kinematikai viszkozitás) és a hő molekuláris diffuzivitásának (α) hányadosa. Ez tulajdonképpen az áramló folyadék mechanikai és hőtani viselkedését veti össze.

A Reynolds-szám az áramló anyagban fellépő tehetetlenségi erők és belső súrlódási erők hányadosa: $v \cdot d/\nu$, ahol v az áramlási sebesség, d a cső átmérője és ν (görög nú) a kinematikai viszkozitás.

A HŐCSERÉLŐK HATÁSFOKÁNAK JAVÍTÁSA

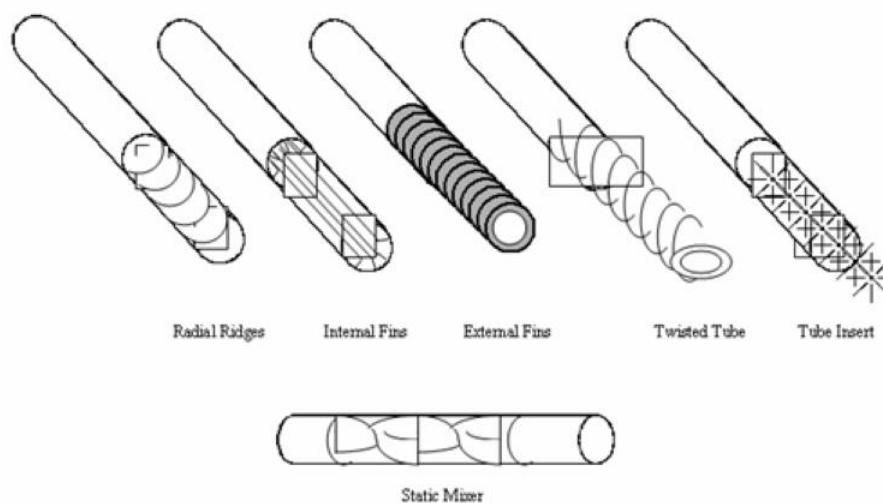
A nagyobb hőátadási tényező kisebb hőátadó felületek alkalmazását teszi lehetővé, ezzel anyagmegtakarítást és kisebb méreteket lehet elérni. A hőcserélőkben a leggyakoribb elem a csővezeték, amelyben áramolva adja át a folyadék a hőt a cső falán kívüli közegnek. A csöve-

ken különféle geometriai módosításokat végrehajtva a hőátadás fokozható, ennek viszont a nagyobb nyomásesés és áramoltatási energiaigény az ára.

Sok esetben a méretek korlátozottak, illetve a felhasznált anyagmennyiséget mind a takarékoság, mind a tömeg lehető legkisebb értéken tartása miatt korlátozni kell. Ez a hőátadási tényező növelésével érhető el, amit viszont a fizikai (tömeg-szállítási és hőtani) folyamatok határoznak meg. Bármennyire is elterjedt és hétköznapi eszközökről van szó, tervezésük és méretezésük nem egyszerű feladat, mivel a tömegáramlás lehet lamináris és turbulens is, a hőátadás leírása pedig igen bonyolult és erős kölcsönhatásban van a tömegáramlással.

Általánosságban úgy lehet megfogalmazni a jelenséget, hogy a cső belsejébe valamilyen akadályt helyezve az csökkenti az áramlás számára rendelkezésre álló keresztmetszetet, ami a nyomásesés növekedését okozza. Általában az áramlási sebesség csökken, a fő áram mellett másodlagos áramlás is kialakul, amely hasznos a hőátadás szempontjából, mert megkeveri a csőben áramló folyadékot, ez növeli a hőmérsékleti gradienst és ezáltal a hőátadást. A betétek, akadályok sokfélék lehetnek: csavart szalag, spirális huzaltekerics, bordák, háló. A csavart szalag esetén a cső belsejébe egy megcsavart lemezt helyeznek el (2. ábra). Bármennyire is egyszerű megoldásnak néz ki elsőre, számos változatát dolgozták ki és vizsgálták a kutatók, mint egyenletes menetemelkedés a cső egész hosszában, egyenletes menetemelkedés, csak a cső egy részében van szalag, egyenletes menetemelkedés, több szakasz-ban van szalag, változó menetemelkedés a cső egész hossz-szában: általában nő az áramlás irányában és a változó menetemelkedés több szakaszban. A huzaltekerics esetén (2. ábra) a cső belső felszínére huzalt fektetnek spirális alakban. A csavart szalag esetén felsorolt összes kialakítási változatot itt is meg lehet valósítani. A huzaltekerics jellegénél fogva csak a cső falának közvetlen közelében fejti ki hatását, a cső belsejében zajló áramlásra alig van, vagy egyáltalán nincs hatása.

