

Inhaltsverzeichnis

	Formelzeichen und Abkürzungen	VIII
1.	Einleitung	1
2.	Stand der Erkenntnisse	6
2.1	Halbzeugformen	6
2.2	Fertigungsverfahren für faserverstärkte Thermoplaste	7
2.2.1	Sheet-Forming-Verfahren	9
2.2.1.1	Pressen	9
2.2.1.2	Rollformen	10
2.2.1.3	Thermofalten	10
2.2.2	Prepreg-Verarbeitungsverfahren	11
2.2.2.1	Diaphragma-Verfahren	11
2.2.2.2	Pultrusion	12
2.2.2.3	Autoklavkonsolidierung	13
2.2.2.4	Tape-Legen	13
2.2.2.5	Wickelverfahren	15
2.3	Wickeln faserverstärkter Thermoplaste	15
2.3.1	Halbzeugauswahl	16
2.3.2	Aufheizmethoden	17
2.3.2.1	Konsolidierung durch offene Flamme	19
2.3.2.2	Einsatz von Heißgas	20
2.3.2.3	Erwärmung durch infrarote Strahlung	22
2.3.2.4	Aufheizung mittels Laserstrahlung	23
2.3.3	Bewertung der Aufheizmethoden	25
3.	Aufgabenstellung und Zielsetzung	27
4.	Fertigungszentrum für das Wickeln mit Laserstrahlerwärmung	30
4.1	Portalroboter zum Wickeln	30
4.2	Auswahl der Laserstrahlquelle	31
4.3	Laserintegration	34
4.4	Steuerungstechnische Kopplung	36

5.	Energieeinkopplung in das Material	40
5.1	Mathematische Beschreibung des Temperaturfeldes	40
5.1.1	Herleitung der Energieerhaltungsgleichung	41
5.1.2	Annahmen und Vereinfachungen	43
5.1.3	Anfangs- und Randbedingungen	44
5.1.3.1	Bereich I	45
5.1.3.2	Bereich II	46
5.1.4	Lösungsansatz	46
5.1.4.1	Bereich I	47
5.1.4.2	Bereich II	48
5.2	Numerische Berechnung des Temperaturfeldes	50
5.2.1	Simulationsmodell auf Basis der Finite-Differenzen-Methode	51
5.2.2	Ergebnisse der Simulationsrechnungen	52
5.2.3	Einflußgrößen auf das Simulationsmodell	53
5.2.3.1	Einfluß der Laserleistung	54
5.2.3.2	Einfluß der Abzugsgeschwindigkeit	55
5.2.3.3	Einfluß der Intensitätsverteilung	55
5.2.3.4	Einfluß der thermischen Stoffwerte	57
5.2.3.5	Einfluß des Absorptionsgrades	58
5.2.3.6	Einfluß der Eindringtiefe	59
5.2.3.7	Einfluß des Wärmeübergangskoeffizienten	59
5.3	Überprüfung der Simulationsergebnisse	61
5.3.1	Versuchsaufbau zur Temperaturmessung	61
5.3.2	Abschätzung des Meßfehlers	62
5.3.3	Gegenüberstellung der Ergebnisse	63
5.3.3.1	Einfluß der Laserleistung	64
5.3.3.2	Einfluß der Brennfleckgeometrie	66
6.	Beschreibung der Wickelparameter	68
6.1	Werkstoffverhalten bei Laserstrahlung	68
6.2	Versuchsaufbau	69
6.3	Versuchsdurchführung	71
6.4	Versuchsauswertung	72
6.5	Versuchsergebnisse	75
6.5.1	Verarbeitung von C-Faser/PEEK	76
6.5.2	Verarbeitung von G-Faser/PP	81
6.5.2.1	Tape ohne Farbzusätze	81
6.5.2.2	Tape mit Farbzusätzen	83

7.	Entwicklung einer Prozeßregelung	85
7.1	Beschreibung der meßtechnischen Einrichtungen	85
7.2	Reglerauswahl	87
7.2.1	Anforderungen an den Regler seitens der Prozeßdynamik	89
7.2.2	Bewertung konventioneller Regler	90
7.2.3	Erweiterter Ansatz der Verknüpfung konventioneller Regler	92
7.3	Vorstellung des realisierten Regelalgorithmus	93
7.3.1	Regelstrategie	93
7.3.2	Kennlinienmodifikation	95
7.3.2.1	Kennlinienadaption	96
7.3.2.2	Entscheidungsstufe	99
7.4	Praktischer Einsatz der Prozeßregelung	101
7.4.1	Simulationsbetrieb	103
7.4.2	Verarbeitung von APC-2	104
7.4.3	Verarbeitung von Glasfaser/Polypropylen	107
7.5	Steuerung des Wickelprozesses	108
8.	Erweiterung der Wickeltechnik um das Fiber-Placement-Verfahren	111
8.1	Funktionsbeschreibung des Fiber-Placement-Verfahrens	112
8.2	Prototyp eines Ablegekopfes	114
8.2.1	Restriktionen an Größe und Gewicht	115
8.2.2	Tapeeinlauf und Umlenkung	116
8.2.3	Fördermechanismus	116
8.2.4	Schneideinheit	117
8.2.5	Andruckeinheit	119
8.2.6	Aufnahme der Laseroptik	120
8.3	Programmierung	121
8.4	Anwendungsbeispiele	124
9.	Zusammenfassung	128
10.	Literaturverzeichnis	131