بسم الله الرحمن الرحيم

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تهیه مدارک

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مهندسی مکانیک

" بررسی انتقال حرارت جابجائی آزاد از یک سیم افقی "

پایان نامه کارشناسی ارشد
گرایش : حرارت و سیالات

توسط : مهرداد اعتماد
زیرنظر : دکتر مجید ملکی

تیر ۱۳۶۸

۱۶۷۵۷

" بسم الله الرحمن الرحیم "

پایان نامهٔ آقای مهرداد اعتماد در جلسهٔ مورخ ۱۳۶۸/۴/۷ کمیتهٔ پایان نامه متشکل از اساتید ذیل مورد بررسی و تائید قرار گرفت .

۱ ـ آقای دکتر مجید ملکی ، استاد راهنمای رساله

۲ ـ آقای دکتر احمد صابونچی ، استاد کمیتهٔ تخصصی

۳ ـ آقای دکتر محمدسعیدسعیدی ، مسئول کمیتهٔ کارشناسی ارشد دانشکده

" قـــدردانـــــی "

از استاد گرامی آقای دکتر مجید ملکی سرپرست پروژه کـــــــه بـــا راهنمائی های سازنده خود مرا در انجام پروژه از آغاز تا پایان یاری کرده‌اند، صمیمانه تشکر می کنم.

از استاد گرامی آقای دکتر احمد صابونچی بخاطر قبول زحمت مطالعه ایـن پایان نامه و ارائه نقطه نظرات سازنده، صمیمانه تشکر می کنم.

از سازمان انرژی اتمی اصفهان و بخش ترموهیدرولیک آن به ویژه از آقـای مهندس بهروز سامانی سرپرست محترم این بخش بخاطر استفاده از دستگاه دیتالوگـر و دیگر تجهیزات سازمان صمیمانه تشکر می کنم. همچنین از آقای مهندس مهـــــدی سیگاری که مرا در انجام پروژه یاری کردند صمیمانه تشکر می نمایم. و نیـــــز از آقای اکبر صمدی بخاطر تهیه وسائل و تجهیزات آزمایشی صمیمانه تشکر می کنم. از دوست و هم دوره‌ای عزیزم آقای مهندس سیدرضی رضوی بخاطر راهنمائی در تهیـــه برنامه‌های کامپیوتری صمیمانه تشکر می نمایم.

از آقای قاسم سلیمی مسئول محترم آزمایشگاه سیالات که مرا در ساخـــت محفظه آزمایش و تهیه وسائل و لوازم آزمایشی یاری کردند و همچنین از آقـــای محمد معصوم زاده به خاطر استفاده از اهم متر دیجیتالی صمیمانه تشکر می نمایم.

" خلاصـــــــــه "

پدیدهٔ انتقال حرارت جابجائی آزاد در حالت دائم از یک سیم افقی نازک آهنی در هوا، آب و روغن و در دماهای مختلف بطور تجربی بررسی شد. سیم آزمایش با اعمال جریان مستقیم (D. C.) گرم شده و با سیال اطراف خود در یک محفظه بزرگ تبادل حرارت می کرد.

دمای سطح سیم آزمایش با محاسبه مقاومت آنکه خود بطور غیرمستقیم و با اندازه‌گیری ولتاژ و آمپراژ آن به دست می آمد، پیدا شد. برای ثبت اطلاعات و نتایج تا حد امکان از وسائل و تجهیزات دقیق و حساس استفاده شد.

کلا" نزدیک به ۳۰۰ نقطه آزمایشی به دست آمد که همهٔ آنها در محدوده عدد ریلی (Ra) بر مبنای قطر سیم $۰/۰۱۵ < Ra < ۲۵$ و عدد پرانتل $۰/۷ < Pr < ۶۰۰۰$ قرار داشت.

همچنین برای آزمایشها نسبت لاغری (Aspect Ratio) $\frac{l}{d} = ۱۰۰۰$ ونسبت فضائی (Space Ratio) $\frac{c}{d} = ۱۲۰۰$ بود.

