Archive of SID

بررسی لوله های مبدل‌های حرارتی پوسته و لوله و بهینه سازی آنها

احمد حاجت زاده پردنجانی۱,صادق ایزدخو۲, علی مرادی زانیانی۳

دانشجوی مقطع کارشناسی مکانیک درحرارت وسیالات دانشگاه آزاداسلامی, واحدنجف آباد,گروه مهندسی مکانیک,اصفهان,ایران

Ahmad.haj.p@Gmail.com

www.Mobadel.ir

چکیده

با اینکه مبدل های پوسته و لوله معمولی سابقه طولانی و موفقی در صنعت داشته انـد کـه بیشـتر مبـدل هـای جدیـد پالایشگاه ، پتروشیمی ها ونیروگاهها را تشکیل می دهند، ولـی ایـن تجهیـزات دارای مشـکلات و محـدودیت هـای عملیـاتی هستند. پایین بودن میزان ضریب انتقال حرارت در سمت پوسته این مبدل ها به نحوی است که احتمال بوجود آمدن نـواحی مرده و در نتیجه رسوب در آنها زیاد است. همچنین میزان افت فشار به ازای ضریب انتقال حـرارت و ایجـاد لـرزش در دسـته لوله ها بالا است. در این پژوهش لوله های مارپیچ، پیچشی و ساده مورد بررسی قرار گرفته اند. در لوله های مارپیچ و پیچشـی بیشتر مشکلات مربوط به انواع ساده مبدل های پوسته و لوله بر طرف شده است لوله های ساده در مبدل های حرارتی باعـث ایجاد ارتعاشات وکاهش انتقال حرارت ، افزایش رسوب گیری وخوردگی نسبت به حالت های مارپیچ وپیچشی می باشدولی با طراحی لوله های مارپیچ وپیچشی بیشتر مشکلات از این نوع لوله ها حذف شده و سپس از استخراج قوانین حـاکم بـر انتقـال حرارت از مراجع معتبر مزیت به کارگیری لوله های پیچشی به خوبی روشن گردیده است که نتایجبدست آمـده بـا نـرم افـزار fluent 6.3.27 با مطالعات پیشین مقایسه وبهترین وبهینه ترین حالت لوله پیشنهاد شده است.

واژه های کلیدی : مبدل حرارتی ، لوله پیچیده، نرم افزار fluent.

۱-دانشجوی کارشناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد
۲-دانشجوی کارشناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد
۳-دانشجوی کارشناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه:

مبدل های پوسته لوله ای تقریباً ۸۵ درصد مبدل های جدید پالایشگاه، پتروشیمی و نیروگاه را تشکیل می دهند. این مبدل ها قابلیت کاربرد در محدوده های وسیع از فشار و دمارا دارند. این محدوده ها را می توان توسط طراحی ها، باز هم گسترده تر نمود. انواع دیگر مبدل های حرارتی مانند مبدل های قاب و صفحه ای با وجود مزایای انکار ناپذیر، تنها در فشارهای کمتر از bar ۱۶ و دمای زیر ۲۰۰ درجه سانتی گراد کار می کنند، لذا این امر توجه زیادی را در مورد یافتن راهکارهای پیشرفته جهت مقابله با کمبود های موجود در طراحی به خود جلب کرده است[۱] .

در مبدل پوسته لوله ای از نوع استاندارد TEMA در سمت پوسته، بافل وجود دارد که علاوه بر نگه داشتن دسته لوله ها در جای خود باعث ایجاد جریان متقاطع می شود. این حرکت زیکزاکی باعث هدر رفتن انرژی برای تغیر جهت جریان به جای افزایش انتقال حرارت در سمت پوسته می گردد. این امر همچنین باعث نشتی سیال از روزنه های لوله، بافل و پوسته، و در نتیجه کم شدن جریان متقاطع می شود. وجود بافل ها همچنین باعث ایجاد نواحی مرده و در نتیجه کاهش انتقال حرارت و افزایش رسوب گیری و خردگی می گردد [۲] . میانگین اختلاف دما (MTD) یا بازده گرمایی در مبدل پوسته لوله با فرض اختلاط کامل شعاعی و نبودن اختلاط محوری قابل مقایسه است. در عمل، اختلاط محوری زیادی در مبدل های دارای بافل وجود دارد و جریان های نشتی و جریان کنار گذر دسته لوله که فقط به صورت جزئی در انتقال حرارت شرکت دارند این اثر را تشدید می کند.