Számos kísérletet folytattak az eddig tárgyaltaktól eltérő geometriájú betétekkel is. Például 45o-os szögű bordák elhelyezése négyzetes keresztmetszetű légcsatornáknak két egymással szemben fekvő falon 260–300%-kal megnövelte a hőátadási tényezőt. Természetesen a bordák számos geometriai elrendezése szóba jöhet, a vizsgálatok a 45o-os szöget mutatták optimálisnak. A bordák keresztmetszetének formája ugyanakkor nem játszott lényeges szerepet. Hatékony a hőátadás szempontjából a csövek külső és belső felületének érdesítése és mélyedések, hornyok kialakítása is. Az érdeség mértéke, illetve a hornyoknak a csatorna belméretéhez viszonyított nagysága adott elrendezésnél optimumot mutat, vagyis az optimumnál kisebb és nagyobb mértékű beavatkozás egyaránt lerontja a hatást.



2.ábra: Hatásfokjavítási megoldások

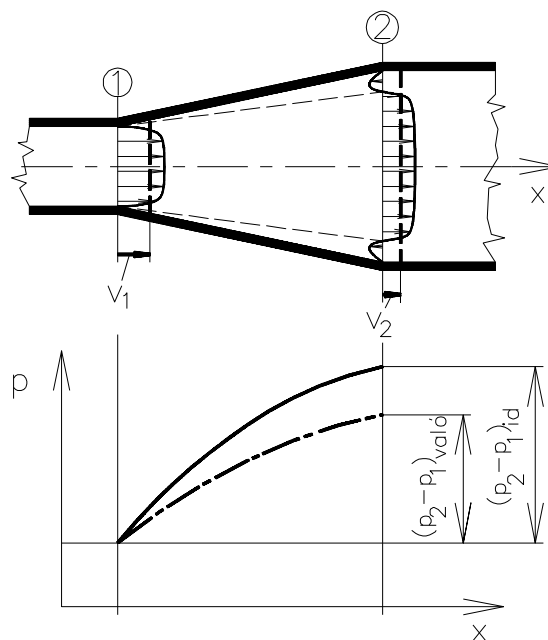
CSÖKÖTEGES HŐCSERÉLŐK HATÁSFOKNÖVELÉSE BÜTYKÖK KIALAKÍTÁSÁVAL

A csököteges hőcserélőknél a köpenytér átáramlási keresztmetszete mindig nagyobb, mint a csőtéré. A hőcserélőben áramló közegek áramlását úgy kell megszabnunk, hogy sebességük a minél jobb hőátvitel céljából elegendő nagy legyen. A sebesség növelésének azonban határai vannak, mert növekvő sebességnél a hőcserélő ellenállása, ill. az áramló közeg nyomásesése rohamosan növekszik (általában a sebességgel négyzetes arányban), ami nagyobb szivattyúzási vagy fűvási energiát igényel. A konstrukciót úgy kell megválasztani, hogy az áramlási sebesség folyadékok esetében a csőtérben és a köpenytérben egyaránt 0,5...2 m/s legyen.

