

Weiterentwicklung Netzwerktheorie basierender Werkzeugauslegung

Zur Erlangung des akademischen Grades eines DOKTORS
DER INGENIEURWISSENSCHAFTEN (Dr.-Ing.) der Fakultät
für Maschinenbau
der Universität Paderborn

genehmigte
DISSERTATION

von

Dipl.-Wirt.-Ing. Bianka Janina Jacobkersting
aus Gütersloh

Tag des Kolloquiums: 10.01.2017

Referent: Prof. Dr.-Ing. habil. Volker Schöppner

Korreferent: Prof. Dr.-Ing. Elmar Moritzer

Schriftenreihe Institut für Leichtbau mit Hybridsystemen

Band 23/2017

Bianka Jacobkersting

**Weiterentwicklung Netzwerktheorie basierender
Werkzeugauslegung**

D 466 (Diss. Universität Paderborn)

Shaker Verlag
Aachen 2017

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Paderborn, Univ., Diss., 2017

Copyright Shaker Verlag 2017

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-5109-4

ISSN 2196-2200

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen
Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9
Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Arbeitsgruppe Kunststofftechnik Paderborn (KTP) an der Universität Paderborn in den Jahren 2010 bis 2015.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Volker Schöppner für die Ermöglichung der Promotion und die kontinuierliche Unterstützung sowie die zahlreichen Diskussionen und Anregungen.

Für die Übernahme des Korreferats und für die kritische Durchsicht meiner Arbeit danke ich Herrn Prof. Dr.-Ing. Elmar Moritzer.

Ferner gilt mein Dank allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Arbeitsgruppe für das sehr gute Arbeitsklima und die kooperative Zusammenarbeit. Des Weiteren bedanke ich mich bei allen Diplom-, Master-, Studien-, Bachelor- und Projektarbeitern sowie allen studentischen Hilfskräften, die mich während dieser Zeit tatkräftig unterstützt haben.

Die Ergebnisse der Arbeit sind während gemeinsamer Projekte mit einem Industriepartner entstanden. Den Mitarbeitern danke ich herzlich für die Zusammenarbeit.

Bianka Jacobkersting

Paderborn, Januar 2017

Kurzfassung

In der vorliegenden Arbeit wird die Berechnungsmethode Netzwerktheorie zur eindimensionalen Betrachtung des Fließweges in einem Werkzeug zur Kunststoffverarbeitung weiterentwickelt. Dabei liegt der Fokus auf der idealen Werkzeugauslegung von Breitschlitzwerkzeugen hinsichtlich Druck-Durchsatz-Beziehungen. Die Netzwerktheorie wurde unter Berücksichtigung der realen Kanalgeometrien des Breitschlitzwerkzeuges durch die direkte Ermittlung des TroWap-Verteilers sowie der Strömungsphänomene, wie das Querströmverhalten von Kunststoffschmelzen und der Einschnürungseffekt am Werkzeugaustritt, untersucht. Weiterhin wurde in der Netzwerktheorie angestrebt strukturviskoses Materialverhalten von Kunststoffen unter Anwendung des Carreau-Ansatzes exakter abzubilden. Abschließend wurde die eindimensionale Fließwegbetrachtung der Methodik für eine genaue Strömungsberechnung hinsichtlich Geschwindigkeits-, Volumenstromverteilung sowie der Druckverlust auf ein Mehrschichtwerkzeug übertragen.

Summary

This thesis will enhance the analytical die design and simple numerical method for a one-dimensional view of the flow path. The ideal design of die is focused on coathanger dies with rectangular cross-section to design an optimal uniform flow rate distribution and low pressure drop. The existed tool of virtual method to design is investigated allowing for real geometry of manifold in flat film die to calculate the TroWap-manifold directly as well as the special rheological flow phenomena in the plastic melt as cross flows and neck-in effect at the outlet of die. Furthermore it is proposed to generate a possible calculation to represent shear thinning material behavior of plastic melt exactly. At this juncture the model according to Carreau is implemented in this method. Including the one dimensional consideration of flow pathes in the simulation, is transmitted into coextrusion die for accurate calculation of the velocity and of the volume flow distribution and the pressure consumption.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Historische Entwicklung und Problemstellung	1
1.3 Zielsetzung	11
2 Produktdesign durch virtuelle Werkzeugauslegung	15
2.1 Strömungsvorgänge im Breitschlitzwerkzeug	15
2.1.1 Stoffgesetze	16
2.1.2 Einfluss der Temperatur	18
2.1.3 Strömungsphänomene	19
2.2 Analytische Verfahren	25
2.2.1 Einschichtströmung im Rechteckkanal	26
2.2.2 Dreischichtströmung im Rechteckkanal	29
2.3 Numerische Verfahren.....	32
2.3.1 Computational-Fluid-Dynamics	34
2.3.2 Netzwerktheorie	36
3 Konzept für eine praxisnahe Werkzeugauslegung	45
3.1 Reale Kanalgeometrie	45
3.1.1 Gewichtungsfaktor über den hydraulischen Durchmesser	46
3.1.2 Direktberechnung über hydraulischen Durchmesser.....	56
3.1.3 Bewertung der Methoden	57
3.2 Implementierung von Querströmungen	58
3.2.1 Nachweis der Querströmungen im Breitschlitzwerkzeug	59
3.2.2 Einfach numerische Berechnungsmethodik	72
3.2.3 Experimentelle Verifikation des Querströmverhaltens mit der Netzwerktheorie und der FEM.....	81

3.2.4	Querströmungskorrektur.....	87
3.3	Implementierung der Strukturviskosität	94
3.4	Neck-In	96
3.5	Coextrusion	100
4	Neue GEB Programmstruktur.....	105
4.1	Eingabemaske.....	105
4.2	Ergebnis	106
4.3	Berechnung der Schichten	107
4.4	Zusammenführung der Schichten.....	107
4.5	Umrechnung.....	107
4.6	Listendarstellung Ergebnisse.....	108
4.7	Verweilzeit	114
5	Zusammenfassung und Ausblick.....	115
6	Abkürzungsverzeichnis	III
7	Literaturverzeichnis.....	VI
Anhang	A-1
A1	Generierung der Ersatzgeometrien für Wappen und Tropfen auf Basis des hydraulischen Durchmessers für den TroWap	A-2
A2	VBA Programm [www03].....	A-8
A3	Quellcode der weiterentwickelten GEB	A-13
A3.1	Quellcode - Berechnung einer realen Düse mit PET (Version 8.1.).....	A-13
A3.2	Quellcode - Berechnung mit niedrigviskoser äußeren Schichten (Version 9.1.).... A-30