

Experimentelle Charakterisierung des Impuls- und Wärmetransports in offenporigen, durchströmten Mehrschichtsystemen als Brennkammerwand

Jörg Sauerhering*, Oliver Reutter, Thomas Fend, Robert Pitz-Paal

DLR, Institut für technische Thermodynamik, Linder Höhe, 51147 Köln

Zusammenfassung

Im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 561 an der RWTH Aachen werden Ansätze zur Steigerung des Wirkungsgrads von GuD-Kraftwerken erforscht. Um die dazu notwendigen hohen Temperaturen zu erreichen wird die Brennkammerwand mittels Effusionskühlung gekühlt. Der als Brennkammerwand vorgesehene Metallschaum wurde dazu im durch das DLR bearbeiteten Teilprojekt experimentell charakterisiert hinsichtlich seiner Wärmeleitfähigkeit, seines Wärmeübergangs, des Druckverlusts und der Homogenität der Durchströmung. Der mit dem Schlicker-Reaktions-Schaum-Sinter-Verfahren hergestellte Metallschaum zeigt eine Anisotropie und eine zweiklassige Porenstruktur.

1 Einführung und Ziele

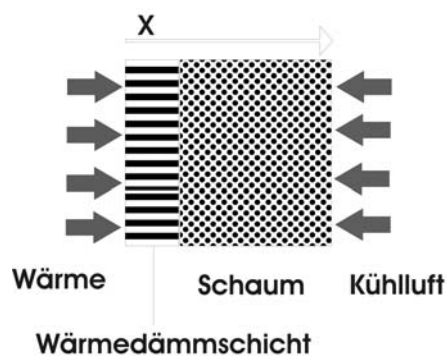


Abbildung 1: Brennkammerschindel

Ziel des Teilprojektes ist die Charakterisierung des Impuls- und Wärmetransports der feinporösen, offenporigen Mehrschichtstruktur einer Brennkammerwand. Die Beschreibung dieser Materialeigenschaften auf der Basis experimenteller Untersuchungen ermöglicht die Modellrechnungen zur Effusionskühlung von Gasturbinenkomponenten. Die poröse Brennkammerwand besteht aus einem, mit einer Wärmedämmschicht versehenen, offenporösen Metallschaum. Die Wärmedämmschicht wird mittels feiner Laserbohrungen geöffnet^[1]. In einem ersten Schritt sollten die Durchströmungseigenschaften und die thermophysikalischen Eigenschaften des nach dem Schlicker-Reaktions-Schaum-Sinter-Verfahren (SRSS) hergestellten Metallschaums^[2] experimentell untersucht werden. Die Permeabilität sollte mittels Druckverlust-

messungen charakterisiert, die Ruhewärmeleitfähigkeit mittels der Transient Plane Source Methode^[3] bestimmt und der konvektive, volumetrische Wärmeübergang in einem Versuchsaufbau nach Younis und Viskanta^[4] ermittelt werden. Da in thermisch hoch beaufschlagten, porösen Strukturen Massenstrominstabilitäten^{[5][6]} und somit inhomogene Zustände auftreten können, sollte ein experimenteller Nachweis der Homogenität der Kühlung erbracht werden.

2 Resultate und Diskussion

Die Permeabilität der SRSS Metallschäume wurde in Abhängigkeit von der Porosität bei Raumtemperatur charakterisiert. Es konnte ein quadratischer Zusammenhang zwischen der Durchströmungsgeschwindigkeit und der Permeabilität gezeigt werden. Die Messergebnisse wurden nach der Darcy-Leveque Beziehung ausgewertet, wobei zwei temperaturunabhängige, die Permeabilität beschreibende Parameter gewonnen werden. Es wurde der Nachweis einer Durchströmungsanisotropie geliefert sowie festgestellt, dass ab einer Porosität von 70% die Permeabilität signifikant zunimmt. Modelltechnisch wurde dies auf die Tatsache zurückgeführt, dass sich bei zunehmender Porosität ein Netzwerk bildet, zu dem sich Einzelporen bei zunehmender Größe zusammenschließen. Die Ruhewärmeleitfähigkeit wurde Porositätsabhängig bis zu einer Temperatur von 700°C bestimmt. Weil der Metallschaum herstellungsbedingt aus einer offenporösen, feinkörnigen Matrix besteht, in welche große Primärporen eingebettet sind, konnte das Matrixmaterial und der Schaum separat charakterisiert werden. Die Modellierung konnte für das Matrixmaterial mittels eines Ansatzes für Festbetten und Schüttungen und für den Porenkörper mittels der Ersatzschaltung für parallel angeordnete thermische Widerstände realisiert und bis 700°C validiert werden. Der ab 400°C nachweisbare Strahlungswärmetransport in den Primärporen konnte charakterisiert und mit dem Primärporendurchmesser korreliert werden.

