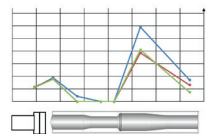
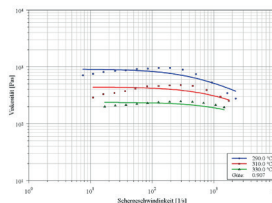
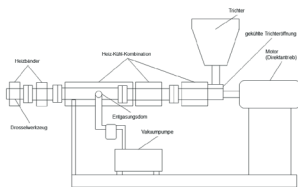


High-Speed-Extrusion amorpher Polymere am Beispiel von Polycarbonat (PC) und Polymethylmethacrylat (PMMA)

Max Pohl

**Band
2019/41**



*High-Speed-Extrusion amorpher Polymere am Beispiel von Polycarbonat (PC) und
Polymethylmethacrylat (PMMA)*

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

vorgelegte
DISSERTATION

von
Herrn Max Pohl
aus Gütersloh

Tag des Kolloquiums: 30.09.2019
Referent: Prof. Dr.-Ing. habil. Volker Schöppner
Korreferent: Prof. Dr.-Ing. Elmar Moritzer

Schriftenreihe Institut für Leichtbau mit Hybridsystemen

Band 41/2019

Max Pohl

**High-Speed-Extrusion amorpher Polymere
am Beispiel von Polycarbonat (PC) und
Polymethylmethacrylat (PMMA)**

D 466 (Diss. Universität Paderborn)

Shaker Verlag
Düren 2019

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., 2019

Copyright Shaker Verlag 2019

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-7038-5

ISSN 2196-2200

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren

Telefon: 02421 / 99 0 11 - 0 • Telefax: 02421 / 99 0 11 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Kunststofftechnik Paderborn (KTP) der Universität Paderborn in den Jahren 2014 bis 2019.

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.

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

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 studentischen Hilfskräften, die mich während dieser Zeit tatkräftig unterstützt haben.

Die Untersuchungsreihen wurden zum Teil mit Materialspenden der Firmen Covestro AG und Evonik Industries AG durchgeführt, wofür ich mich auf diesem Wege nochmals ausdrücklich bedanken möchte.

Abschließend möchte ich Jasmin und meiner Familie für die stetige Unterstützung während der Erstellung der Arbeit danken.

Max Pohl

Verl, im Oktober 2019

Kurzfassung

Die Steigerung der Wirtschaftlichkeit von Extrusionsanlagen in der Kunststoffverarbeitung ist seit vielen Jahren ein prägnantes Thema in der Forschung. In dieser Dissertation werden die Möglichkeiten einer Verarbeitung von amorphen Thermoplaste mit hohen Drehzahlen zur Steigerung des Durchsatzes analysiert. Die Auswertungen der Versuchsreihen einer Technikumsanlage zeigen wichtige Einflussparameter sowie Handlungsempfehlungen für die Extrusion dieser Polymertypen auf. Neben Anpassung an der Schneckengeometrie, den Zylinderbeschaffenheiten sowie der externen thermischen Regelung des Extruders wurde das Fließverhalten des Polymers genauer analysiert. Hierbei ist für diese Art der Verarbeitung besonders das strukturviskose Verhalten von Polymerschmelze interessant, welches durch Materialmischungen auf die Anforderungen der High-Speed-Extrusion abgestimmt werden kann. Durch diese Methodik ist es möglich, ein nicht für hohe Drehzahlen geeignetes Polycarbonat auf einem Schnellläufer mit entsprechend großen Durchsätzen zu extrudieren. Neben den experimentellen Untersuchungen wurden Modellierungen für die Leistungsberechnung eines Extruders, die Spannungsanalyse der Extruderschnecke sowie die Skalierung von Entgasungszonen auf verschiedenen Anlagengrößen entwickelt. Diese Modelle können allgemein bei der Auslegung von Einschneckenextrudern eingesetzt werden. Des Weiteren wird eine Studie zum Festigkeitsverhalten von Schneckenstählen bei Raumtemperatur bzw. bei Betriebstemperatur auf einer Prüfanlage für Tordierung vorgestellt.

