



دانشگاه صنعتی شریف

دانشکده مهندسی شیمی و نفت

پروژه درس انتقال حرارت

عنوان

شبیه‌سازی توزیع دما در پره‌های توربین

نگارش

سید متین لشگری

محمد همانلو

استاد درس

آقای دکتر اکبر شجاعی

بهمن ۱۴۰۰

صفحه

فهرست مطالب

- مقدمه..... ۱
- هدف پروژه..... ۱
- تعریف مسائل..... ۱

- بخش اول..... ۲
- بخش دوم..... ۳
- بخش سوم..... ۴
- بررسی و نتیجه گیری..... ۶
- منبع..... ۷

هدف پروژه

پره ها یکی از اجزای اصلی در توربین ها هستند بطوریکه انرژی گرمایی گاز را دریافت کرده و طی چند فرایند به انرژی الکتریکی تبدیل می کنند. یک مسئله اساسی در توربین ها، مقاومت آنها در برابر گرمای شدید است زیرا گاز عبوری بر روی پره ها می تواند تا دمایی نزدیک به ۱۶۰۰ درجه سانتی گراد هم برسد که بسیاری از فلزات و آلیاژهای آنها تحمل این درجه حرارت را ندارند. دمای وارد شده به توربین یا همان TIT (Turbine Inlet Temperature) و محدوده ذوب پره ها از مسائل مهم در صنعت هستند.

هدف این پروژه شبیه سازی توزیع دما پره در دو بعد است که در شرایط مختلف دمای ورودی و همچنین شرایط مختلف پره انجام می گیرد تا کارآمدی روش خنک سازی پره ها را تحقیق کنیم.

تعریف مسائل

سه مسئله را بررسی می کنیم:

یک: پره دارای انتقال حرارت جابجایی در نوک و توزیع دما در شرایط پایا (دمای سیال ورودی ثابت).

دو: پره دارای نوک عایق و توزیع دما در شرایط پایا (دمای سیال ورودی ثابت).

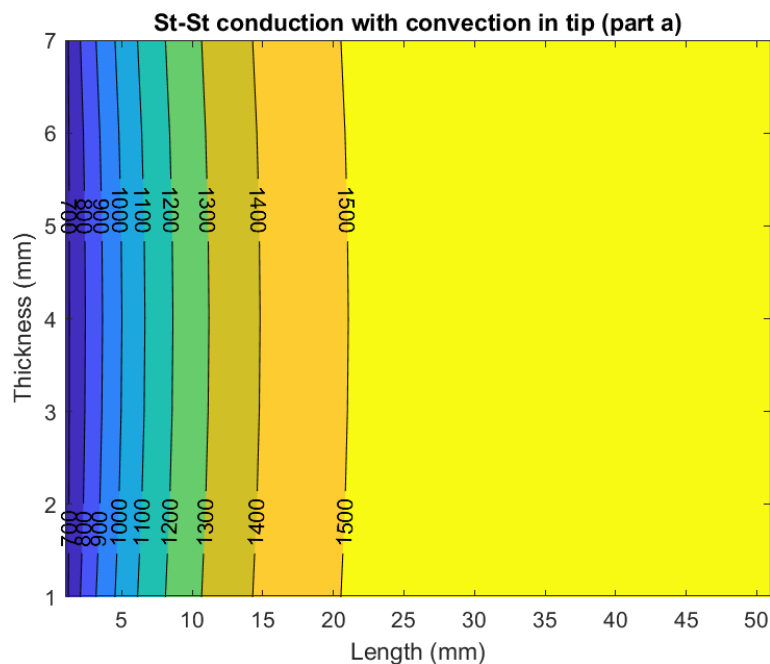
سه: پره دارای انتقال حرارت جابجایی در نوک و شرایط ناپایا (دمای سیال عبوری به توربین تابع زمان است و تغییر می کند).

در نهایت هم کارآمدی روش خنک سازی را بررسی می کنیم و مقدار دمای نقاط مختلف پره را با روش گره بندی و استفاده از معادلات گاوس-سیدل بدست می آوریم و مقدار آن را با مقدار مجاز دما مقایسه می کنیم.

