Beitrag zur Entwicklung des Spritzgießsonderverfahrens „GITBlow“

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

genehmigte
DISSERTATION

von
MARTIN SCHÄFERS
aus Paderborn

Tag des Kolloquiums: 21.10.2009
Referent: Prof. em. Dr.-Ing. Helmut Potente
Koreferent: Prof. Dr.-Ing. Elmar Moritzer

Polymerforschung in Paderborn

Band 26

Martin Schäfers

Beitrag zur Entwicklung des Spritzgießsonderverfahrens „GITBlow“

D 466 (Diss. Universität Paderborn)

Shaker Verlag
Aachen 2009

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., 2009

Copyright Shaker Verlag 2009
Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-8666-8
ISSN 1618-5005

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 Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Kunststofftechnik der Universität Paderborn in den Jahren 2004 bis 2008, die Fertigstellung im Sommer 2009 während meiner Tätigkeit als Oberingenieur ebenda.

Mein Dank gilt Herrn Prof. em. Dr.-Ing. Helmut Potente, dem ehemaligen Leiter des Instituts, für die Chance, unter seiner Anleitung zu promovieren. Für die Übernahme des Koreferates danke ich Herrn Prof. Dr.-Ing. Elmar Moritzer.

Weiterhin möchte ich mich bei allen aktuellen und ehemaligen Institutsmitarbeitern für das sehr gute Arbeitsklima bedanken, das sicherlich dazu beigetragen hat, dass diese Arbeit entstanden ist. Auch meinen studentischen Hilfskräften und den Studienarbeitern (siehe Literaturverzeichnis) sei herzlich gedankt.

Die Arbeit fasst große Teile des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Projektes „Innovative Kombination von Spritzgießtechnologien zur ressourcenschonenden Herstellung von komplexen, dünnwandigen Kunststoffformteilen“ zusammen. Dabei handelt es sich um ein Gemeinschaftsforschungsprojekt in Kooperation mit der Firma 3 Pi Consulting & Management GmbH aus Paderborn. Den Mitarbeitern dieses Unternehmens, allen voran Dr.-Ing. Helmut Ridder, danke ich herzlichst für die sehr gute Zusammenarbeit.

In Kapitel 4 wird die verwendete Maschinentechnik näher beschrieben. Diese Maschinentechnik wurde von der Firma Phoenix Contact GmbH & Co. KG aus Blomberg zur Verfügung gestellt und an den Prozess angepasst. Für die Maschine und die hervorragende Zusammenarbeit möchte ich mich bei dem Unternehmen und besonders bei den Herren Ferdinand Hasse, Friedrich Capelle und Axel Simonsmeier bedanken.

Zuletzt bedanke ich mich bei meiner Frau Janina, die mich immer wieder motiviert hat, dieses Buch fertig zu stellen, und bei meiner Tochter Luisa, die meine Abwesenheit an vielen eigentlich arbeitsfreien Tagen mit viel Verständnis (soviel, wie man von einer Zweijährigen erwarten kann) erduldet hat.