در مبدل های حرارتی با لوله ای پیچشی و مارپیچ، بیشتر مشکلات مربوط به انواع معمول مبدل های پوسته و لوله ای بر طرف شده است [۳] . مبدل لوله پیچشی از سال ۱۹۸۴ توسط شرکت Alards در سوئد به کار گرفته شده است. مبدل لوله مارپیچ نیز اولین بار توسط Deam روی سیستم چنبره ای مورد مطالعه قرار گرفته است. حال در این پژوهش با استفاده از نرم افزار fluent 6.3.27مقدار ضریب انتقال حرارت عدد Nu و عددdean مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- معرفی مبدل ها :

۲-۱ لوله مارپیچ:

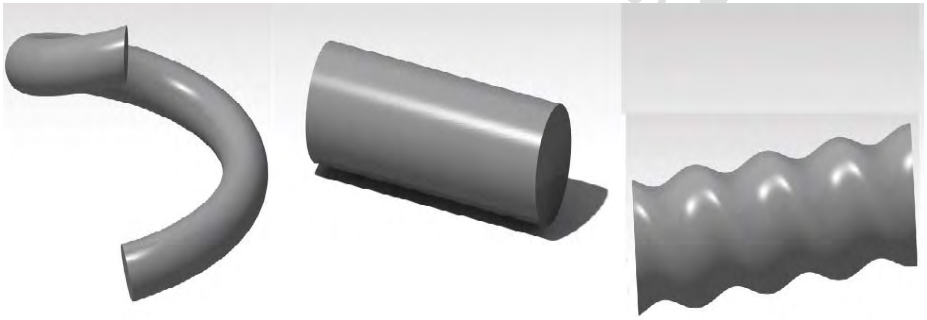
لوله های مارپیچ به خاطر وجود جریان سیال در کنار کانال با سطح مقطع بیضوی کارایی زیادی در افزایش انتقال حرارت نشان می دهد.در حالی که انحنای یکسان در ساختار مارپیچی نصب لوله ها در تبادل حرارت بسیار مهم می باشد [۴] . همچنین دسته لوله مارپیچ بطور گسترده ای در افزایش میزان سطح انتقال حرارت و کاهش ارتعاش توسط جریان مورد استفاده قرار می گیرد [۵] . در این لوله انحنای لوله ثابت تولید نیروهای گریز از مرکز برای وارد شدن به سیال در حال جریان می شود که در نتیجه با ایجاد یک مسیر جریان ثانویه عمود بر جریان محوری ایجاد می شود. این مسیر جریان ثانویه معمولا دارای دو حلقه است که سیال را از دیواره داخلی لوله به مرکز لوله می برد و به محض رسیدن به مرکز باعث ایجاد اختلاط شده است و دوباره به سمت پوسته بر میگردد [۱۵] . چون جریان ثانویه سیال را در مسیر گرادیان دمایی حرکت می دهد با میزان انتقال حرارت را افزایش می دهد. بنابراین این مکانیزم انتقال حرارت عمود بر جریان محورد در لوله های مارپیچ وجود دارد، که در لوله های مستقیم وجود ندارد، مگر اینکه توسط نیروهای رانشی تولید شود.

www.SID.ir

Archive of SID

۲-۲- لوله های پیچشی :

