

WÄRMEÜBERGANG AN STRÖMENDES NATRIUM

Theoretische und experimentelle Untersuchungen über Temperaturprofile und turbulente Temperaturschwankungen bei Rohrgeometrie

Abhandlung

zur Erlangung des Titels eines Doktors
der technischen Wissenschaften
der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

HANS FUCHS

Dipl. Masch.-Ing. ETH-Z
geboren am 5. April 1938
von Neuenegg (Kt. Bern)



Angenommen auf Antrag von
Prof. Dr. W. Hälg, Referent
Prof. M. Berchtold, Korreferent

Summary

Heat Transfer to Flowing Sodium.

Theoretical and Experimental Investigations on Temperature Profiles and Turbulent Temperature Fluctuations in a Tube

Heat transfer theories for liquid metals are mostly based on velocity data; temperature distributions are derived by means of the eddy diffusivity concept. A number of theories are critically reviewed; two main areas of uncertainty are identified: 1. choice of appropriate velocity data (inaccurate velocity profiles are the reason for the high Nusselt values which the famous Lyon-Martinelli formula yields), 2. choice of realistic eddy diffusivity ratios. Point 1 does not necessarily require liquid metal experiments, but point 2 certainly does.

A review of pertinent experimental data shows that reliable data for sodium is rather scarce. Measurements of temperature profiles in sodium have therefore been performed: electrically heated test section, consisting of a smooth tube of diameter 30,6 mm; $Pr \approx 0,007$; $Re \approx 3700-141'000$. Temperature profiles, eddy diffusivity for heat ϵ_H and Nusselt numbers are presented in graphs and tables and compared with theoretical calculations. The eddy diffusivity ratio obtained follows quite closely Aoki's relation.

Turbulent temperature fluctuations are of interest both for advanced theories and practical applications. Most of the existing data refer to mercury, however. Within the above mentioned parameters, temperature fluctuations in sodium have been measured with thermocouples of 0,5 mm diameter and are reported as rms-values, probability density, auto- and cross-correlations and spectral densities.

Some applications are promising: flow measurement by transit time analysis, monitoring of LMFBR-subassemblies. An attempt to use a Russian "diffusion" method to compute ϵ_H out of fluctuation data was only partially successful so far.

Zusammenfassung

Meistens beruhen die Wärmeübergangstheorien für flüssige Metalle auf Angaben über das Geschwindigkeitsfeld; die Temperaturverteilungen werden daraus mit Hilfe des Eddy-Diffusivity-Konzepts abgeleitet. Beim kritischen Vergleich mehrerer Theorien tauchen zwei unsichere Punkte auf: 1. Wahl der geeigneten Geschwindigkeitsdaten (ungenauere Geschwindigkeitsprofile sind verantwortlich für die hohen Nusselt-Zahlen, die die berühmte Lyon-Martinelli-Formel liefert), 2. Wahl eines realistischen Verhältnisses der Eddy Diffusivities. Punkt 1 verlangt nicht unbedingt Flüssigmetall-Experimente, sicher aber Punkt 2.

Eine Durchsicht der Versuchsergebnisse fördert nur wenige verlässliche Angaben über Natrium zutage. Es wurden deshalb Messungen von Temperaturprofilen in Natrium durchgeführt mittels einer elektrisch beheizten Teststrecke (glattes Rohr mit 30,6 mm Durchmesser); $Pr \approx 0,007$; $Re \approx 3700-141'000$. Temperaturprofile, Eddy Diffusivities for Heat ϵ_H und Nusselt Zahlen werden in Form von Zeichnungen und Tabellen aufgeführt und mit theoretischen Berechnungen verglichen. Das resultierende Verhältnis der Eddy Diffusivities folgt der Relation von Aoki recht genau.

Turbulente Temperaturschwankungen sind sowohl für fortgeschrittene Theorien wie praktische Anwendungen von Interesse. Die meisten vorliegenden Angaben beziehen sich jedoch auf Quecksilber. Im Rahmen der oben aufgeführten Parameter wurden Temperaturschwankungen in Natrium mittels Thermoelementen von 0,5 mm Durchmesser gemessen und in Form von rms-Werten, Wahrscheinlichkeitsdichten, Auto- und Kreuzkorrelationen sowie Spektraldichten dargestellt.

Einige Anwendungen scheinen vielversprechend: Durchflussmessung mittels Transit-Time-Methode, Ueberwachung von Schnellbrüter-Subassemblies. Einem Versuch, mit einer russischen "Diffusions"-Methode ϵ_H aus Schwankungsgrößen zu bestimmen, war jedoch vorläufig nur teilweise Erfolg beschieden.