

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Stand der Forschung	3
2.1	Faser-Thermoplast-Verbunde	3
2.1.1	Einteilung der FTV	3
2.1.2	Kennwerte von FTV	5
2.1.3	Herstellung von FTV-Rohrhalbzeugen	10
2.2	Formung von FTV	13
2.2.1	Formprozesse	13
2.2.2	Werkzeuge	17
2.2.3	Formmechanismen und deren Charakterisierung	19
2.2.4	Formsimulation von FTV	22
2.3	Wärmeübertragung in FTV	24
2.3.1	Berechnungsansätze für FTV	26
2.4	Rotationszugbiegen	29
3	Motivation, Zielsetzung und Vorgehensweise	33
4	Prozessentwicklung und Grundlagenuntersuchungen	37
4.1	Einflussgrößen des Formprozesses	37
4.2	Grundlagenuntersuchungen	38
4.2.1	Thermische Kennwerte	38
4.2.2	Mechanische Kennwerte	42
4.3	Erwärmen	45
4.3.1	Thermische Simulation	47
4.4	Einformen, Rekonsolidieren und Entnahme	51
5	Biegeversuche	55
5.1	Halbzeuge	55
5.1.1	Tapehalbzeug	55
5.1.2	Rohrhalbzeuge	57
5.2	Versuchsaufbau	60
5.2.1	Rotationszugbiegemaschine RBV 35	60
5.2.2	Erwärmung und Abkühlung	61
5.2.3	Werkzeugkonzept	63
5.2.4	Messtechnik	66

5.3	Versuchdurchführung	67
6	Formverhalten von CFRTP-Rohren	69
6.1	Formmechanismen beim Biegen von CFRTP-Rohren	69
6.1.1	Innerlagenschерung (Intraply Slip/Shearing)	69
6.1.2	Zwischenlagengleiten (Interply Slip)	70
6.1.3	Transversales Matrixfließen (Squeezing Flow)	73
6.1.4	Matrixperkolation (Matrix Percolation)	74
6.2	Geometrische und mikroskopische Analyse der Biegeproben	75
6.2.1	3D-Koordinatenmesssystem	75
6.2.2	Visuelle Analyse der Probenoberfläche	76
6.2.3	Biegewinkel	78
6.2.4	Krümmung und Biegeradius	82
6.2.5	Mikroskopie	89
6.2.6	Veränderung von Querschnittgeometrie, Wanddicke und Matrix- verteilung beim Biegen	90
6.2.7	Fazit der geometrischen und mikroskopischen Analyse	96
6.3	Faserorientierung im umgeformten Rohr	97
6.3.1	Optisches Faserorientierungs-Messsystem	97
6.3.2	Faserorientierung am Außenbogen aus optischer Vermessung	98
6.3.3	Faserorientierung aus taktiler Vermessung	104
6.3.4	Fazit aus der Analyse der Faserorientierung	108
7	Modell zur Beschreibung der Faserverlagerung	111
7.1	Theoretischer Ansatz zur Beschreibung	111
7.2	Geometrische Beschreibung der Faserverlagerung	114
7.3	Validierung des Modells	120
7.4	Fazit der Validierung	128
8	Zusammenfassung und Ausblick	131
	Quellenverzeichnis	135
A	Anhang	155
A.1	Daten zur thermischen Simulation	155
A.2	Ergebnisse der IR-Spektroskopie	157
A.3	Ergebnisse Modell Faserwinkel	158
A.4	Querschliffe der Biegeproben	162