نهایتا" رابطه‌ای برای عدد ناسل (Nu) برحسب عدد ریلی (Ra) در محدوده فوق بدست آمد.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
علائم	۷
فصل یکم : مقدمه	۱۰
فصل دوم : تحلیل	۱۳
۱ – ۲ معادلات حاکم بر جابجائی آزاد	۱۳
۲ – ۲ کمیات بدون بعد در جابجائی	۱۴
۳ – ۲ حالت گذرا در جابجائی آزاد حول استوانه‌ها	۱۶
۴ – ۲ حالت دائم در جابجائی آزاد حول استوانه‌ها	۲۰
۵ – ۲ اتلاف حرارت هدایتی به پایه‌ها	۲۱
۶ – ۲ روش اندازه‌گیری دمای سطح استوانه	۲۳
۷ – ۲ ابعاد و شکل محفظه آزمایش	۲۶
۸ – ۲ بررسی نتایج تجربی قبلی در زمینه جابجائی آزاد حول استوانه افقی	۲۸
فصل سوم : دستگاه آزمایش و ابزارهای اندازه‌گیری	۳۱
فصل چهارم : روش آزمایش	۳۶
فصل پنجم : روش محاسبه نتایج	۳۹
۱ – ۵ محاسبه تلفات حرارتی تشعشعی	۳۹
۲ – ۵ محاسبه تلفات حرارتی هدایتی	۴۰
۳ – ۵ محاسبه عدد ریلی (Ra) و عدد ناسل (Nu)	۴۴
فصل ششم : نتایج و بحث	۴۷
۱ – ۶ نتایج آزمایش	۴۷
۲ – ۶ رابطه بین عدد بدون بعد ریلی (Ra) و عدد بدون بعد ناسل (Nu)	۴۹

۳ ـ ۶ بحث روی نتایج آزمایش ۵۰
مراجع ۵۹
ضمائم ۶۱

علائـــــــم :

a	طول محفظه آزمایش
A	مساحت سطح جانبی سیم آهنی
A_0	مساحت سطح داخلی کل محفظه آزمایش
b	عرض محفظه آزمایش
b_1	ضریب در معادله دیفرانسیل خطی
c	ارتفاع محفظه آزمایش
C	غلظت جرمی در معادلهٔ نفوذ جرم
c_p	گرمای ویژه سیال
D	ضریب نفوذ جرم
d	قطر سیم آهنی
d_2	قطرمیله برنجی
e	انرژی کل بر واحد جرم در معادلهٔ انرژی
e	توان تشعشعی بر واحد سطح سیم آهنی
e_0	توان تشعشعی بر واحد سطح محفظه شیشه‌ای آزمایش
F	ضریب شکل تشعشعی بین سیم آهنی و محفظه شیشه‌ای
Fo	عدد بدون بعد فوریه
Fo_D	عدد فوریه در وحله جابجائی یا زمان تاء خیر
g	شتاب جاذبه زمین
Ge	عدد بدون بعد گپهارت
Gr	عدد بدون بعد گراشف

h	ضریب انتقال حرارت جابجائی آزاد حول سیم آهنی
h_1	ضریب انتقال حرارت جابجائی آزاد حول سیم آهنی درمعادلهٔ هدایت
h_2	ضریب انتقال حرارت جابجائی آزاد حول میله برنجی درمعادلهٔ هدایت
I	آمپراژ یا شدت جریان برق گذرنده از سیم آهنی
k	ضریب هدایت حرارتی سیال
k_1	ضریب هدایت حرارتی آهن
k_2	ضریب هدایت حرارتی برنج
l	طول سیم آهنی
l_1	نصف طول سیم آهنی
l_2	طول میله برنجی
L	طول مشخصه در روابط ریلی و ناسل در حالت کلی
Nu	عدد بدون بعد ناسل
P	فشار در حالت کلی
P	فشار هوای آزمایشگاه
P_0	فشار هوای استاندارد
Pr	عدد بدون بعد پرانتل
Q	نرخ انتقال حرارت جابجائی آزاد از سیم آهنی
Q_c	نرخ انتقال حرارت هدایتی از راه پایه‌ها
Q_e	نرخ انتقال حرارت کلی یا توان برق مصرفی
Q_r	نرخ انتقال حرارت تشعشعی
q'''	شدت تولید انرژی بر واحد جرم سیال
Ra	عدد بدون بعد ریلی
r_1	شعاع سیم آهنی
r_2	شعاع میله برنجی
R_0	مقاومت مرجع سیم آهنی
R	مقاومت سیم آهنی
R_s	مقاومت شنت
R_r	مقاومت تشعشعی کل
s	نرخ تولید انرژی بر واحد حجم

