ETH zürich

ETH Library

Heterogene Widerstandsverminderung in turbulenten Rohrströmungen

Doctoral Thesis

Author(s):
Hoyer, Klaus

Publication date:
1994

Permanent link:
https://doi.org/https://doi.org/10.3929/ethz-a-000945389

Rights / license:
In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

This page was generated automatically upon download from the ETH Zurich Research Collection.
For more information, please consult the Terms of use.

Diss. ETH Nr.: 10525

HETEROGENE WIDERSTANDSVERMINDERUNG IN TURBULENTEN ROHRSTRÖMUNGEN

Abhandlung zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN

der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

Klaus Hoyer
Dipl. Ing. Univ., Technische Universität München

geboren am 26. April 1962
von Mainz, Rheinland-Pfalz, BRD

Angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. T. Dracos	Referent
Prof. Dr. B. Gampert	Korreferent
Dr. A. Gyr	Korreferent

1994

Kurzfassung

Der Effekt der Verminderung des Strömungswiderstandes einer turbulenten Strömung durch die Zugabe geringer Mengen von Additiven ist seit Ende der vierziger Jahre als Toms Effekt bekannt. Zu den wirksamsten Additiven gehören haupsächlich lösliche, möglichst linearverkettete Polymermoleküle mit Molmassen von O(10^6 g/Mol), und Tensidmoleküle, die sich durch polare Bindungen zu Stäbchenmicellen aneinander lagern.
Bei der Verwendung von Polymerlösungen sind verschiedene Methoden der Additivzugabe gebräuchlich. Einerseits kann vor der Untersuchung das Polymer in der gewünschen Konzentration der Flüssigkeit zugegeben und gelöst werden (homogene Methode), andererseits wird vor allem in der technischen Anwendung der Strömung eine konzentrierte Polymer-lösung injiziert, wobei sich durch die Anpassung der Volumenströme eine gleichwertige Menge (oder mittlere Konzentration) an Polymer einstellen lässt (heterogene Methode). In Abhängigkeit der injizierten Konzentration wird die Polymerlösung entweder sehr bald hinter der Zugabestelle von der turbulenten Strömung verteilt, oder es bildet sich an der Injektorspitze ein Flüssigkeitsfaden von konzentrierter Polymerlösung aus, der mit der Strömung transportiert wird und über grosse Distanzen hinweg als eigene Phase erkennbar ist.
Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Fragestellung ob die letztgenannte Zugabemethode über einen konzentrierten Polymerfaden sich ursächlich von der homogenen Widerstandsverminderung unterscheidet. Diese Fragestellung resultiert aus dem Paradoxon, daß diese Zugabemethode am effizientesten ist, obwohl der Faden als kohärente Struktur erhalten bleibt.
Im Verlauf der Untersuchungen konnte gezeigt werden, daß auch bei dieser Art der Zugabe die auftretende Widerstandsverminderung direkt und ausschlieslich auf gelösten Polymermolekülen beruht. Dieses Ergebnis stützt sich auf einer Reihe von Untersuchungen, die eine eindeutige Beantwortung verschiedener Teilaspekte der Fragestellung zulassen. Diese Untersuchungen setzen sich unter anderem zusammen aus integralen Druckverlustmessungen zu Bestimmung der Widerstandsverminderung für verschiedene Modellversuche, Untersuchungen der Eigenschaften von wandnah abgezogerer Flüssigkeit, Strömungssichtbarmachung des Fadenzustandes in Abhängigkeit der Widerstandsverminderung, Geschwindigkeitsmessungen mit einem Zwei-Komponenten Laser-Doppler-Anemometer im Rohrquerschnitt und zur Geschwindigkeitsmessung synchrone Sichtbarmachung des Fadenortes für eine vom Fadenabstand konditionierte Auswertung der turbulenten Strömung.
Die besondere Wirksamkeit der untersuchten Methode ist im Vorhandensein von Polymeragglomeraten unterschiedlichster Grössenordung, die vom Polymerfaden in Lösung gehen, begründet. Diese Agglomerate haben ein

Vielfaches des Molekulargewichtes eines Polymermoleküls und sind daher schon in ausserordentlich geringen Mengen sehr effektive Widerstandsverminderer. Die zur homogenen Widerstandsverminderung unterschiedlichen Geschwindigkeitsprofile lassen sich über die Agglomeratsvorstellung in Verbindung mit einem Konzentrationsgradienten über dem Rohrradius erklären.

Abstract

The effect of reducing the frictional drag of a turbulent flow via addition of small amounts of drag reducing agent is known as the Toms phenomenon since the late 40' ies. The most effective drag reducers are soluble, preferable linearly linked, polymer molecules with a molecular weight of O(10^6 g/Mol), and tenside molecules, which form rod-like micelles due to polar bonds.
There exist different means of adding the polymer to the test fluid. One way is to add the desired amount of polymer to the fluid and let it dissolve before the investigation (homogeneous method), whereas in most of the industrial applications the polymer is added via injection of a concentrated master solution (heterogeneous method). An equivalent amount (or an average concentration) of polymer results, when the flow rates are suitably fitted. Depending on the concentration of the master solution, the injected polymer solution behaves in a different way. At low concentrations the polymer solution dissolves rapidly after injection, whereas at higher concentrations the solution forms a thread emerging from the injector nozzle, which is detectable as a second phase for very large distances.
The presented work deals with the question, whether the resulting drag reduction using the finally mentioned addition via a concentrated polymer thread differs causally from the premixed homogeneous case.
This question results from the paradoxon, that this way of addition is most effective although the polymer thread stays as a coherent structure.
The results of the presented work shows clearly, that the observed drag reduction using the thread injection technique results directly and exclusively from dissolved polymer molecules. This result is based on a series of investigations, which allow an unambiguous answer to the different partial aspects of the posed problem. The investigations include integral measurements of the resulting pressure drop to calculate the achieved drag reduction in different modelling experiments, investigations of the characteristics of in situ collected near wall fluid, visualisation of the thread condition at different levels of drag reduction, velocity measurements using a two-component LDV system throughout the cross section of the pipe with and without simultaneous visualisation of the thread locus in the cross section in order to calculate conditionally averaged velocity statistics depending on the distance of the polymer thread.
The outstanding effectiveness of the investigated method is established due to the presence of polymer agglomerates of various sizes, which are torn off the thread and subsequently mixed in the fluid. These agglomerates have a multiple of the molecular weight of a single molecule and are therefore extremely effective drag reducers in spite of their low amounts in the dissolved state. The difference in the velocity profiles caused by the heterogeneous drag reduction can be explained in view of the agglomerate

conception in connection with a concentration gradient in the radial direction.