Gázok esetében a tömegsebesség célszerű nagysága 6000...80 000 kg/(m²·h). A hőcserélő technológiai méretezése rendszerint csak a kiindulási feltételek ismételt ellenőrző számításával oldható meg. A készülék szerkezeti kialakítása (csőszám, csőméret, csőosztás, terelőméret stb.) adott terhelési viszonyok esetén meghatározza a készülék „k” hőátviteli együtthatójának értékét, amelyet összehasonlítva a feltételezett kiindulási „k” értékkel, a számolást addig kell folytatni, amíg a két érték közötti különbség bizonyos határon belül nem lesz. Általában a legkedvezőbb kis ellenállású hőcserélő az egyjártú.

Egyjártú a hőcserélő, ha a csövekben áramló közeg az egyik fejen lép be és a másikon távozik. Ugyanúgy a köpenytérben a köpeny egyik végén elhelyezett csonkon lép be a megfelelő közeg és a másik végén levő csonkon lép ki. Mivel azonban a csövek gyártástechnológiai okból korlátozott hosszúságúak, nagyobb hőcserélő-felület létrehozására kénytelenek a csökötegeket több párhuzamos csoportra - járatra - osztani. Csököteges hőcserélő két-, négy-, hat-, nyolc-, valamint többjártúra is építhető. A járatok számát lehetőleg ne növeljük, mert az egyik járatból a másikba való átfordulás a fordulókamrákban a nyomásvesztéséget jelentősen növeli.

Áramlás diffúzorban



3. ábra: Áramlás és nyomásmegoszlás diffúzorban

Vizsgáljuk meg az áramlást egy diffúzorban, amely egy, az áramlás irányában növekvő keresztmetszetű csőidom (3. ábra). Súrlódásmentes esetben a diagramon látható folytonos vo-

nalnak megfelelő lenne a közeg lassulásával összefüggő nyomásnövekedés. Ez az “ideális” nyomáskülönbség a Bernoulli-egyenlet alkalmazásával:

$$(p_2 - p_1)_{id} = \frac{\rho}{2} (v_1^2 - v_2^2) \quad (1)$$

Valóságban a diffúzor fala közelében a nyomásnövekedéssel szemben áramló folyadékrészek a sűrűlódás következtében még rohamosabban lassulnak, mint a faltól távoliak, a határréteg gyorsan vastagodik, esetleg leválás következik be. Emiatt a kiömlő keresztmetszetben nem egyenletes a sebességmegoszlás (amit a Bernoulli-egyenlet felírásánál feltételeztünk), a fal közelében vagy visszaáramlás, vagy jobb esetben is kiterjedt, kisebb sebességgel jellemezhető zóna van.

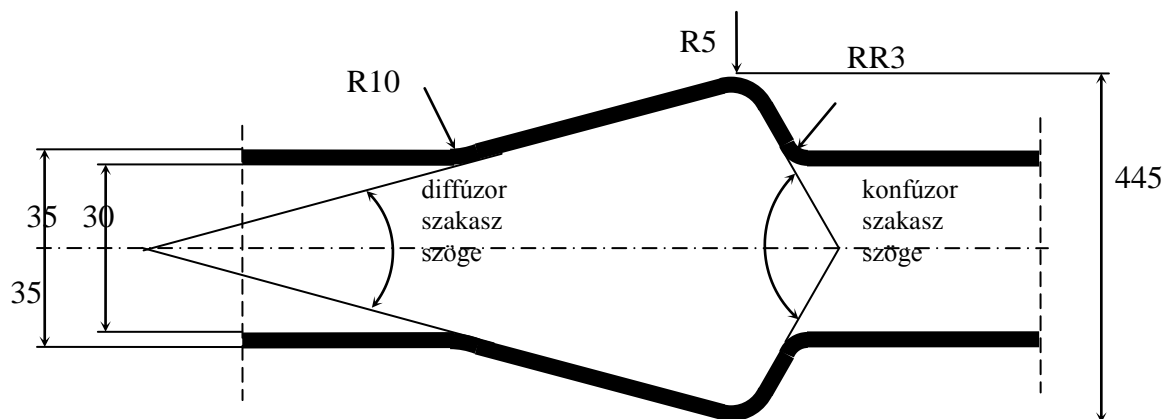
Ennek következtében a diffúzor középső részén a keresztmetszet-viszonyból a kontinuitás segítségével számolható v_2 átlagsebességnél nagyobb a nyomás szempontjából mértékadó sebesség, azaz a $(p_2 - p_1)_{való}$ valóságos nyomásnövekedés nem éri el a sűrűlódásmentes áramlás esetén számítottat. A diffúzor működését az η_{diff} diffúzor hatásfokkal szoktuk jellemezni, amely a valóságos és a sűrűlódásmentes közeghez tartozó (ideális) nyomásnövekedés hányadosa:

$$\eta_{diff} = \frac{(p_2 - p_1)_{való}}{(p_2 - p_1)_{id}} \quad (2)$$

A leválást a nyomásnövekedés rohamosságának csökkentésével (pl a diffúzor kúpszög csökkentésével, a csőív sugarának, vagy egy áramlásba helyezett test homlokfal körüli éleinek lekerekítésével) lehet megszüntetni. Másik módszer a határréteg turbulenssége tétele. A turbulens impulzuscseréje ugyanis energiát közvetít a faltól távolabbi, nagyobb sebességű rétegekből a fal közelében áramló rétegekbe.

A hőátadás javítására tervezett diffúzor-konfúzor csőszakasz

Az előző pontban tárgyaltak figyelembe vételével az 4. ábra szerinti geometriát terveztük a csövekben áramló közeg turbulenciájának kialakítására és egyúttal a hőátadó felület növelésére.



4. ábra: A „Golyva” geometriája

A csöveken kialakítandó alakokat a szakirodalomban elterjedt terminológiával „golyvának” nevezzük.

GOLYVÁS HŐCSERÉLŐ CSÖVEK KÉSZÍTÉSE ROBBANTÁSOS CSŐALAKÍTÁSSAL

A hőcserélő csöveket 4301 varratnélküli, hidegen hengerelt korrozioálló acélcsőből készítettük. A megkívánt geometria kialakításához min. 21-23 kJ energiát kell felszabadítani a cső belsejében. A számított energiaértéket elektromágneses alakítással nem tudjuk elérni, ezért az acél anyagú golyvás cső készítéséhez a robbantásos csőalakítási technológiát alkalmaztuk. A megadott golyva elkészítéséhez a kiindulási külső csőátmérő 30%-os alakváltozását kell elérni, nagyobbat, mint amennyit az adott anyagú csőnek szabvány szerint el kell viselnie. A szabvány szerint ennek a csőnek a külső átmérő 12%-os feltágítását kell elviselnie. Eddigi munkánk során azt tapasztaltuk, hogy a nagysebességű nyomáshullámokkal végzett műveleteknél az anyagok alakíthatósága jobb, mint a hagyományos alakításoknál, melyek deformációsebessége a 10-2 - 102 1/s tartományba esik.

Ezen tapasztalatainkat a szakirodalom adatai is alátámasztják. Budzinsky [4] acélcsövek tágítására végzett méréseinél, a detonációsebesség hatását vizsgálta a csőtágítási együtthatóra vonatkozóan. Tágítási együttható:

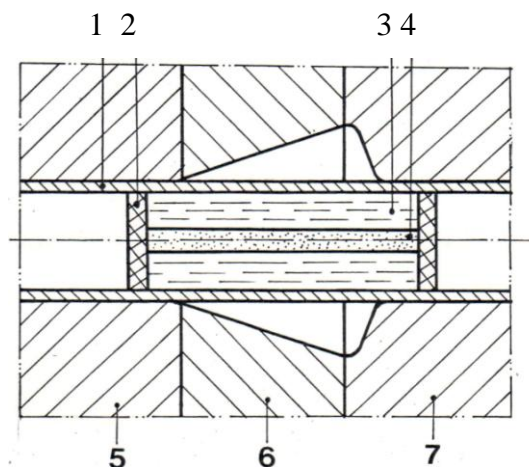
$$k = \frac{d_k}{d_o} \quad (3)$$

ahol d_k = a tágítás utáni külső csőátmérő, d_o = a tágítás előtti külső csőátmérő