Inhaltsverzeichnis

1 EINLEITUNG 1

2 GITBLOW-KURZBESCHREIBUNG, ZIELSETZUNG, STAND DER TECHNIK 3

2.1 GITBlow-Kurzbeschreibung 3
2.1.1 Direct GITBlow 3
2.1.2 Two-Stage-GITBlow 4

2.2 Mögliche Anwendungen 4

2.3 Zielsetzung 7

2.4 Stand der Technik 8
2.4.1 Gasinjektionstechnik 10
2.4.2 Blasformen 16

2.5 Grundlagen zu Berechnung instationärer Wärmeleitvorgänge 19

2.6 Umformtemperaturen 24

3 GRUNDLAGEN ZUM GITBLOW-PROZESS 27

3.1 Direct GITBlow 27

3.2 Two-Stage-GITBlow 29

4 ANLAGENTECHNIK 32

5 DIRECT GITBLOW 35

5.1 Bauteilauslegung 35

5.2 Werkzeugauslegung 37

5.3 Analyse des Prozesses 39
5.3.1 Preform 41
5.3.2 Thermischer Haushalt 43
5.3.3 Fertigteil 48

6 TWO-STAGE-GITBLOW 52

6.1 Auslegung des Prototypenbauteils 52

6.2 Werkzeugauslegung 61

6.3 Analyse des Prozesses 63

6.3.1 Untersuchung der Preformherstellung 65

6.3.2 Aufblasen ohne Zwischenbeheizen 70

6.3.3 Thermischer Haushalt des Preforms 72

6.3.4 Grundlagen zur Aufheizung 76

6.3.5 Messung des Absorptionsverhaltens 79

6.3.6 Experimentelle Optimierung der Strahleranordnung 80

6.3.7 FDM-Betrachtung des Erwärmvorganges 84

6.3.8 Aufblasen 87

7 VERGLEICH DER VERFAHRENSVARIANTEN 90

8 ZUSAMMENFASSUNG 92

9 AUSBLICK 95

9.1 Direct GITBlow 95

9.2 Two-Stage-GITBlow 96

10 KURZFASSUNG/ ABSTRACT 99

11 LITERATURVERZEICHNIS 101

12 LISTE DER VORVERÖFFENTLICHUNGEN 106

13 LEBENSLAUF 107

14 ANHANG 108

Symbolverzeichnis

a_{eff}	[m²s^{-1}]	effektive Temperaturleitfähigkeit
a,b,c, α, γ	[mm, -]	Geometriegrößen
A_{char}	[mm²]	charakteristischer Querschnitt
A_{Gas}	[mm²]	Gasblasenquerschnitt
$A_{Gas,\ Grenz}$	[mm²]	Grenzgasblasenquerschnitt
$A_{Kreisbogen}$	[mm²]	Kreisbogenfläche
A_{PF}	[mm²]	Preformquerschnittsfläche
b	[Ws^{0,5}m^{-2}K^{-1}]	Wärmeeindringzahl
c	[Jg^{-1}K^{-1}]	Wärmekapazität
ΔP	[W]	Leistungsdifferenz
Δs_{Kern}	[mm]	Kernweg
Δt	[s]	Zeitdifferenz
Δx	[mm]	Schichtdicke FDM
h	[mm]	Millimeter
k	[-]	Zeitindex FDM
n	[-]	Ortsindex FDM
p_{Gas}	[bar]	Gasdruck
$\dot{q}$	[Wm^{-2}]	Wärmestromdichte
r, a, t	[-]	Refl.-, Abs.- und Transm.-koeffizient
r_a	[mm]	Außenradius
r_i	[mm]	Innenradius
r_m	[mm]	mittlerer Radius
s	[mm]	Wanddicke
$s_{klein,x}$	[mm]	Wanddicke im Preformsegment
$s_{Fuß_Fertigteil}$	[mm]	Fußbreite des Fertigteils
$s_{Fuß_Preform}$	[mm]	Fußbreite des Preforms

t_H	[s]	Gashaltezeit
$t_{Kernziehen}$	[s]	Zeit der Kernbewegung
t_V	[s]	Verzögerungszeit
T	[°C]	Temperatur
T_{Fl}	[°C]	Fluidtemperatur
T_K	[°C]	Kontakttemperatur
T_M	[°C]	Massetemperatur
$T_{MAT,Min}$	[°C]	materialspezifische minimale Umformtemperatur
T_S	[°C]	Schmelzetemperatur
T_{Str}	[°C]	Strahlertemperatur
T_W	[°C]	Wandtemperatur
x, y, z	[mm]	Ortskoordinaten
α	[$Wm^{-2}K^{-1}$]	Wärmeübergangskoeffizient
ε	[-]	Emissionsgrad
λ	[$Wm^{-1}K^{-1}$]	Wärmeleitfähigkeit
Φ	[$Js^{-1}m^{-3}$]	Quellstärke
ρ	[kgm^{-3}]	Dichte
σ	[$Wm^{-2}K^{-4}$]	Stefan-Boltzmann-Konstante