t	زمان
T	دمای سیم آهنی
T_2	دمای میله برنجی
T_∞	دمای سیال در دور دست
T_f	دمای میانگین
u_x	خطای نسبی در کمیت x'
$u_{r,x}$	خطای نسبی در کمیت r ناشی از خطا در کمیت x
V	سرعت
V	ولتاژ دو سر سیم آهنی
V_s	ولتاژ دو سر مقاومت شنت
x_1	مختصه طول در سیم آهنی
x_2	مختصه طول در میله برنجی
$\bar{x}$	مقدار متوسط اندازه‌گیری شده از کمیت x
α	ضریب دمائی مقاومت
β	ضریب انبساط حجمی سیال
δx	خطای مطلق کمیت x
ε	ضریب صدور تشعشعی سطح سیم آهنی
ε_0	ضریب صدور تشعشعی سطح محفظه شیشه‌ای
θ_1	اختلاف دمای سیم و سیال
θ_2	اختلاف دمای میله و سیال
μ	لزجت دینامیکی سیال
ν	لزجت سینماتیکی سیال
ρ	چگالی سیال
ρ	مقاومت مخصوص آهن
σ	ثابت استفن ـ بلتزمن در تشعشع
ϕ	تلفات لزجتی سیال (Dissipation Function)

فصل اول

" مقدمه "

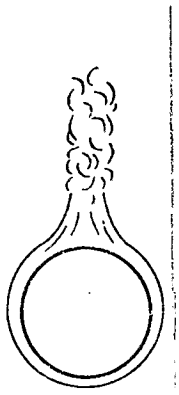
انتقال حرارت جابجائی آزاد از استوانه‌های افقی موضوع مطالعات زیادی بوده است. این شکل هندسی در محدودهٔ وسیعی از مسائل مهندسی کاربرد دارد.

این مسئله به روشهای تحلیلی، عددی و تجربی بررسی شده‌است که هر کدام مزایا و معایبی را در بر دارد. در حل تحلیلی که بیشتر برپایه تئوری لایهٔ مرزی بوده نرخ انتقال حرارت موضعی و کلی از استوانه افقی و همچنین توزیع سرعت و دما در اطراف آن با حل تشابه (Similarity solution) حل عدم تشابه (Nonsimilarity solution) حل سری ها و حل انتگرالی و برای جریان آرام بررسی شده است.

در حل عددی که آن هم بر پایه تئوری لایهٔ مرزی می باشد، مسئله حاضر با روشهای تفاوت محدود و المانهای محدود و به کمک کامپیوتر بررسی شده است. با این فرق که در اینجا معمولا" تقریبی در معادلات بقاء وارد نمی شود.

در حالت کلی حل های تحلیلی و عددی در این زمینه بیشتر ناحیه‌ای در اطراف استوانه را بررسی می کند که در آن جدائی رخ نداده باشد و ناحیه‌ای که در آن جدائی رخ داده باشد کمتر مطالعه شده است. از این رو این حل ها بدلیل جدائی جریان و تشکیل گردابه (Wake) در پشت استوانه، شکل (۱ - ۱)، حتی در اعداد ریلی بسیار کوچک نیز از دقت زیادی برخوردار نیست

مسئله حاضر با روش تجربی نیز بررسی شده است و تاکنون آزمایشهای بسیاری با استوانه‌ها در اندازه‌های مختلف و درون سیالهای متفاوت و برای یک محدوده وسیع اختلاف دما انجام شده‌است. روابط تجربی زیادی در این زمینه بدست آمده است.