Anyag	Sajtoltt Hexogen	Plasztik	Porított Hexogen	Niropenta robb.zsinór
detonációsebesség m/s	8000	7700	7500	6000
k tágítási együttható	1,2	1,22	1,23	1,27

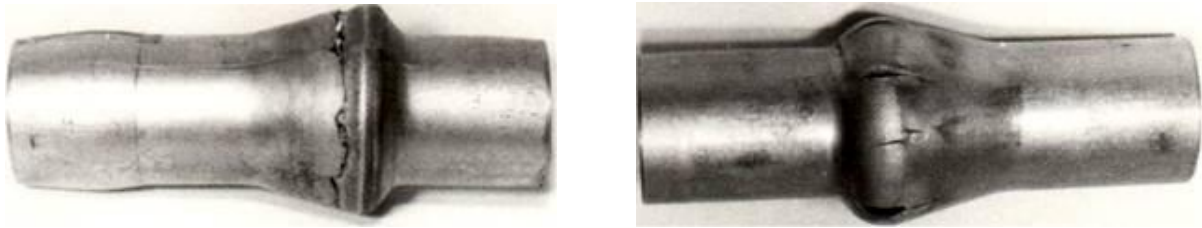
1. táblázat: Robbanóanyagok detonációsebességének hatása a csőtágításra

Fentieket figyelembe véve kísérlet sorozatot végeztünk a golyvák egy művelettel történő kialakítására. A kísérleteket az 5. ábra szerinti elrendezésben végeztük. A csövek belsejében felszabadított energia nagysága: 25 kJ.



5. ábra 1 – alakítandó acélcső, 2 – robbanóanyag tájoló elem, 3 – nyomásközvetítő anyag (víz), 4 – robbanóanyag, 5, 6, 7 - szerszámbetétek

Az egy golyva kialakítására irányuló kísérletsorozat azt bizonyította, hogy hidegalakításnál a ~ 30 % alakváltozást az alkalmazott acélsanyag még nagysebességű alakításnál sem viseli el roncsolódás nélkül (6. ábra).



6. ábra

Ezért a következő kísérletsorozatot kisebb energiataralmú töltetekkel végeztük (20 g/m –es robbanózsín). Ily módon egy lépésben - a kiindulási csőátmérőhöz viszonyítva – 15-17 %-os alakítást végeztünk. Az első tágító művelet után a munkadarabot lágyítottuk, és az ezt követő tágítással alakítottuk ki a végleges méreteket (7. ábra).



7. ábra

A kísérletsorozat tapasztalatai alapján megterveztük és legyártottuk azt a szerszámot, mellyel a megadott geometriának megfelelő, 4 db golyvát tartalmazó csőszakasz elkészíthető (8. ábra).