Abstract

Increasing the efficiency of extrusion lines in plastics processing has been an important research topic for many years. This dissertation analyses the possibilities of processing amorphous thermoplastics at high speeds to increase throughput. The evaluations of the test series of a pilot plant show important influencing parameters as well as recommendations for the extrusion of these polymer types. In addition to adaptation to the screw geometry, the barrel properties and the external thermal control of the extruder, the flow behavior of the polymer was analyzed in more detail. Of particular interest for this type of processing is the structurally viscous behavior of polymer melt, which can be adjusted to the requirements of high-speed extrusion by using material mixtures. This method makes it possible to extrude a polycarbonate that is not suitable for high speeds on a high-speed extruder with correspondingly high throughputs. In addition to the experimental investigations, models were developed for the performance calculation of an extruder, the stress analysis of the extruder screw and the scaling of degassing zones on different line sizes. These models can generally be used for the design of single-screw extruders. In addition, a study on the strength behaviour of screw steels at room temperature or at operating temperature is presented on a testing plant for torsion.

Liste der Veröffentlichungen

Jahr 2019

- Schöppner, V.; *Extrusion mit hoher Schneckendrehzahl mit Polycarbonat (HSEPC)*.
Zeitschrift Kunststofftechnik - WAK, Carl Hanser Verlag, 2019
- Pohl, M.:

Jahr 2017

- Schöppner, V.; *High Speed Extrusion of Modified Polycarbonate*. 33rd International
Conference of the Polymer Processing Society (PPS), Cancún
(Mexiko), 2017
- Pohl, M.:

Jahr 2016

- Schöppner, V.; *First Insight into the High Speed Extrusion of Polycarbonate*. 32nd
International Conference of the Polymer Processing Society (PPS),
Lyon (Frankreich), 2016
- Pohl, M.:

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	1
1 Einleitung.....	3
2 Extrusion.....	6
2.1 Stand der Technik	6
2.2 Anforderungen an die drei Schneckenzone eines HSEs	17
3 High-Speed-Extrusion amorpher Polymere	25
3.1 Anwendungsbereiche & allgemeine Materialeigenschaften.....	25
3.2 Experimentelle Untersuchungen.....	28
3.2.1 Experimenteller Aufbau.....	29
3.2.2 Polycarbonat	35
3.2.3 Polycarbonat Blend.....	43
3.2.4 Polymethylmethacrylat.....	48
3.3 Handlungsempfehlungen	63
4 Modelle für die Auslegung von Einschneckenextrudern	66
4.1 Simulationssoftware REX/PSI.....	66
4.2 Modellierung der Antriebsleistung.....	68
4.2.1 Entwicklung der Berechnungsroutine	71
4.2.2 Validierung.....	74
4.3 Spannungsanalyse von Extruderschnecken	77
4.3.1 Analytische Modellierung	77
4.3.2 Validierung.....	81
4.3.3 Einfluss der Stegradien auf die Festigkeit	83
4.3.4 Schneckenfestigkeit bei erhöhten Temperaturen.....	84
4.4 Scale-Up Entgasungszonen.....	90
5 Zusammenfassung & Ausblick	97
6 Literaturverzeichnis.....	100
7 Abkürzungsverzeichnis	105
7.1 Römische Symbole.....	105
7.2 Griechische Symbole.....	108

Anhang	109
A1 High-Speed-Extrusion PC und PMMA	110
A1.1 Verwendete Schnecken	110
A1.1 Experimentelle Daten PMMA (Evonik Plexiglas 7H)	112
A2 Materialdaten	114
A2.1 Sabic Lexan 103R	114
A2.2 Evonik Plexiglas 7H	114
A3 Versuchsaufbau	116
A3.1 Drosselwerkzeug	116
A3.2 Probenpresse	118
A3.3 Oberflächenrauheit Zylinder	120
A4 Schneckentorsionsversuche	121
A4.1 Schnecke I	121
A4.2 Schnecke II	123
A4.3 Ergebnisse Schnecke I & II	124
A4.4 Einspannvorrichtung	124
A5 Leistungsberechnung	127
A5.1 Barrierschnecke 30 mm	127
A5.2 Messwerte und Simulationsergebnisse Leistungsberechnung	127
Lebenslauf	130