

روش اندازه گیری تلفات در پایین دست جریان دوفازی در پره های ثابت توربین بخار

دکتر محمد ضا مه پیکر

دانشیار-گروه مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد

Mahpeymr@um.ac.ir

احسان امیری راد

کارشناس ارشد-گروه مکانیک، دانشگاه فردوسی

Ehsan_amech@yahoo.com

چکیده

طی انبساط بخار در توربین های بخار سیال ابتدا مافوق سرد و سپس جهت بازیابی تعادل به جریانی دوفاز تبدیل می شود. فاز مایع شامل تعداد بسیار زیاد قطرات بسیار ریز آب می باشد که به جز هسته گذاری فرآیند دیگری برای ایجاد آنها متصور نیست. بررسی های اخیر نشان می دهد شکل گیری این قطرات سبب افت شدید و غیر معمول می شود. با بررسی جریان پایین دست می توان به عوامل مؤثر در ایجاد اتلافات پی برد. در این مقاله به مطالعه روش تجربی بررسی جریان پایین دست پره توربین در حالات متفاوت جهت تایید نتایج حل عددی می پردازیم.

کلمات کلیدی: توربین بخار، جریان دوفاز، هسته گذاری

مقدمه

توربین های بخار نقش مهمی را در تولید برق بر عهده دارند بنابراین افزایش بازده آنها نقش بسیار مهمی در کاهش هزینه انرژی دارد. در برخی مراحل بخار تحت تاثیر شتاب و چرخش پره منبسط و سرد میشود. سرعت سرد شدن از سرعت کاهش دمای اشباع کمتر است در نتیجه سیال توانایی حفظ تعادل خود را از دست داده و به حالت فوق اشباع می رسد و به جهت حفظ تعادل هسته های بسیار ریز آب ایجاد می شود و این وضعیت تا رسیدن هسته ها به قطر بحرانی ادامه می یابد. [1] بر اثر تبدیل بخار به مایع گرمای نهفته موجود در بخار آزاد شده و به جریان سیال اضافه می شود. این گرمای اضافی جریانی را متمایل به سرعت صوتی می کند. که این می تواند سبب ایجاد شوک میعان گردد. هسته گذاری بدلیل همراه بودن با انتقال گرمای داخلی بازگشت ناپذیر و همچنین تاثیرات آن بر لایه های مرزی و عملکرد آیرودینامیکی پره موجب افت بازده می شود، [2] اما جزئیات پدیده شناخته شده نیست. طی سالهای اخیر با پیشرفت روش های عددی و ارائه شدن تحلیل های عددی و تحلیلی جدید [3]، [4] نیاز به نتایج تجربی جهت تایید حل های عددی احساس می شود. انبساط بخار از حالت اشباع یا مافوق گرم به شرایط صوتی بتنهایی نمی تواند شرایط مافوق سرد را ایجاد کند. بنابراین جهت بررسی تجربی پدیده نیاز به یک منبع بخار مافوق سرد داریم. جزئیات منبع مذکور و سایر تجهیزات آزمایش در ادامه آمده است.

۱- تجهیزات آزمایش

نمای کلی تجهیزات مورد استفاده در شکل ۱ نمایش داده شده است. مخزن بخار یک مخزن تحت فشار می باشد. شیر ۱ یک شیر عکس العمل سریع می باشد که جریان بخار را بسوی مقطع تست رها می کند. شیر ۲ یک شیر پروانه ای می باشد و جهت تنظیم فشار پایین دست و ماسخ خروجی استفاده می شود.

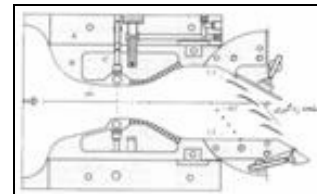


شکل ۱- نمای کلی تجهیزات آزمایش

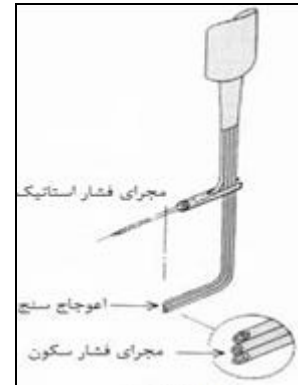
بخار مصرف شده به یک کندانسور تخلیه می شود. پره های شکل دهنده کسکید بر روی یک نگهدارنده دایروی که بر مقطع تست منطبق شده است، سوار می شود. جهت تولید بخار مافوق سرد ابتدا مخزن با بخار اشباع شارژ و سپس مقداری از آن به کندانسور تخلیه می شود. در نتیجه بخار باقیمانده در مخزن انبساط یافته و بدون کسب انرژی جنبشی بصورت مافوق سرد در می آید. نمای مسیر جریان در کسکید در شکل ۲ نمایش داده شده است. نمای ایزومتریک شاخص استفاده شده جهت اندازه گیری فشار و زاویه جریان پایین دست در شکل ۵ نمایش داده شده است. برای به حداقل رساندن نوسانات جریان مجراهای خارجی اعوجاج سنج ۴۵ درجه پخ می خورند. جهت تنظیم نمودن شاخص از یک نازل همگرا-واگرای شیار دار استفاده می کنیم. [5] شیار ها به جهت از بین بردن اثرات لایه مرزی و ایجاد جریانی مستقیم می باشد. ابتدا شاخص را با زوایای متفاوت در مسیر جریان مستقیم نازل قرار می دهیم و سپس مقادیر فشار هر یک از سه شاخه اعوجاج سنج را بصورت نمودار ثبت می کنیم. به کمک این نمودارها و مقادیر بدست آمده از آزمایشات می توان زاویه جریان را تعیین نمود.

