

Experimentelle Untersuchung stark verzögerter turbulenter Grenzschichten

Doctoral Thesis

Author(s):

Gasser, Daniel

Publication date:

1992

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000693066>

Rights / license:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)

Diss. ETH Nr. 9944

Experimentelle Untersuchung stark verzögerter turbulenter Grenzschichten

ABHANDLUNG

zur Erlangung des Titels
DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN
der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE
ZÜRICH

vorgelegt von

DANIEL GASSER

dipl. Masch.-Ing. ETH
geboren am 29. Juli 1960
von Nunningen (SO)

Angenommen auf Antrag von
Prof. Dr. H. Thomann, Referent
Prof. Dr. G. Yadigaroglu, Korreferent

1992

Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurden zweidimensionale inkompressible turbulente Grenzschichten mit starken Druckanstiegen in Strömungsrichtung in einer rotationsymmetrischen Messanordnung experimentell untersucht. Der Grad der Verzögerung reichte bei den verschiedenen untersuchten Grenzschichtfamilien von der Reduktion der Wandreibung auf ca. 25% eines Anfangswertes bis hin zu Strömungsfällen mit Ablösung. Der minimale Wandschubspannungswert wurde jeweils innerhalb von weniger als 15 Grenzschichtdicken Lauflänge erreicht. In derart stark verzögerten Grenzschichten treten die Auswirkungen des ausgeprägten positiven Druckgradienten deutlich hervor, zum Beispiel resultieren grosse Abweichungen vom "universellen Wandgesetz".

In der ersten Phase der Arbeit wurde ein bereits vorhandener Grenzschichtwindkanal im Hinblick auf die neuen Messaufgaben modifiziert. Im Vordergrund stand dabei die Entwicklung einer neuen Vorrichtung zur Erzeugung des Druckgradienten. Ein weiterer wichtiger Punkt war die Automatisierung der Datenerfassung und der Sondenbewegungen.

Der praktischen Realisierung theoriefreundlicher Strömungsbedingungen wurde grosse Beachtung geschenkt. Ausserhalb der Grenzschicht wurde eine sehr gute Rotationssymmetrie erreicht, innerhalb der Grenzschicht wurde der unvermeidbaren transversalen Struktur Rechnung getragen, indem die Messgrössen konsequent umfangsgemittelt wurden.

Beim Ausmessen der Grenzschichten stand die genaue Bestimmung der Wandschubspannung im Vordergrund. Die vorhandene Schubspannungswaage, welche sich bereits in früheren Arbeiten bewährt hatte, wurde einigen Modifikationen unterzogen, welche deutliche Verbesserungen im Messablauf mit sich brachten. Vergleiche mit Prestonrohrmessungen und, in einer Zusammenarbeit mit der TU Berlin, mit Wandpulsdraht- und Oberflächenzaunmessungen, zeigten Möglichkeiten und Grenzen dieser alternativen Messmethoden auf.

Umfangreiche Geschwindigkeitsmessungen mit einem Pitotrohr ergaben ein klares Bild von den Abweichungen der Geschwindigkeitsfelder von der Zweidimensionalität und erlaubten die Beschreibung von umfangsgemittelten, idealisierten Grenzschichten. Messungen mit einer X-Hitzdrahtsonde

dienten zur Kontrolle der Pitotrohrmessungen und ergaben die nicht zu vernachlässigende Komponente senkrecht zur Wand sowie Informationen über die Turbulenzgrössen, vor allem über die Reynoldssche Schubspannung $-\rho\bar{u}v$.

In einem letzten Teil der Arbeit wurden Grenzschichtrechnungen durchgeführt, wobei fünf verschiedene Turbulenzmodelle getestet wurden. Modellansätze, welche einen gewissen Informationstransport über das Verhalten turbulenter Parameter in Strömungsrichtung beinhalten (Eingleichungsmodelle und der Ansatz nach Johnson-King) zeigten sich den algebraischen Modellen überlegen, was die Voraussage der Gestalt der Geschwindigkeitsprofile anbelangt. Die Voraussage der Wandschubspannung im Druckgradient kann wesentlich verbessert werden, wenn die Grösse A^+ in der Van Driest'schen Dämpfungsfunktion, welche ein Mass für die Dicke der laminaren Unterschicht darstellt, gemäss einer empirischen Korrelation als vom Druckgradient abhängige Grösse betrachtet wird. Durch diese Massnahme zeigten auch die algebraischen Modelle deutlich bessere Ergebnisse bei der Voraussage der Wandschubspannung.

Abstract

Two-dimensional incompressible turbulent boundary layers with strong adverse pressure gradients have been investigated experimentally. Different degrees of retardation were considered. In all cases, the lowest value of wall shear stress was reached within a length of less than 15 boundary layer thicknesses. In the weakest case the wall shear stress decreased by a factor of about four, whereas separation occurred in the strongest case.

In such flows the effects of the imposed pressure gradients are rather strong. Important deviations from the "universal" law-of-the-wall are expected, and "history effects" influence the performance of calculation methods.

The measurements were conducted on the inner wall of an annular pipe with 200 mm diameter where the pressure distribution was generated by suction through a perforated concentric inner tube.

In order to determine the deviations from two-dimensionality and to describe an idealized, perfectly two-dimensional flow, the spanwise distributions of most of the measured flow parameters have been recorded.

The most important result is the determination of the true wall shear stress, measured directly by a skin friction balance that has been modified to improve the reliability. Measurements with three indirect methods of measuring skin friction (Preston tube and, in co-operation with TU Berlin, wall pulsed wire and surface fence) were performed for comparison. In the region of separation, balance and wall pulsed wire agreed well.

A Pitot tube was used to investigate the velocity distributions. Control measurements, the wall-normal component of the velocity, and turbulent quantities resulted from X-wire measurements.

In the final part, boundary layer calculations were performed. The performance of five different eddy-viscosity turbulence models have been investigated. The nonequilibrium models (one-equation model, Johnson-King model) predicted the shape of the retarded velocity profiles significantly better than algebraic models. The prediction of wall shear stress by the mathematically simple turbulence closure models is clearly improved by the use of an empirical relation of A^+ to the pressure gradient, where A^+ is a parameter occurring in the Van Driest damping function.