لوله ها با مقطع بیضی ساخته شده و تاب داده شده این عملیات، در یک فرآیند خاص و به صورت تک مرحله ای انجام می شود، که در نتیجه قطر لوله در تمام نقاط ثابت می ماند [۹] . به علت پیچش لوله ها در دسته لوله ها، نقاط تماس زیادی بین لوله ها ایجاد می شود و این چیدمان تقریبا بدون لرزش است [۸]. جریان در پوسته مسیر پیچیده ای را طی می کند که عموما محوری است. سطح جریان سمت پوسته، تقریبا برابر سطح جریان سمت لوله است. با این طراحی جریان در سمت لوله هم، مارپیچی می شود. پس با این اوصاف جریان در درون لوله ها همانند لوله های مارپیچ می باشد [۱۰،۱۱]. جریان در سمت پوسته نیز به صورت مارپیچ می باشد چون سطح خروجی لوله ها به صورت مارپیچ می باشد، جهت جریان نیز درون پوسته به صورت مارپیچ می شود. این نوع جریان که در داخل لوله های مارپیچی نیز بیان شد باعث پایدار شدن رژیم جریان خطی در رینولدز های پایین و تبدیل رژیم جریان گذرا و آشفته است [۱۴،۱۲]. بنابراین در لوله های پیچشی جریان هم درون پوسته و هم درون لوله به صورت مارپیچ می باشد، که این ویژگی باعث افزایش میزان انتقال حرارت نسبت به لوله های ساده و مارپیچ می شود [۶] .



(۱- الف) (۱- ب) (۱- ج)

شکل(۱- الف) شکل(۱- ب) شکل(۱- ج)

۳- هدف :

هدف از این پژوهش تعیین ویژگی های انتقال حرارت در لوله های مارپیچ، ساده و پیچشی می باشد که روابط بین عدد Nu و عدد Deam توسط Hoetul برای تبادل حرارت پیچشی، مارپیچی و ساده بسط داده شده اند [۷] . ما به کمک نرم افزار gambitوfluent نیز این روابط را اثبات نموده . بهترین حالت انتقال حرارت را بین این ۳لوله بدست آوردیم.

www.SID.ir

Archive of SID

۴-محاسبات:

برای بدست آوردن ضریب انتقال حرارت با استفاده از فرمول های زیر بدست می آیند:

$$Q = hA\Delta T \rightarrow h = \frac{Q}{A\Delta T}$$

برای لوله پیچشی [۱۶،۱۸،۱۷]

$$Nu_i = 0.023Re^{0.8}Pr^{0.3}$$

برای بدست آوردن عدد Nu در لوله پیچشی آقای Ms.vanditaو همکاران فرمول زیر را پیشنهاد داده اند:

$$Nu_o = 0.26Re^{0.6}Pr^{0.37}(\frac{Pr_a}{Pr_w})^{0.25}$$

برای عدد Nu و عددDeam در لوله های مارپیچ و پیچشی آقای Bibin و همکاران فرمول زیر را پیشنهاد داده اند:

$$Nu = \frac{hD_h}{k} = 0.0271De^{0.9949}$$

۵- روش حل:

هندسه اشکال به کمک نرم افزار gambit، شبکه بندی شد و سپس برای آنالیز های mesh آن را به fluent ارسال می شوند.

روش حل جریان آشفته طبق استاندارد k-δکه توسطwangوchen پیشنهاد شده است به عنوان مدل گرانرو استفاده می شود. در شبیه سازی جریان، معادلات فشار توسط الگوریتم simple حل شدند که این الگوریتم یکی از سه کاربردی ترین الگوریتم های سرعت - فشار در fluent است [۱۳] .

فرضیات برایساده سازی مسئله :

۱- اثرات تابشی و جابه جایی طبیعی، ناچیز فرض می شود.