Der volumetrische, konvektive Wärmeübergang wurde in Abhängigkeit von der Porosität und der Durchströmungsgeschwindigkeit charakterisiert. Es ist in den Messungen eine lineare Abhängigkeit des volumetrischen Wärmeübergangs von der Geschwindigkeit zu erkennen. Je höher die Porosität der Metallschäume desto niedriger der volumetrische Wärmeübergang. Diese Ergebnisse konnten durch Ausnutzung

* Korrespondenzautor: Telefon: +49 2203 601 3181; Fax: +49 2203 601 4141; e-mail: joerg.sauerhering@dlr.de

der Ähnlichkeitsgesetze unter Verwendung der Nußeltzahl, $Nu = \alpha d_p / \lambda$, der Reynoldszahl, $Re = v d_p \rho / \eta$ und der Prandtlzahl $Pr = \eta c_p / \lambda$ mit den Eigenschaften von Luft verallgemeinert werden^[7]. Einem Ansatz von Schlünder^[8] und Martin^[9] folgend, welcher auf der Theorie von Leveque basiert, ist der Wärmeübergang proportional zum Druckverlust in einer porösen Struktur. Dies konnte für die untersuchten Metallschäume nachvollzogen werden. Die Homogenität der Durchströmung wurde in Abkühlversuchen untersucht. Es konnte hierbei ein Zusammenhang zwischen der durchströmten Strecke, der Porosität und der Strömungs-Abkühlungshomogenität festgestellt werden. Mit abnehmender Porosität und abnehmender durchströmten Länge nimmt die Wahrscheinlichkeit inhomogener Durchströmungszustände zu. Dieses Verhalten konnte auf die heterogene Schaumstruktur zurückgeführt werden.

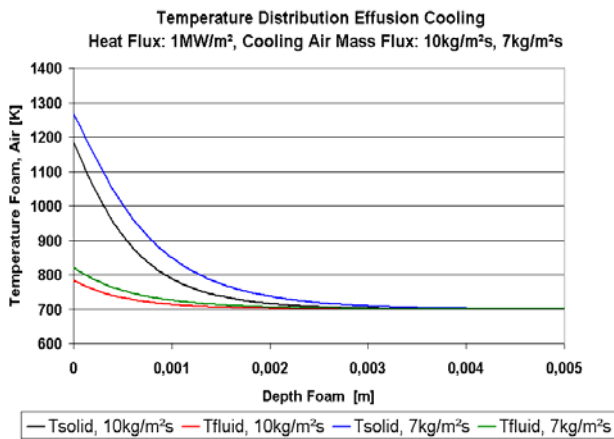


Abbildung 2: Temperaturverlauf Effusionskühlung

3 Zusammenfassung und Ausblick

Im zurückliegenden Zeitraum konnte das Projekt die im SFB 561 formulierten Ziele zur Charakterisierung der thermophysikalischen Eigenschaften des SRSS- Metallschaums vollständig erreichen. Somit war es möglich zu erwartende Temperaturverteilungen und Gradienten zu berechnen und den Schaum als Bauteil in der Brennkammer zu dimensionieren.

Zukünftige Arbeiten werden zu den thermophysikalischen und hydrodynamischen Eigenschaften des Mehrschichtaufbaus sowie zur Charakterisierung des Strahlungswärmetransports von der Brennkammer in die Brennkammerwand durchgeführt. Des Weiteren wird der Effekt der Durchströmung auf die Wärmeleitfähigkeit untersucht, da hier, bedingt durch die dissipative Quervermischung, eine signifikante Veränderung erwartet werden kann.

Die Arbeiten wurden im Rahmen der 3. Förderperiode des von der DFG finanzierten SFB 561 (Kordinator: RWTH Aachen, Institut für Gas und Dampfturbinen, Prof. Bohn) durchgeführt.

Literatur

- ^[1]D. Bohn, New Materials and Cooling Systems for High Temperature, Highly Loaded Components in Advanced Combined Cycle Power Plants, 7th Liege Conference on "Materials for Advanced Power Engineering", Sept. 30 - Oct. 02, 2002, Liege, Belgium.
- ^[2]Angel, S., Bleck, W., Scholz, P.F., Fend, Th., Influence of Powder Morphology and Chemical Composition on Metallic Foams produced by SlipReactionFoamSintering (SRFS)-Process, steel research int. 75 No. 7 (2004)
- ^[3]Gustafsson, S.E., Transient plane source techniques for thermal conductivity and thermal diffusivity of solid materials. Rev. Sci. Instrum., 1990. **62**(3): p. 797-804
- ^[4]Viskanta, R., Younis, L.B. Experimental determination of the volumetric heat transfer coefficient between stream of air and ceramic foam, Int. J. Heat and Mass, Vol 36, No 6, 1425-1434, 1993
- ^[5]Buck, R., Massenstrom-Instabilitäten bei volumetrischen Receiver-Reaktoren. VDI Fortschr.-Ber. Vol. 648. 2000, Düsseldorf: VDI Verlag GmbH. 110.
- ^[6]Becker, M., Fend, Th., Hoffschmidt, B., Pitz-Paal, R., Reutter, O., Stamatov, V., Steven, M., Trimis, D., Theoretical and numerical investigation of flow stability in porous materials applied as volumetric solar receivers, Solar Energy **80**, 1241-1248, 2006
- ^[7]Tsotsas, E. and H.-U. Schlünder, Wärmeübertragung in Festbetten, durchmischten Schüttgütern und Wirbelschichten. Chemieingenieurwesen/Verfahrenstechnik. 1988, Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag.
- ^[8]Schlünder, E-U., Chemie-Ing.-Techn. 42, p. 905-910, 1970
- ^[9]Martin, H., V. Gniewinski, Proc. 3rd European Thermal Sciences Conf., p. 1155-1160, 2000