شکل ۱ – ۱ جدائی جریان و تشکیل گردابه در پشت استوانه افقی

در سال ۱۹۲۹ میلادی ناسل (Nusselt) رابطهٔ تجربی زیر را برای جابجائی آزاد حول استوانه‌های افقی پیشنهاد کرد:

$$Nu = 0.502\ Ra^{0.25} \qquad 10^4 < Ra < 10^8 \qquad (۱ - ۱)$$

این رابطه به نام خود او به معادلهٔ ناسل معروف است.

اخیرا" آزمایشهای دقیق تری در زمینهٔ جابجائی آزاد از سیم (گونه‌ای استوانه) و در سیالهای مختلف انجام شده است. در این آزمایش‌ها سیم ازفلزاتی با ضریب هدایت حرارتی نسبتا" بالا ساخته شده تا دمای آن یکسان و یکنواخت باشد. دمای آن با روشهای مقاومتی و توسط مدار پل اندازه‌گیری شده و میدان دما در اطراف آن با روشهای نوری و توسط انتز فرومترماخ – زندر (Mach-Zehnder Interferometer) مشاهده شده است.

این آزمایشها همچنین نشان داده است که برای سیمهای افقی که قطر آن از مرتبه ضخامت لایه مرزی و یا کوچکتر از آن است و در محدوده اعداد گراشف کوچک، ارتباط میان عدد ناسل و عدد پرانتل پیچیده‌تر از آن است که با روابط ساده بیان شود { ۸ }.

یک مقایسهٔ کلی و همه جانبه از کارهای انجام شده در زمینهٔ انتقال حرارت جابجائی آزاد حول استوانه‌های افقی نشان می دهد که نتایج بدست آمده با یکدیگر سازگار نبوده وگاهی حتی اختلاف چشمگیری دارند. از این رو راه برای کار

بیشتر در این زمینه باز می ماند.

علیرغم بررسی های انجام شده به نظر می رسد که موضوع انتقال حرارت جابجائی آزاد از سیمهای افقی درون سیال های متفاوت در دماهای مختلف یکجا بررسی نشده است. در این بررسی پدیده جابجائی آزاد در حالت دائم و برای جریان آرام اطراف یک سیم افقی بلند و هم‌دما در هوا، آب و روغن و در دماهای مختلف بطور تجربی مطالعه می شود.

سیم آزمایش از جنس آهن بوده و توسط میله‌های برنجی در محفظه شیشه‌ای بزرگ که از بیرون به خوبی عایق شده است، قرار دارد. سیال عامل هوا، آب و روغن می باشد که هرکدام جداگانه و در دماهای مختلف آزمایش می شود و از این رو محدوده نسبتا" وسیعی از عدد پرانتل را می پوشاند. سیم آزمایش با اعمال جریان مستقیم توسط یک منبع تغذیه الکتریکی گرم شده و با سیال اطراف خود در محفظه تبادل حرارت می کند. دمای سطح سیم با روش مقاومتی (Resistance Thermometry) اندازه‌گیری می شود که روش دقیقی است.

در این پروژه تا حدامکان از دستگاهها و ابزارهای دقیق و حساسی استفاده شده تا خطای آزمایش کم شود ولی آنجا که مقدور نبوده از امکانات موجود بهره‌برداری شده است.

چون اعداد بدون بعد ریلی و گراشف با توان سوم قطر استوانه متناسب است، لذا کاربرد سیم با قطر کوچک سبب کوچک شدن این اعداد می شود و از این رو در این بررسی اساسا" با اعداد ریلی وگراشف کوچک سروکار داریم.

در پایان نتایج بدست آمده از این آزمایش با نتایج تجربی دیگران در این زمینه مقایسه می شود تا نقاط قوت و ضعف آن در حالت کلی ارزیابی شود.