8. ábra A csőalakító szerszám betétgarnitúrája

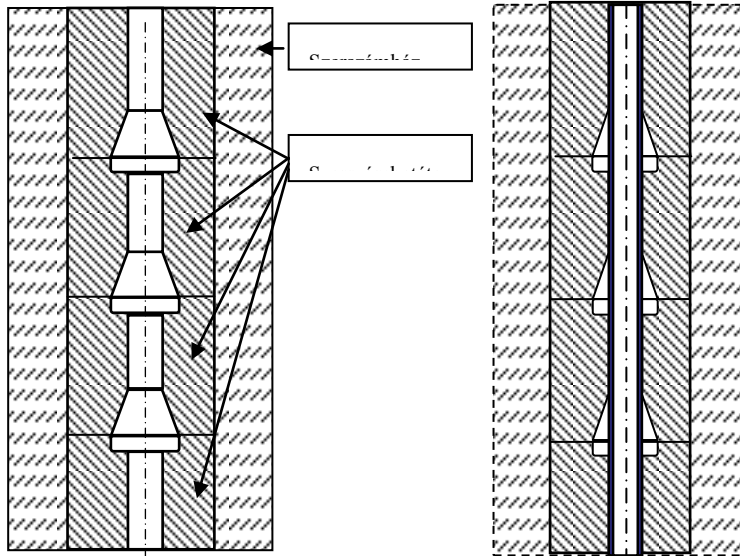
GOLYVÁS HŐCSERÉLŐ CSÖVEK GYÁRTÁSA

Az alakítandó hőcsereelő cső mintadarabok adatai:

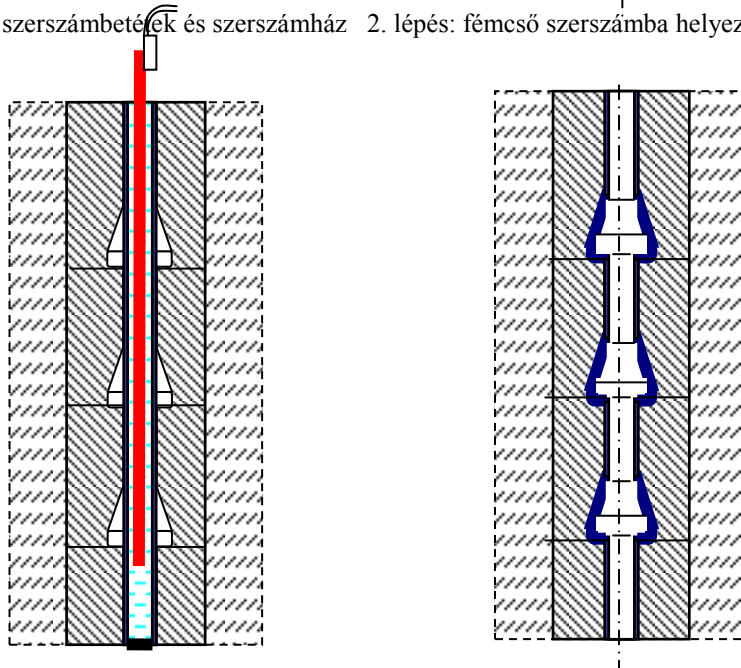
- Anyagminőség: 4301 varratmentes ötvözött acélső, alakítás előtt lágyítva.

- A lágító hőkezelés paramétereit:
 - Hevítés 1060 °C-ra, hőtartás 30 perc
 - Hűtés vízben
 - Lágítás előtt a csövön mért keménység 185HV30
 - Lágítás után a csövön mért keménység 160 HV30
- Geometria: Ø35/ Ø30 x 480 mm

A golyvás hőcserélő csőszakaszok gyártásának lépéseit a 9. ábrán mutatjuk be.



1. lépés: szerszámbetétek és szerszámház 2. lépés: fémcső szerszamba helyezése



3. lépés: robbanószinór elhelyezése a fémcsőben 4. lépés: golyvák kialakítása a fémcsövön

9. ábra A golyvás hőcserélő cső gyártásának lépései

A négy golyva alakítására tervezett és gyártott szerszámbetét garnitúrát a beljük elhelyezett acélcsővel együtt egy szerszámházban rögzítettük (10. ábra), majd a robbanószinórt elhelyeztük a cső belsejében (11. ábra)



10. ábra



11. ábra



12. ábra: A cső a második tágitó robbantás után

A GOLYVÁS HŐCSERÉLŐ CSÖVEK HŐTECHNIKAI MÉRÉSE

A hőcserélő csövek méréseit az erre a célra épített mérőberendezéssel végeztük. A vizsgálat-hoz egy golyvás- és egy sima referencia csőből építettük meg a mérőberendezést.

