

Ultrasound doppler based in-line rheometry of highly concentrated suspensions

Doctoral Thesis

Author(s):

Ouriev, Boris

Publication date:

2000

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-003883193>

Rights / license:

In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

Originally published in:

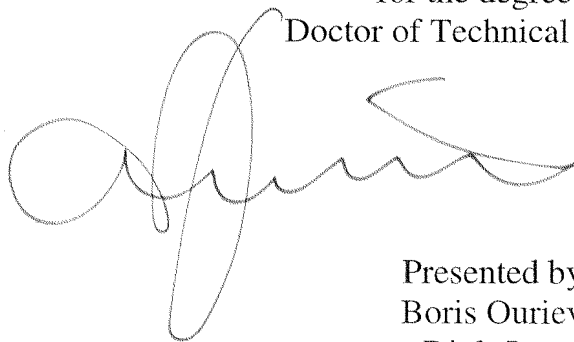
Food process engineering 11

Diss. ETH No. 13523

ULTRASOUND DOPPLER BASED IN-LINE RHEOMETRY OF HIGHLY CONCENTRATED SUSPENSIONS

A dissertation submitted to the
Swiss Federal Institute of Technology Zürich
(ETH Zürich)

for the degree of
Doctor of Technical Sciences

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Boris Ouriev', is positioned to the left of the text 'Presented by Boris Ouriev'. The signature is fluid and cursive, with a large loop at the beginning.

Presented by
Boris Ouriev
Dipl.-Ing.
born on June 26, 1970 in Moscow

accepted on the recommendation of
Prof. Dr.-Ing. E. J. Windhab, examiner
Dr.-Ing. Y. Takeda, co-examiner

Zürich 2000

Summary

Highly concentrated suspensions have wide application fields in various branches of industry like food, chemistry, pharmaceuticals, cosmetics, ceramics and paper. Traditionally, the knowledge gained in rheological studies using off-line rheometers is transferred to “real” flow situations in different types of process flows. Since there is a close relationship between rheology and micro structure, and due to the fact that microstructure also dominates in the product quality characteristics, the measurement of the suspension flow behaviour is of priority on the way to improved quality control.

The rheological behaviour of the in general non-Newtonian highly concentrated and non-transparent fluids is a powerful quality related characteristics the more if it can be measured in-line. Most commercial process rheometers are usually not suitable for this purpose because of their geometries and invasive methods they are based on. The goal of this work is to introduce a complex method for investigation of the rheological properties of non-transparent, non-Newtonian multiphase fluid systems in-line.

The concept of the new „UVPPD“ measuring principle is a “superposition” of a pressure difference measuring method (PD) with a Doppler ultrasound method (Ultrasound Velocity Profiler, UVP). Thus the results of the measurements are obtained as a combination of the wall shear stress and a simultaneously measured flow velocity profile across the flow channel. From local shear stress and related shear rate distributions the shear viscosity function is calculated.

Using the advantages of relatively small ultrasound and pressure sensors dimensions and the ability of ultrasound to propagate also through the solid walls and opaque fluids, this method is expected to find a wide range of applications in different industrial processes.

Before the in-line UVP based rheometer was tested under industrial process conditions a detailed study of model suspensions was performed. The flow behaviour of shear-thinning and dilatant model suspensions was analyzed in different types of flows, e.g. drag shear and pressure driven shear flows. As these experiments showed a variety of rheological and flow information can be obtained like viscosity function over a shear rate range of 2-3 decades, yield value, wall slip function as well as volumetric flow rate. Based on the knowledge gained from laboratory and pilot plant experiments the new measuring device was applied to industrial scale applications, e.g. chocolate pre-crystallization process, fat batch crystallization process as well as pipe transport of low viscous suspensions under turbulent flow conditions.

Aiming the adaptation of the new UVPPD method to extrusion processes a high shear capillary rheometer was constructed for reference measurements. Shear and extensional viscosity measurements as well as flow mapping were performed. For extrusion processes the investigation of the entrance flows is of main interest. A new methodology for time averaged entrance flow mapping was created and tested with highly concentrated shear-thinning and dilatant suspensions.

