

Kontaktkühlung in der Blasfolienextrusion

Contact Cooling in Blown Film Extrusion

Von der Fakultät für Maschinenwesen der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule
Aachen zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Ingenieur-
wissenschaften genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Marco Hennigs

Berichter: Universitätsprofessor Dr.-Ing. Christian Hopmann
 Universitätsprofessor Dr.-Ing. Volker Schöppner

Tag der mündlichen Prüfung: 04. September 2018

1	EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG	1
2	STAND DER TECHNIK	5
2.1	Verfahren der Folienextrusion	5
2.2	Einfluss der Prozessführung auf die Folieneigenschaften.....	6
2.2.1	Einfluss von Molekülorientierungen auf die mechanischen Folieneigenschaften	7
2.2.2	Einfluss der kristallinen Struktur von Thermoplasten auf die Folieneigenschaften	9
2.2.3	Entstehung optischer Folieneigenschaften.....	10
2.2.4	Ausbildung des Foliendickenprofils.....	12
2.3	Kühlverfahren der Blasfolienextrusion	14
2.3.1	Luftkühlverfahren.....	15
2.3.1.1	Außenkühlung durch Kühlringe	15
2.3.1.2	Blasen-Innenkühlungen	16
2.3.2	Berechnung der Folienblasenkühlung	17
2.3.3	Kühlverfahren mittels Wasser	20
2.3.3.1	Wassergekühlte Blasfolie	20
2.3.3.2	Double-Bubble und Triple-Bubble Verfahren.....	21
3	KONZEPT DER KONTAKTKÜHLUNG FÜR DIE BLASFOLIENEXTRUSION	22
3.1	Prozesstechnische Randbedingungen zur Auslegung einer Kontaktkühlung.....	23
3.1.1	Geometrischer Aufbau einer Kontaktkühlhülse.....	23
3.1.2	Theoretische Überlegungen zu den vorliegenden Abkühlbedingungen	24
3.2	Konstruktiver Aufbau einer Kontaktkühlung mittels Kühlhülse	27
3.2.1	Modularer Aufbau der Kühlhülse	27
3.2.2	Beschichtung der Kontaktkühlfläche.....	29
3.2.3	Positionierung der Kontaktkühlhülse in der Blasfolienanlage.....	30
4	SIMULATION DER FOLIENKÜHLUNG DURCH EINE KÜHLHÜLSE	32
4.1	Simulationsprogramm Sheet CoolAix	32
4.2	Modellierung der Kontaktkühlung.....	32
4.3	Kalibrierung und Validierung des Kühlmodells	33
4.4	Simulative Auslegung eines Blasfolienprozesses mit Kontaktkühlung.....	39
4.5	Zwischenfazit zur Simulation der Kontaktkühlung.....	46
5	EINSATZ EINER KONTAKTKÜHLUNG BEI DER BLASFOLIENEXTRUSION	48
5.1	Versuchsumgebung und Versuchsplanung.....	48
5.1.1	Verwendete Anlagentechnik und Rohstoffe	48
5.1.2	Verwendete Analysemethoden	49
5.2	Einfluss der Kontaktkühlung auf die Stabilität des Blasfolienprozesses.....	50
5.3	Einfluss der Kontaktkühlung auf den Massedurchsatz	55
5.3.1	Definition von Referenzprozessen.....	55
5.3.2	Haupteffekte von Prozessparametern auf den Massedurchsatz	56
5.3.3	Erzielbare Massedurchsatzsteigerung durch Einsatz einer Kontaktkühlung	59
5.3.3.1	Einfluss der Masse- und der Kühlhülsentemperatur auf den Massedurchsatz.....	61

5.3.3.2	Einfluss der Frostlinienhöhe auf den Massedurchsatz.....	66
5.3.3.3	Einfluss der Foliendicke auf den Massedurchsatz.....	68
5.3.3.4	Einfluss von Kühllüslenhöhe und Aufblasverhältnis auf den Massedurchsatz.....	70
5.3.4	Einfluss der Prozessparameter auf die Kühlleistung der Kontaktkühlung.....	73
5.3.5	Identifikation vorteilhafter Prozesseinstellungen für den Massedurchsatz.....	76
5.3.6	Zwischenfazit zum Einfluss der Kontaktkühlung auf den Massedurchsatz.....	78
5.4	Einfluss der Kontaktkühlung auf die Folieneigenschaften	78
5.4.1	Einfluss der Kontaktkühlung auf die mechanischen Folieneigenschaften.....	79
5.4.1.1	Einfluss der Kontaktkühlung auf den E-Modul.....	79
5.4.1.2	Einfluss der Kontaktkühlung auf die Reißdehnung und Reißspannung	81
5.4.1.3	Einfluss der Kontaktkühlung auf den Folienschumpf.....	86
5.4.2	Einfluss der Kontaktkühlung auf die optischen Folieneigenschaften	88
5.4.2.1	Einfluss der Kontaktkühlung auf die Gesamttransmission.....	89
5.4.2.2	Einfluss der Kontaktkühlung auf die Trübung	89
5.4.3	Zwischenfazit zum Einfluss der Kontaktkühlung auf die Folieneigenschaften.....	92
5.5	Einsatz einer Kontaktkühlung bei der Blasfolienextrusion von Polypropylen	93
5.5.1	Einfluss der Kontaktkühlung auf die Prozessstabilität	94
5.5.2	Einfluss der Kontaktkühlung auf den Massedurchsatz.....	94
5.5.3	Einfluss der Kontaktkühlung auf die optischen Folieneigenschaften	97
5.5.4	Zwischenfazit zum Einsatz der Kontaktkühlung bei Polypropylen.....	99
6	FAZIT UND AUSBLICK	101
6.1	Fazit.....	101
6.2	Ausblick.....	103
7	ZUSAMMENFASSUNG UND SUMMARY	105
7.1	Zusammenfassung.....	105
7.2	Summary.....	107
8	ABKÜRZUNGEN, FORMELZEICHEN, INDIZES.....	109
8.1	Abkürzungen.....	109
8.2	Formelzeichen.....	110
8.3	Indizes.....	111
9	LITERATUR.....	113
10	ANHANG.....	121
10.1	Versuchspläne.....	121