A forró levegőt két elektromos fűvóval állítottuk elő, melyek a bevezető áramlást stabilizáló csőszakaszhoz csatlakoznak. A bevezető sima csövekben hidraulikailag és termikusan is kialakul a levegő áramlás jellege. A mérőszakaszba belépő forró levegő hőmérsékletét Ni-NiCr köpeny hőelemekkel mérjük. A golyvás cső és a sima referencia cső mérőszakasza azonos hosszúságú. A mérő- és referenciszakasz kilépő vége előtt a csőfalba beépített köpenyhőelemekkel mérjük a felületi hőmérsékleteket. A vizsgált szakaszban áramló forrólevegő hőmérsékletét csupaszított (vékony) hőelemmel mérjük. A termoelemek referencia hőmérsékletét a csatlakozó sorkapocsnál KTY83 érzékelővel mérjük.

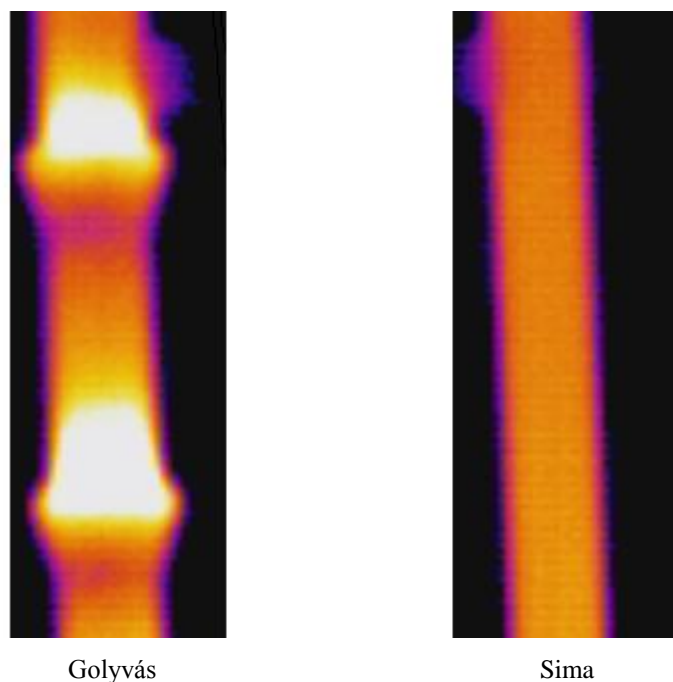
A termoelem érzékelők feszültségét egy KD9 16bit felbontású A/D átalakítóval RS485 konverzió után PC-n futó VISION adatgyűjtő program segítségével regisztráljuk. A hat hőmérsékletet időszériáként EXCEL fájlban dolgozzuk fel. A hőkamera által készített képsorozatot (filmet) a PC-n futó VELOCITY program segítségével rögzítettük.

Az egyes mérések előtt a mérőberendezést a laboratórium ajtaja elé helyeztük a lehűtés érdekében. A mérést a helyiségnél hidegebb mérőberendezésen kezdtük.

A hőkamerás megfigyeléseket hőmérsékletre nem értékeltük, tekintettel a beépített termoelemekre, melyekkel gyorsabban jutottunk számszerű eredményre.

A mérőberendezés bekapcsolását követően a környezetnél kicsit hidegebb csövek melegeését 1 kép/s sebességgel rögzítettük a hőkamerához kapcsolt PC-n.

A 13. ábra képe illusztrálja a hideg csövek felmelegedését a belső áramlás hőátadása következtében. A két különböző megjelenítésen azonos jelleg figyelhető meg: A golyva diffúzor szakaszán lecsökken, majd a konfúzorba lépéskor erőteljesen megnő a cső felületi hőmérséklete, ami a hőátadási tényezővel arányos. A konfúzor után kb. egy átmérővel a hőátadási tényező a sima csőéhez kezd hasonlóná válni. Két átmérőnyi hossz után a hőátadási tényező már a sima csőhöz képest kisebb felmelegedést okoz a golyvás cső falában.