منطقه تقطیر سریع دارند. اندازه گیری تغییرات فشار استاتیک و سکون در پایین دست جریان برای ورودی خشک و تر و خروجی زیر صوت در شکل ۶ و ۷ نمایش داده شده است. [7] تفاوت فشار سکون در بالا و پایین دست جریان بیانگر میزان افت تحمیل شده به سیال می باشد.

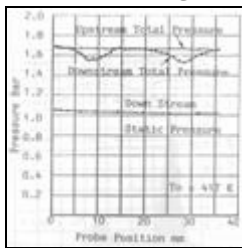
در تست مادون صوت در فضای بین دنباله ها بدلیل انبساط آیزنتروپیک فشار سکون پایین و بالا دست منطبق می باشد. تاثیر دنباله ها بر افت فشار پایین دست در تمام حالات کاملا واضح می باشد. در مورد تست دو فازی و زیر صوت اتلاف ناشی از هسته گذاری در فضای میان دنباله ها واضح می باشد. نمودارهای مربوط به تست فراصوت روند مشابهی دارند به جز اینکه اتلافات مربوط به وقوع شوکهای آیرودینامیکی نیز به اتلاف ناشی از دنباله ها و هسته گذاری اضافه می شود. همچنین بدلیل وقوع شوک در حالت فرا صوت فشار استاتیک پایین دست در این حالت متغیر می باشد.



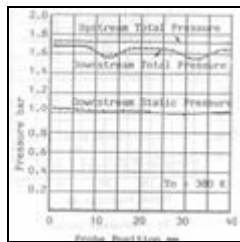
شکل ۲- مسیر عبور جریان



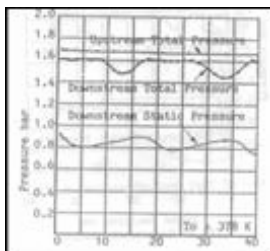
شکل ۳- شاخص



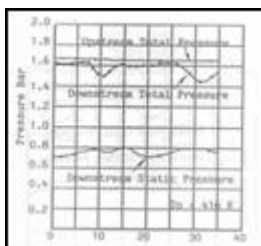
شکل ۷- مادون صوت خشک



شکل ۶- مادون صوت دوفاز



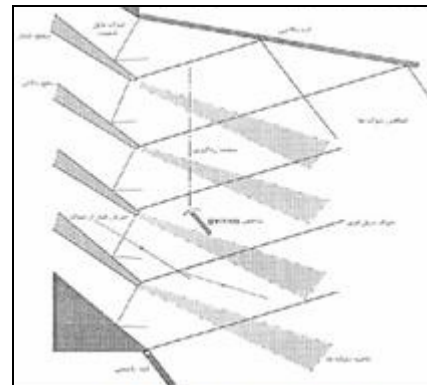
شکل ۹- مافوق صوت دوفاز



شکل ۸- مافوق صوت خشک

۲- بررسی نتایج :

در این قسمت به بررسی نتایج برخی آزمایشات انجام شده و نتایج حاصل از آنها می پردازیم. شکل ۴ نشانگر شماتیک الگوی جریان پایین دست برای خروجی فراصوت و بدون هسته گذاری می باشد.



شکل ۴- الگوی جریان خشک فراصوت

در شکل مزبور شوکهای لبه فرار و انعکاس آنها مشهود می باشد. شادوگراف نوعی مربوط به جریان مافوق گرم و هسته ای شونده در شکل ۵ آمده است. [6]



شکل ۵- شادوگراف جریان

شوکهای لبه فرار در تصاویر مربوط به آزمایش مافوق گرم کاملا مشخص است. تعداد بیشتری خطوط تاریک در پایین دست جریان هسته گذاری دیده می شود. این خطوط متناظر با تفاوت توزیع فشار بوده و دلالت بر

۳- مراجع

- [1] B.A. Campbell, F. Bakhtar, Condensation phenomena in high speed flow of steam. Proc. Instn Mech Engres, 1970-1971, 395-405
- [2] S.A. Skillings, Condensation phenomena in a turbine blade passage. J.Fluid Mech.(1989),vol.209, 409-424
- [3] F. Bakhtar, R.J.K.Henson, H.Mashmoushy, on the performance of a cascade of turbine rotor tip section blading in nucleating steam-Part 5: theoretical treatment, Proc Instn Mech Engres vol 220 Part C, 2006, 457-472
- [4] Yasuhiro SASAO, Satoru YAMAMOTO, Numerical Prediction of Humid Effect to Transonic Flows in Turbomachinery, Proceedings of the International Gas Turbine Congress 2003 Tokyo, November 2-7, 2003
- [5] F. Bakhtar, H. mashmoushy, O.C. Jadayel, Calibration characteristics of a three-hole probe and a static tube in wet steam. International Journal of Heat and Fluid Flow 22(2001), 537-542
- [6] H.Mashmoushy, M.R.Mahpeykar, F.Bakhtar, Studies of nucleating and wet steam flows in two-dimensional cascades, Proc Instn Mech Engres vol 218 Part C, 2004, 843-857
- [7] F. Bakhtar, H. mashmoushy, O.C. Jadayel, on the performance of a cascade of turbine rotor tip section blading in nucleating steam-Part 3: wake traverses. Proc Instn Mech Engres vol 211 Part C, 1997, 639-647