Zusammenfassung

Hochkonzentrierte Suspensionen finden viele Anwendungsbereiche in unterschiedlichen Industriezweigen, so z.B. in der Lebensmittel-, der chemischen, pharmazeutischen, kosmetischen, sowie Papier- und Keramikindustrie. Eine Vielzahl der Qualitätscharakteristika von Produkten aus diesen Industriebereichen hängt von deren Mikrostruktur ab. Eine in kontinuierlichen Verarbeitungsprozessen massgebliche Eigenschaft, welche das mikrostrukturelle Verhalten bei Aufprägung einer Deformation wie z.B. in Fließvorgängen beschreibt, ist die Rheologie. Herkömmlich wird versucht, off-line ermittelte rheologische Kenngrößen bzw. Materialfunktionen auf reale Fließvorgänge in Prozessen zu übertragen. In aller Regel gelingt dies für Nicht-Newton'sche, konzentrierte Suspensionssysteme nur unzulänglich.

Die prozessnahe, rheologische Charakterisierung komplexer Mehrphasenfluidsysteme mittels in-line rheometrischer Methoden ist deshalb angestrebt. Die meisten der bisher vorgestellten in-line rheologischen Messsysteme haben sich auf Grund ihrer Geometrie sowie der „invasiven Messmethodik“ nicht bewährt, da sie die Mikrostruktur und Rheologie der Produktes nicht repräsentativ wiedergeben.

Das in dieser Arbeit ausgearbeitete Konzept (UVPPD) einer Kopplung von Ultraschall-Doppler Methodik (UVP) und Differenzdruckmessung (PD) ermöglicht die nicht invasive rheologische Messung in der Prozessströmung wie z.B. in Rohrleitungen oder Strömungskanälen. Die UVP Messung liefert ein lokales Geschwindigkeitsprofil. Aus der Differenzdruckmessung wird die entsprechende lokale Wandschubspannung bzw. das Schubspannungsprofil über dem Strömungsquerschnitt ermittelt. Aus der Kopplung beider Informationen kann die Viskositätsfunktion ermittelt werden.

In der vorliegenden Arbeit wurden zunächst umfangreiche rheologische und mikrostrukturelle Charakterisierungen von nicht-Newton'schen (strukturviskosen und dilatanten), konzentrierten Suspensionssystemen vorgenommen. Das Fließverhalten wurde sowohl in Schleppscherströmung als auch in Druckscherströmungen beschrieben. Wie diese Untersuchungen zeigten, können mittels der UVPPD der Messtechnik neben der Viskositätsfunktion auch die Fließgrenze, die Wandgleitfunktion und der Volumenstrom quantifiziert werden.

Testeinsätze der UVPPD Messapparatur in realen Industrieprozessen, in welchen konzentrierte Suspensionssysteme verarbeitet werden (z.B. Schokoladenvorkristallisation, Fettfraktionierung, Teigextrusion), stellten sich als erfolgreich heraus.

Darüberhinaus konnte gezeigt werden, dass die entwickelte in-line Messmethodik auch die Ausmessung mehrdimensionaler Strömungsfelder bei Einsatz von mindestens zwei UVP-Sensoren erlaubt. Dies wurde am Beispiel von Extrudereinlaufströmungen in der vorliegenden Arbeit nachgewiesen.

Ferner konnten auch Messungen in turbulenten Strömungsfeldern erfolgreich realisiert werden.

Die Möglichkeit, mittels miniaturisierter Ultraschall-Transducer und Drucksensoren eine gute „Prozess-Zugänglichkeit“ zu gewährleisten, sowie die Möglichkeit Ultraschallmessung durch Wände und konzentrierte Suspensionssysteme durchzuführen, lassen für die neue, hier vorgestellte Methode, ein breites Anwendungsfeld in vielen Industriebereichen erwarten.