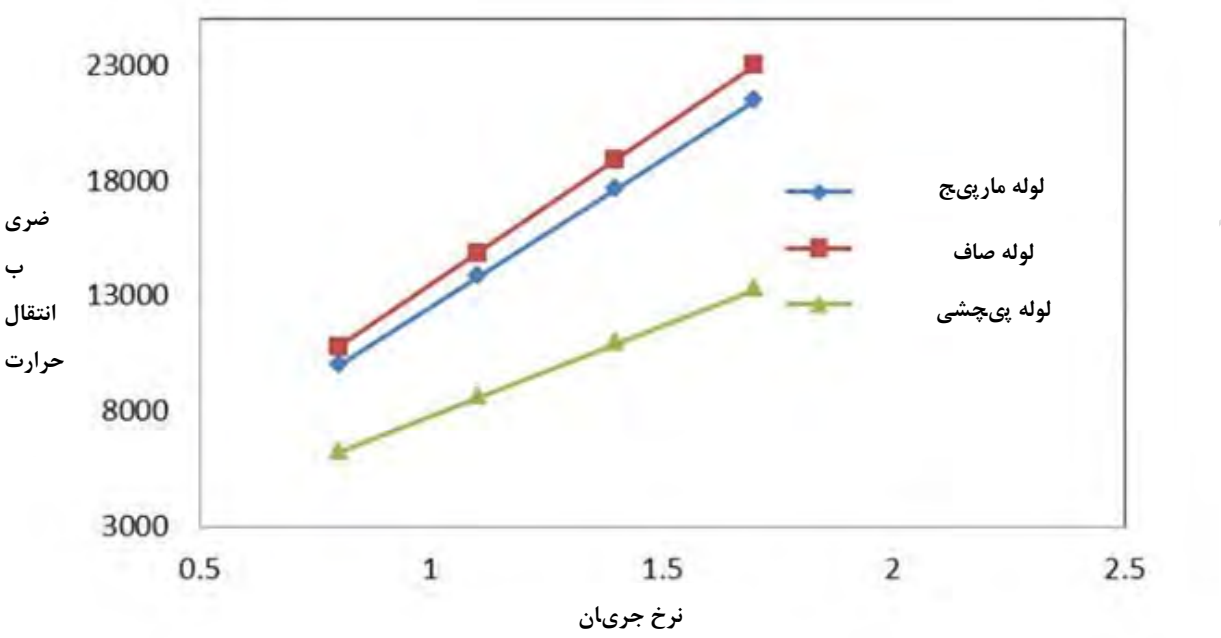
۲- سیال تراکم ناپذیر در نظر گرفته می شود.

۳- فرض می شود که جریان پایدار و آشفته است.

شدت جریان ورودی و خروجی به عنوان شرایط مرزی ورودی و خروجی و ثابت بودن دمای دیواره (سمت پوسته) و ثابت بودن دمای دیواره لوله به عنوان شرایط مرزی دیواره در نظر گرفته می شود.

www.SID.ir

Archive of SID

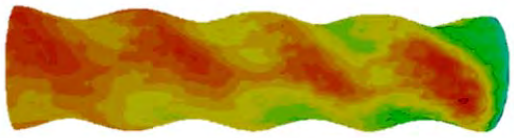


نمودار ۱- مقایسه ضریب انتقال حرارت بر حسب نرخ جریان

شکل ۲- شماتیک انتقال حرارت در لوله مارپیچ

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۳- شماتیک انتقال حرارت در لوله پیچشی

شکل ۴- شماتیک انتقال حرارت در لوله صاف

نتیجه گیری:

۱- مقایسه ویژگی های انتقال حرارت در تبادلگرهای حرارتی لوله مارپیچی و لوله مستقیم، با استفاده از روش محاسبه ای انجام شده است. نتایج نشان می دهد که ویژگی های انتقال حرارت در تبادلگر های حرارتی لوله مارپیچی خیلی بهتر از تبادلگر های لوله مستقیم ، با افزایش چشمگیر ضریب انتقال حرارت می باشد.در یک شدت جریان مشخص، تبادلگر حرارتی لوله مارپیچی، ۱۰٪ بیشتر ضریب انتقال حرارت را افزایش می دهد. از شبیه سازی انجام شده، همچنین می توان فهمید که ضریب انتقال حرارت با شدت جریان توده افزایش می یابد و نتایج با پیش بینی روابط بین عدد Nusselt و Deam ، تفسیر می شود که به ترتیب de=۰/۹۹۴۹ و Nu=۰/۰۲۷۱ برای لوله مارپیچ داخلی و de= ۱/۰۰۹۲ و Nu=۰/۱۴۰۷ برای لوله مارپیچی خارجی می باشند.

www.SID.ir

Archive of SID

۲- در لوله های پیچشی انتقال حرارت بیشتر از لوله های مارپیچ و ساده است به دلیل اینکه در لوله های پیچشی هم سمت لوله و هم سمت پوسته جریان به صورت پیچشی و آشفته است و این عمل انتقال حرارت را زیادتر می کند، که این عمل در لوله های مارپیچی فقط در سمت لوله این اتفاق می افتد.

۳- طبق نمودار و نتایج محاسبات به این نتیجه می رسیم که استفاده از لوله های پیچشی به دلیل انتقال حرارت بیشتر، به صرفه تر از لوله های مارپیچ و صاف است.