فصـــــل دوم

" تحلیـــــــل "

پدیدهٔ انتقال حرارت جابجائی آزاد نیز مانند هر پدیده دیگـــــری از قوانین خاص خود پیروی می کند که می تواند پیچیده و در عین حال جالب باشـــــد. در این فصل سعی شده است که این قوانین به گونه‌ای ساده بررسی شود. ابتـــــــدا معادلات حاکم بر جابجائی آزاد در حالت کلی آورده می شود. سپس کمیات بدون بعـــد و ارتباط آنها در جابجائی آزاد بصورت کلی ونهایتا " روابط تجربی در ایـــــن زمینه در چند حالت خاص آورده می شود.

در بخشهای بعدی این فصل ، حالت گذارا (transient) و حالـــــــــت پایدار (steady) در جابجائی آزاد حول استوانه‌ها (و سیمها بعنوان حالـــــت خاصی از آنها) ، اتلاف حرارت هدایتی به پایه‌ها ، روش اندازه‌گیری دمای سطـــــح استوانه ، ابعاد و شکل محفظه آزمایش وهمچنین نتایج تجربی دیگران در این زمینـــه بررسی خواهد شد.

۱ – ۲ معادلات حاکم بر جابجائی آزاد

عامل اساسی در ایجاد جابجائی آزاد ، تغییرات چگالی سیال به واسطـــه اختلاف دما در حضور یک میدان نیرو (عموما " میدان گرانشی) و ایجاد نیـــــروی شناوری (boyancy) است . معادلات حاکم براین پدیده شامل معادلات بقای جـــرم ، بقای ممنتم ، بقای انرژی و معادلهٔ نفوذ جرم است .

معادلات حاکم بر جابجائی آزاد در حالت کلی به شرح زیر است [۹]:

معادلهٔ بقای جرم :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla . \rho \vec{V} = 0 \qquad (۲-۱)$$

معادلهٔ بقای ممنتم :

$$\rho \frac{D\vec{V}}{Dt} = \rho \vec{g} - \nabla p + \mu \nabla^2 \vec{V} + \frac{\mu}{3} \nabla (\nabla . \vec{V}) \qquad (۲-۲)$$

معادلهٔ بقای انرژی :

$$\rho\frac{De}{Dt} = \nabla.k\nabla T + q''' - p\nabla.\vec{V} + \mu\phi \qquad (۲-۳)$$

معادلهٔ نفوذ جرم :

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \vec{V}.\nabla C = \nabla.D\nabla C \qquad (۲-۴)$$

در حالتی که انتقال حرارت جابجائی آزاد در یک ماده خالص رخ دهد، معادلهٔ نفوذ جرم حذف می شود. بعلاوه در حالات خاص، بسته به نوع سیال و شرایط هندسی و دائم یا غیردائم بودن روند، شکل روابط و معادلات تغییر می کند. در بعضی از حالات خاص و ساده می توان به حل تحلیلی دست یافت ولی در اغلب موارد حل عددی بوسیلهٔ کامپیوترهای دیجیتال قابل حصول است. حتی گاهی مسئله آنقدر پیچیده می شود که حل عددی نیز امکان پذیر نبوده و صرفا" به نتایج تجربی تکیه می شود.

لازم به تذکر است که حل تحلیلی برای مسائل جابجائی آزاد در حالت کلی بسیار پیچیده است و این بخاطر جفت بودن معادلات بقای ممنتم و انرژی است که سرعت و دما بطور همزمان در هر دو ظاهر می شود.

۲ - ۲ کمیات بدون بعد در جابجائی آزاد

با تحلیل ابعادی روی دستگاه معادلات دیفرانسیل حاکم بر جابجائی آزاد در حالت کلی اعداد بدون بعد زیر به دست می آید{ ۹ }:

$$Pr = \mu c_p/k \qquad (۲-۵)$$

$$Gr = g\beta\,(T - T_\infty)L^3/\nu^2 \qquad (۲-۶)$$

$$Ra = Gr.\,Pr \qquad (۲-۷)$$