13.ábra: Bekapcsolás után 49 s időpont

A 13. ábra képe alapján megállapíthatjuk, hogy a golyva konfúzor szakaszát követő kb. egy átmérőnyi hosszban a hőátadási tényező nagyobb, mint a sima cső esetén. A golyva előtti szakaszon pedig a hőátadási tényező kisebb, mint a sima cső esetén.

A cső egészére vonatkozóan ebből az információból annyi következtetést vonhatunk le, hogy globális vizsgálat szükséges a hőátadás növelés hatékonyság megítélésére.

Ez a megfigyelés a szakirodalomban megtalálható megoldásokban fellelhető eredményt mutat: A golyváknak egymás után kell ismétlődni a hőátadás növekmény eléréséhez.

A GOLYVÁS CSŐ TOVÁBBFEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGE

A kísérleti vizsgálatok alapján megállapítottuk, hogy a golyvák után kb. egy átmérőnyi hosszban jelentős hőátadási tényező növekedés jön létre. Ezen csőszakaszt követően a hőátadási tényező csökken, és az a golyva előtt a sima csőhöz képest is kisebb értéket mutat.

Az átlagos hőátadási tényező az átadott geometriájú golyvás csőre nem ad lényegesen különböző értéket a sima csőhöz képest.

A golyvák sűrítése és alakjának optimalizálása valószínűleg jelentős növekedést eredményez a konvektív hőátadási tényezőben. A robbantásos technológia lehetőséget ad az alak optimalizálására (14. ábra). Mindenképpen fontos lenne két sűrített golyvájú cső változattal megismételni a hőkamerás vizsgálatokat, hogy a legkedvezőbb konstrukció kialakítható legyen.

A hőcserélőkhöz kidolgozott növelt hőátadású csövekkel el lehet érni 10-15% csőhossz megtakarítást, ami anyagárban és beépítési költségben is előnyként jelentkezhet.

A golyvás csőből tervezendő hőcserélő méretezéséhez nélkülözhetetlen vizsgálatok elvégzéséhez meg kell építeni a korrekt vizsgáló berendezést. A Reynolds és Prandtl szám függvényében meghatározott hőátvivő képesség alapján lehet csak korrekt méretezési segédletet készíteni.



14. ábra Robbantással készített hőcserélő cső változatok

IRODALOM

1. Fémöntészeti berendezések energetikai értékelésének tapasztalatai, Műszaki–Gazdasági Kiadványok Osztálya: mgksz@info.omikk.bme.hu
2. Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium, ÚTMUTATÓ AZ ELÉRHETŐ LEGJOBB TECHNIKA MEGHATÁROZÁSÁHOZ AZ ENERGIAHATÉKONYSÁG TERÉN Budapest 2009. november
3. Prof. Müller-Steinhagen, D. Eng., Dr.-Ing. (habil), FREng, FIChemE, Institute for Technical Thermodynamics, German Aerospace Center (DLR), Stuttgart]
4. High temperature heat exchangers for power plants: Performance of advanced metallic recuperators D. Aquaro a,*, M. Pieve, Applied Thermal Engineering 27 (2007) 389–400]
5. Increasing Heat Exchanger Performance KEVIN M. LUNSFORD, Bryan Research & Engineering, Inc., Bryan, Texas]
6. CMS Heat Transfer Division, Inc. 273 Knickerbocker Avenue • Bohemia, NY 11716 USA Tel: 631-968-0084 • Fax: 631-968-0184 • Email: info@cmsheattransfer.com hőcserélők hatásfokának javítása: jóminőségű cső-csőfal kötések készítése (hegesztés)
7. Brown Fintube 12602 FM 529 Houston, TX 77041. Tel:713-466-3535. Fax 713-466-3701

8. BME OMIKK ENERGIAELLÁTÁS, ENERGIATAKARÉKOSSÁG VILÁGSZERTE
44. k. 2. sz. 2005. p. 58–64.
9. K.M. Lunsford, Increasing Heat Exchanger Performance, Hydrcarbon Engineering, March
1998

TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások „A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.”

„The project was realised through the assistance of the European Union, with the co-financing of the European Social Fund.”