منابع:

[1] Z.Y. Guo a, W.Q. Tao b, R.K. Shah," The field synergy (coordination) principle and its applications in enhancing single phase convective heat transfer", 26 January 2005, International Journal of Heat and Mass Trans-fer 48 (2005) 1797–1807

[2] Xiang-hui Tan, Dong-sheng Zhu, Guo-yan Zhou, Li-ding Zeng, "Heat transfer and pressure drop performance of twisted oval tube heat ex-changer", 29 June 2012, Applied Thermal Engineering 50 (2013) 374e383

[3] Xiang-hui Tan, Dong-sheng Zhu, Guo-yan Zhou, Li-ding Zeng," Ex-perimental and numerical study of convective heat transfer and fluid flow in twisted oval tubes", 14 May 2012, International Journal of Heat and Mass Transfer 55 (2012) 4701–4710

[4] Sheng Yang, Li Zhang, Hong Xu," Experimental study on convective heat transfer and flow resistance characteristics of water flow in twisted elliptical tubes", 30 May 2011 ,Applied Thermal Engineering 31 (2011) 2981e2991

[5] ÖzdenAğra, HakanDemir , Ş. ÖzgürAtayılmaz, FatihKantaş, AhmetSelimDalkılıç," Numerical investigation of heat transfer and pressure drop in enhanced tubes", 9 August 2011, International Communications in Heat and Mass Transfer 38 (2011) 1384–1391

[6] Gh.S. Jahanmir, F. Farhadi,"Twisted bundle heat exchangers perfor-mance evaluation by CFD (CJ12/5054)", 14 September 2012, International Communications in Heat and Mass Transfer 39 (2012) 1654–1660

[7] Luai M. Al-Hadhrami, Aftab Ahmad & Abdullah Al-Qahtani," Exper-imental Study of Fouling Resistance in Twisted Tube Heat Exchanger", 11 Apr 2012, *Heat Transfer Engineering*, 33(12):1024–1032, 2012

[8] Li Zhang, Sheng Yang, Hong Xu," Experimental study on condensa-tion heat transfer characteristics of steam on horizontal twisted elliptical tubes", 23 December 2011, Applied Energy 97 (2012) 881–887

[9] Smith Eiamsa-ard a, PongjetPromvonge," Performance assessment in a heat exchanger tube with alternate clockwise and counter-clockwise twisted-tape inserts", 8 January 2010, International Journal of Heat and Mass Transfer 53 (2010) 1364–1372

[10] BlazoLjubicic", testing of twisted Tube Exchangers in Transition Flow Regime", Brown fin tube company ,12602 FM 529,Houston,TX 77041

[11] R. Donald Morgan," TWISTED TUBE HEAT EXCHANGER TECH-NOLOGY", Brown Fintube Company.

[12]Dr. D.S. Kumar, "Heat and Mass Transfer", Katson books, 7thEdition: 2007-2008.

[13] T.S. Wang and Y.S. Chen, 1993, "Unified Navier–Stokes flow field and performance analysis of liquid rocket engines," AIAA Journal, vol. 9, pp. 678–685.

[14] C. X. Lin and M. A. Ebadian, 1997, "Developing turbulent convective heat transfer in helical pipes," International Journal of Heat and Mass Transfer, vol.40, 3861-3873.

[15] Timothy J. Rennie and Vijaya G.S. Raghavan, 2005, "Experimental studies of a double-pipe helical heat exchanger," Experimental Thermal and Fluid Science, vol. 29, pp. 919–924.

[16] Timothy J. Rennie and Vijaya G.S. Raghavan, 2006, "Numerical studies of a double-pipe helical heat exchanger," Applied Thermal Engineering, vol. 26, 1266–1273.

[17] I. Conte and X.F. Peng, 2008, "Numerical investigations of laminar flow in coiled pipes," Applied Thermal Engineering, vol.28, 423–432.

[18] Yan Ke, Ge Pei-qi, Su Yan-caiandMengHai-tao, 2011, "Numerical simulation on heat transfer characteristic of conical spiral tube bundle," Applied Thermal Engineering, vol. 31, 284-292.

www.SID.ir