Steady State Conduction With Convection In Tip

بخش یک

در این قسمت و همچنین قسمت های بعدی از روش تقسیم بندی گره و حل به روش تفاضل عددی استفاده می کنیم. طول پره را به ۵۰ قسمت مساوی و یک میلی متری و عرض آن را به ۶ قسمت مساوی و یک میلی متری تقسیم می کنیم (۵۱ گره در راستا افق و ۷ گره در راستا عمود). دمای پایه ثابت و برابر با 673 K و دمای گاز عبوری TIT برابر با 1600 K است.



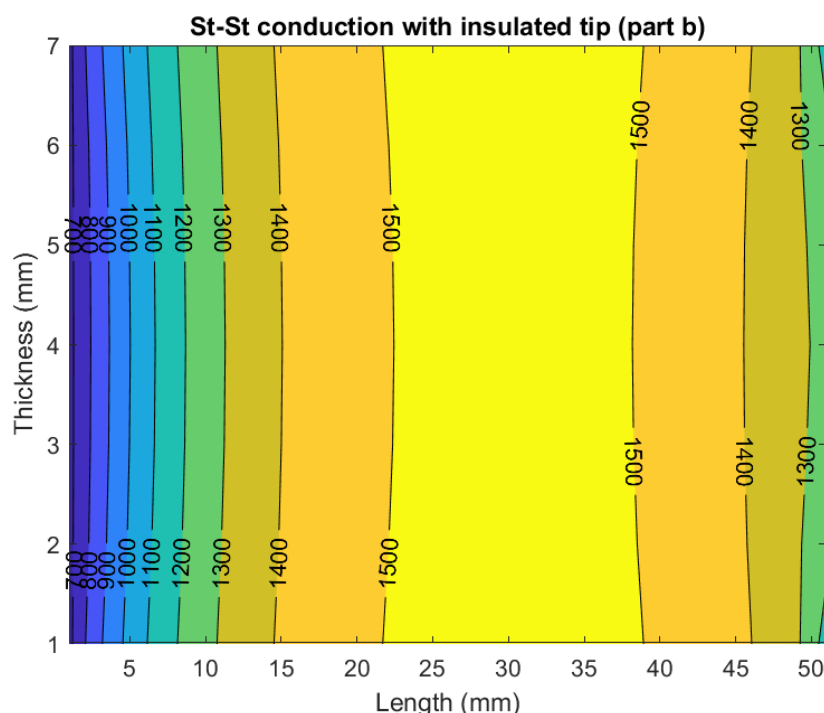
در تصویر روبرو توزیع دمای را در راستای گره های مشاهده می کنید که فاصله بین هر دو گره یک میلی متر است. همان طور که مشاهده می شود، در اکثر گره ها دما فراتر از دمای مجاز ۱۳۵۰ کلوین است.

شکل ۱

Steady State Conduction With Insulated Tip

بخش دو

شرایط گره بندی و دمای ورودی توربین و دمای پایه همگی مانند بخش اول است و تنها تفاوت در خود پره است که دارای نوک عایق بوده و دیگر انتقال حرارت جابجایی در نوک پره وجود ندارد.



تصویر روبرو توزیع دما با شرایط ذکر شده فوق را نشان می‌دهد. همانطور که واضح است، در نیمه ابتدایی پره تفاوت چشم‌گیری با نمودار بخش اول دیده نمی‌شود اما تفاوت اصلی در انتهای پره یعنی جایی که عایق وجود دارد دیده می‌شود.

شکل ۲

دلیل وجود این تفاوت میان شکل یک و دو، وجود عایق است که مانع از انتقال حرارت از قسمت نوک پره می‌شود و بنابراین دمای گره‌های نزدیک به نوک پره کمی کمتر از گره‌های میانی است که از دو سمت در معرض حرارت هستند.

