

Kurzfassung

Die vorliegende Ausarbeitung untersucht den Einfluss von instationären Strömungsstrukturen in freier Konvektion auf die Wärmeübertragung von einer vertikalen Platte an Luft. Dazu werden die mittlere und die momentane Intensität der konvektiven Wärmeübertragung für zyklische und sprungartig variierende Betriebsweisen einer direkt-elektrisch beheizten, 2 m hohen Kupferplatte experimentell erfasst.

Bei Dauerbetriebstemperaturen von maximal 100 °C und Impuls-Wärmestromdichten von bis zu 1.430 W/m² werden sowohl laminare, als auch transiente und turbulente Strömungsformen betrachtet. Im Vergleich zur einer quasi-stationären Betrachtungsweise tritt im instationären Fall eine mittlere Intensivierung der konvektiven Wärmeübertragung von maximal 23,8 % bei zyklischen Variationen der Randbedingungen und von bis zu 30,2 % bei sprungartigen Änderungen auf. Die stärkste Beeinflussung der konvektiven Wärmeübertragung durch eine instationäre Betriebsweise zeigt sich im Bereich der kritischen *Grashof*-Zahl, also zu Beginn der laminar-turbulenten Transition. Hinsichtlich der zeitlichen Entwicklung der Wärmeübertragungs-Intensität treten die größten Überschreitungen des quasi-stationären Vergleichsniveaus stets zum Ende eines Wärmestrom-Impulses auf.

Phänomenologische Betrachtungen der instationären Konvektionsströmung in Form von Visualisierungen zeigen bei einer impulsartigen Wärmestromzufuhr eine temporär verstärkte Durchmischung der Grenzschicht. Exemplarische Messungen zur zeitlichen Entwicklung der Strömungsgeschwindigkeiten innerhalb der Grenzschicht zeigen dabei ebenfalls stark ausgeprägte irreguläre Fluktuationen. Die phänomenologischen Beobachtungen legen daher nahe, dass überschüssige potentielle Energie, die durch einen hinreichend intensiven Wärmestrom-Impuls plötzlich in eine Auftriebsströmung eingebracht wird, zunächst durch das temporäre Aufkommen von großskaligen Rotationsbewegungen in kinetische Energie umgewandelt wird, bevor sich eine quasi-stationäre Strömungsentwicklung einstellt.

Die Grenzschichtfluktuationen stehen darüber hinaus in guter zeitlicher Übereinstimmung mit der instationären Phase der Wärmeübertragung. Die vorübergehende Intensivierung des konvektiven Wärmetransports wird dementsprechend auf eine kurzzeitig verstärkte Durchmischung der Grenzschicht zurückgeführt.

Auf Grundlage der experimentellen Ergebnisse, für die eine sehr gute quantitative und qualitative Reproduzierbarkeit vorliegt, wird ein analytisches Berechnungsmodell vorgestellt. Als zentrale Einflussgrößen werden darin die mittlere *Grashof*-Zahl und eine dimensionslose Kennzahl Π berücksichtigt, welche als Maß für den mittleren Überschuss der potentiellen Energie innerhalb der instationären Phase interpretiert wird.

Das Berechnungsmodell erlaubt sowohl die Prognose der mittleren, als auch der momentanen Wärmeübertragungs-Intensität durch instationäre freie Konvektionsströmungen an der vertikalen Platte. So eröffnet sich für derartige Wärmeübertrager durch eine gezielte Variation der Betriebsweise die Möglichkeit zu einer Intensivierung der Übertragungsleistung bei gleichen mittleren Oberflächentemperaturen oder zu einer Reduzierung der mittleren Oberflächentemperaturen bei gleicher Übertragungsleistung.

Abstract

The present elaboration investigates the influence of unsteady flow structures in natural convection on the heat transfer from a vertical flat plate to air. Therefore, the mean and momentary intensity of convective heat transfer are determined experimentally for cyclic and step-like changes in the operation mode of a direct-electrically heated, 2 m high copper plate.

At continuous operating temperatures of max. 100 °C and impulse heat flux densities of up to 1,430 W/m², laminar, transitional and turbulent flows are considered. Compared to a quasi-stationary approach, in the unsteady case, a maximum increase in the mean convective heat transfer of 23.8% occurs for cyclic variations of the boundary conditions and of up to 30.2% for step-like changes. The strongest influence of an unsteady operation mode on the convective heat transfer occurs in the range of the critical *Grashof* number – i.e. at the beginning of the laminar-turbulent transition. In terms of the temporal development of the heat transfer intensity, the largest exceedances of the quasi-stationary comparison level consistently occur at the end of a heat flux impulse.

Phenomenological observations of the unsteady convection flow in the form of visualizations show a temporarily increased mixing of the boundary layer in the case of an impulse-like heat flux supply. Exemplary measurements of the temporal development of the flow velocities within the boundary layer also show very distinctive irregular fluctuations. Thus, the phenomenological observations indicate that surplus potential energy, which is suddenly transferred into a buoyant flow by a sufficiently intensive heat flux impulse, is initially converted into kinetic energy through the temporary appearance of large-scale rotational structures, before a quasi-stationary flow development occurs.

Furthermore, the boundary layer fluctuations are in good temporal agreement with the unsteady phase of heat transfer. The temporary enhancement of the convective heat transport is accordingly attributed to a short-time intensified mixing of the boundary layer.

Based on the experimental results, for which a very good quantitative and qualitative reproducibility prevails, an analytical calculation model is presented. The mean *Grashof* number and a dimensionless parameter Π (which is interpreted as a measure of the mean potential energy surplus within the unsteady phase) are considered as main influencing quantities.

The calculation model allows the prediction of the mean as well as the momentary heat transfer intensity due to unsteady natural convection flows at the vertical plate. Consequently, for these type of heat exchangers, an unsteady operation mode allows an increase in the heat transfer intensity for the same average surface temperatures or a decrease in the average surface temperatures for the same heat transmission rate.