University of Mosul

College of Engineering

On Meanline Flow and CFD Design of Supercritical CO_2 Compressor

Firas Khaleel Hussein Alok

B.Sc. Mechanical Engineering (2008)

M.Sc. Thesis
In Mechanical Engineering/ Thermal Engineering

Supervised by
Dr. Younis M. Najim
Lecturer

2022 A.D

1443 A.H

ABSTRACT

The supercritical CO_2 Brayton Cycle has received a considerable interest in recent years due to high thermal efficiency, equipment compactness and emission reduction. Centrifugal compressor represents a main component in small and moderate Brayton power cycle. The thermophysical properties of supercritical CO_2 dramatically change with pressure and temperature as they evolve through compressor passage. The density of supercritical CO_2, for example, approaches 60% of water density near the critical region, which requires a smaller impeller size and hence develops poor isentropic/polytropic efficiency. As a result, the compression process of supercritical CO_2 has not been well developed. This study presents a design process of rotor and vaned diffuser of a radial supercritical CO_2 compressor employing 1D meanline analysis to design the compressor rotor and vaned diffuser. Three dimensional CFD simulations are then applied to further explore the performance of the new designed compressor and the evolution of thermophysical fluid properties in the compressor passage. The supercritical CO_2 fluid is modeled as a real fluid using REFPROP database which is coupled with meanline and CFD solvers. Total temperature and pressure are specified at the compressor inlet while mass flow rate is imposed at the diffuser outlet. The meanline and CFD schemes are validated with available experimental data from Sandia National Laboratory (SNL). The validation results are in good agreement with the experiment data and the average relative error is found to be 2.3296%. The flow structure is found to be streamed and only small regions of circulation flow observed at the suction side of the main blade. The CFD results reveal an abrupt variation of real fluid density in spanwise direction at the compressor inlet which sheds light into improving the conventional schemes

of designing supercritical inlet conditions that can improve the efficiency of a supercritical compressor. The tip clearance effect has developed backflow near the shroud at the rotor inlet which cannot be well predicted by meanline analysis.

جامعة الموصل
كلية الهندســـــة

تصميم ضاغط لثاني أوكسيد الكاربون فوق الحرج باستخدام جريان الخط المعدل و ديناميكية المائع الحسابية

فراس خليل حسين علوك الجبوري

رسالة ماجستير علوم
في الهندسة الميكانيكة / الحراريات

بإشراف
المدرس

د. يونس محل نجم

١٤٤٣ هـ

٢٠٢٢م

الخلاصة

حظيت دورة برايتون لثاني أوكسيد الكربون فوق الحرجة باهتمام كبير في السنوات الاخيرة بسبب الكفاءة الحرارية العالية وصغر حجم المعدات وتقليل الانبعاثات. يمثل ضاغط الطرد المركزي مكوناً رئسياً في دورة برايتون الصغيرة والمتوسطة. وتتغير الخصائص الفيزيائية الحرارية لثاني أوكسيد الكربون فوق الحرج بشكل كبير مع الضغط ودرجة الحرارة أثناء عملية الانضغاط خلال الضاغط. على سبيل المثال فان كثافة ثاني أوكسيد الكربون فوق الحرج تقترب من (60%) من كثافة الماء بالقرب من المنطقة الحرجة والتي تتطلب حجماً أصغر للبشارة, مما يؤدي الى انخفاض في كفاءة الضاغط. نتيجة لذلك , فان عملية تطوير انضغاط اوكسيد الكربون مستمرة على وتيرة متسارعة. هذا العمل يقدم دراسة تصميم بشارة وناشر ذو ريش لضاغط شعاعي يعمل بثاني أوكسيد الكربون فوق الحرج باستخدام تحليل الخط المعدل احادي البعد (1D). ومن ثم تطبيق محاكاة ديناميكية المائع الحسابية (CFD) ثلاثية الأبعاد لمعرفة نمط الجريان واستكشاف أداء الضاغط الجديد ومتابعة تغير خصائص المائع الفزيو–حرارية خلال الضاغط. تم نمذجة سائل ثاني أوكسيد الكربون كسائل حقيقي باستخدام قاعدة بيانات خصائص السوائل الحقيقية (REFPROP) والتي تم ربطها مع كل من نموذج الخط المعدل (1D) و ديناميكية المائع الحسابية (CFD). تم تعيين درجة الحرارة الكلية والضغط الكلي عند مدخل الضاغط بينما يتم تعيين معدل تدفق الكتلة عند مخرج الناشر ذو الريش كشروط حدية للدراسة. ولاجل التحقق من صواب النتائج فقد تم مقارنة نتائج الخط المعدل و ديناميكية المائع الحسابية مع البيانات التجريبية المتاحة من مختبر ساندیا الوطني (SNL). اظهرت نتائج المقارنة تتوافقاً جيداً مع بيانات التجربة وقد وجد أن متوسط الخطأ هو (2.3296%). اظهرت النتائج بنية وتناسقاً جيداً للتدفق خلال الضاغط, ولم يتم ملاحظة جريان دوراني (vortical flow) سوى في مناطق صغيرة من جهة الضغط الواطئ للزعنفة الرئيسية. كذلك كشفت نتائج ديناميكية المائع الحسابية (CFD) عن تباين مفاجئ في كثافة المائع الحقيقية في الاتجاه الممتد من سطح قاعدة الزعنفة الى اعلاها في مدخل الضاغط مما يسلط الضوء على امكانية تحسين الطرق التقليدية المستخدمة لتصميم الشروط الحدية لمدخل للضاغط فوق الحرج والتي بامكانها ان تحسن كفاءة الضاغط. كما ان النتائج بينت تطوراً في تأثير أزلة الطرف

(الخلوص) على الجريان الثانوي وبينت النتائج ان تدفقاً عكسياً وجد بالقرب من الغطاء بسبب تاثير الخلوص والذي لايمكن التنبؤ به جيداً من خلال طريقة تحليل الخط المعدل.