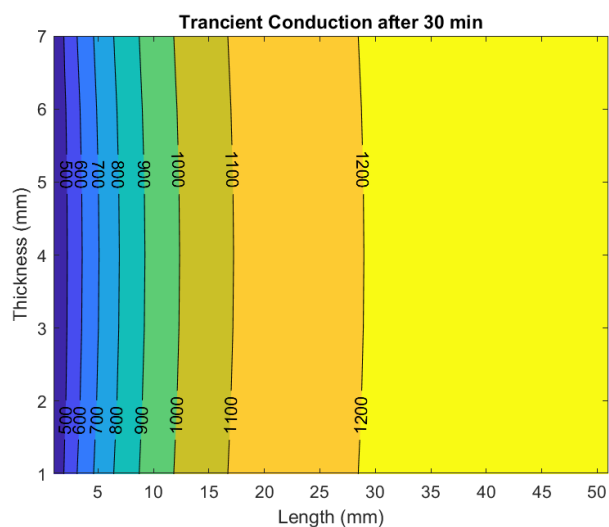
بخش سه Unsteady State Conduction With Convection in Tip

در بخش سوم، دیگر شرایط پایا نیست و دما با گذر زمان تغییر می‌کند. در اصل شرایط این بخش همانند شروع به کار توربین است. زمانی که دمای سرتاسر پره مقداری یکسان (400 K) و توربین شروع به گردش کرده و دمای گاز عبوری از روی پره‌های توربین به تدریج افزایش میابد. در این بخش دمای پایه را ثابت و برابر با دمای اولیه در نظر می‌گیریم. با استفاده از روش‌های تفاضلی برای انتقال حرارت ناپایا (Transient Numerical Method) و فرمول‌های گاوس-سیدل برای شرایط ناپایا و با همان گره‌بندی بخش‌های قبلی، می‌توانیم دمای همه گره‌ها را در بازه‌های زمانی بسیار کوتاه اندازه‌گیری کنیم. معیار درستی این محاسبات عدد فوری بحرانی است که ما این عدد را بسیار پایین‌تر از مقدار بحرانی و برابر با 0.05 در نظر گرفته-ایم.

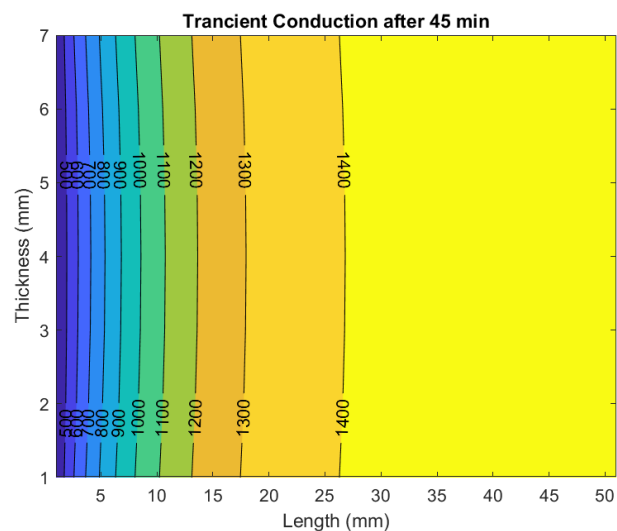
هدف ما در این بخش بررسی توزیع دما در پره در زمان‌های مختلف است، زمان‌های مدنظر ما بعد 30 دقیقه، 45 دقیقه، یک ساعت و دو ساعت خواهد بود.

همچنین طبق معادله ارائه شده، دمای TIT از 400 کلوین شروع و با گذر زمان بصورت پیوسته افزایش و بعد از گذشت 2 ساعت به مقدار 1760 کلوین خواهد رسید.

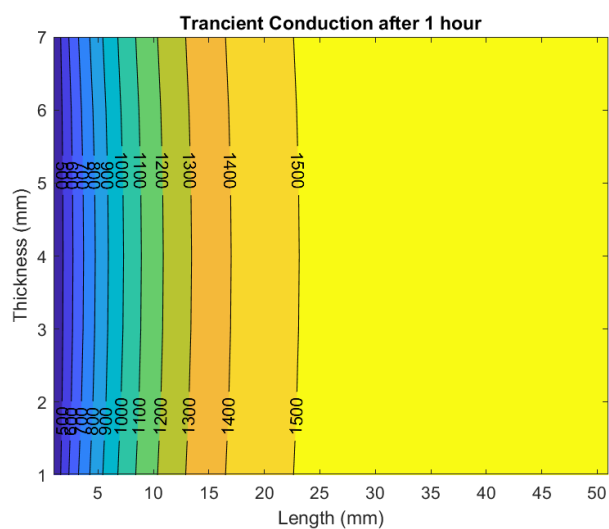
در صفحه بعد نمودار توزیع دما در چهار زمان ذکر شده، نشان داده شده است:



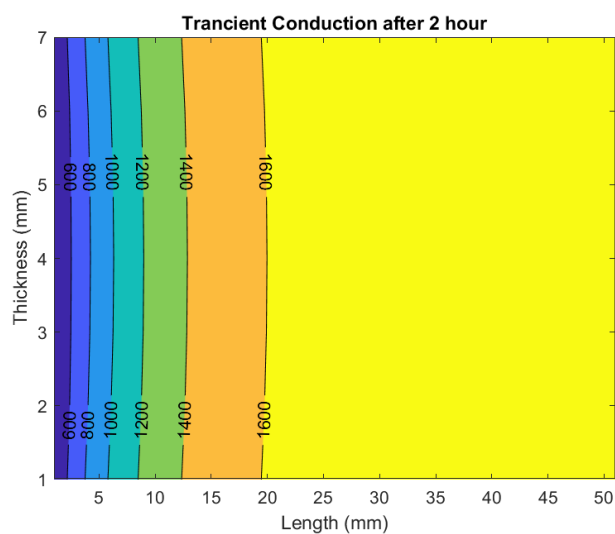
بعد از ۳۰ دقیقه



بعد از ۴۵ دقیقه



بعد از ۱ ساعت



بعد از ۲ ساعت

بررسی و نتیجه گیری

همان طور که در مقدمه هم اشاره شد، مقاومت پره ها در برابر گرما وابسته به جنس آنها است. این محدودیت برای توربین هایی که در صنعت بصورت مستقیم استفاده می شوند و صرفاً برای مصارف آزمایشگاهی نیستند، به دلیل محدودیت در هزینه ها و کارآمدی توربین، وجود دارد. بیشترین مقدار دما قابل تحمل بدست آمده توسط شرکت میتسوبیshi است و مقدار آن ۱۶۰۰ درجه سانتی گراد بوده است. اما بطور میانگین در توربین های شرکت های مختلف که در چندین سال اخیر تولید شده اند، مقدار دما مجاز ۱۳۵۰ کلوین بوده است.

طبق توزیع های بدست آمده در شکل های ۱ و ۲، دما در بخش قابل توجهی از پره از مقدار مجاز آن تجاوز می کند که این به معنا غیر قابل استفاده بودن توربین های معمولی است، اما توربین های جدید و پیشرفته تر که تا ۱۸۰۰ کلوین را تحمل می کنند، قابل استفاده در شرایط محیطی مسئله هستند.

برای اینکه شرایط برای استفاده از توربین های با مقاومت گرمایی پایین تر هم فراهم شود، می توان از روش های زیر استفاده کرد:

- کاهش دما پایه تا حدود ۳۰۰ کلوین
- استفاده از فلزات با ضریب رسانش گرمایی بالاتر
- کاهش دمای گاز (سیال) عبوری از توربین (کاهش TIT)
- استفاده از سیال با ضریب جابجایی پایین تر

البته که روش های فوق یا چالش انگیز هستند و یا بازده توربین را پایین می آورند.

نتیجه‌گیری اولیه‌ای که بدست می‌آید این است که این روش خنک‌سازی پره برای عمده طراحان توربین قابل استفاده نخواهد بود و پره‌ها بعد از مدتی استفاده شکل و فرم استاندارد خود را از دست خواهند داد. از دست رفتن فرم استاندارد پره‌ها، به شدت بر روی بازده توربین تاثیر منفی خواهد گذاشت که این اثری نامطلوب است.

همچنین در بخش سوم قابل مشاهده است که بعد از کمتر از ۱ ساعت از شروع بکار توربین، توزیع دما در پره‌ها به گونه‌ای است که بخش قابل توجهی از پره دارای دمایی بالاتر از دما مجاز است.

پس نتیجه‌گیری میشود که روش خنک‌سازی در این پره نمی‌تواند پاسخ‌گوی تمام طراحان باشد و نیازمند به تغییرات اساسی در جنس، شکل و شرایط محیطی توربین است.

منابع:

- Holman, J. P. (Jack Philip) Heat transfer / Jack P. Holman—10th ed.
- <https://www.mhi.com/news/1105261435.html>