

Dipl.-Ing. Veronika Kerbiriou, Plaisir

# **Imprägnieren und Pultrusion von thermoplastischen Verbundprofilen**

Reihe **5**: Grund- und Werkstoffe

Nr. **496**

# IMPRÄGNIEREN UND PULTRUSION VON THERMOPLASTISCHEN VERBUNDPROFILEN

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG</b>	<b>1</b>
	1.1 Einsatz, Verarbeitung und Eigenschaften thermoplastischer Verbundwerkstoffe	1
	1.2 Imprägnierung und Konsolidierung	4
	1.3 Bedeutung der Thermoplast-Pultrusion	8
	1.4 Ziel der Arbeit	9
<b>2</b>	<b>VERWENDETE WERKSTOFFE</b>	<b>12</b>
	2.1 Halbzeugformen	12
	2.1.1 Pulverimprägnierte, umhüllte Faserbündel (FIT-Material)	12
	2.1.2 Mischgarn	14
	2.2 Charakteristische Merkmale	18
	2.2.1 Viskosität der Matrices	18
	2.2.1.1 Viskositätsverlauf von Polypropylen, PP	18
	2.2.1.2 Viskositätsverlauf von Polybutylenterephthalat, PBT	19
	2.2.2 Globaler Glasanteil	21
	2.2.3 Berechnung der Anfangsporosität	21
	2.2.4 Benetzungseigenschaften der Glasfasern	22
	2.2.5 Anteil der Matrix in Form von Pulver und Hülle im FIT-Material	23
	2.2.6 Größe der Glasfaseragglomerationen	24
	2.2.7 Lokaler Faservolumenanteil	26
	2.2.8 Größenverteilung der Agglomerationen	30
<b>3</b>	<b>IMPRÄGNIERVORGÄNGE BEIM HEIZPRESSEN</b>	<b>33</b>
	3.1 Einführung und Aufgabenstellung	33
	3.2 Grundlagen	34
	3.2.1 Imprägniermechanismen	34
	3.2.1.1 Grundlagen der Imprägnierung	34
	3.2.1.2 Kreismodell	39
	3.2.1.3 Rechteckmodell	42
	3.2.1.4 Rechteckmodell mit Verteilung der Agglomerationsgröße	47
	3.2.2 Imprägnierrelevante Werkstoffeigenschaften	48
	3.2.3 Verarbeitungsfenster	50

<b>3.3</b>	<b>Experimentelle Methoden</b>	<b>52</b>
3.3.1	Herstellung der Laminatplatten	52
3.3.2	Festlegung der Imprägnierzeit	53
3.3.3	Prüfung der Proben	54
3.3.3.1	Druckabhängiger lokaler Faservolumenanteil	54
3.3.3.2	Dichte und Porenanteil	54
3.3.3.3	0° und 90° 3-Punkt-Biegeprüfung	55
3.3.3.4	Interlaminare Scherfestigkeit	55
3.3.3.5	Fraktographie und Schliffbilder	56
<b>3.4</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>57</b>
3.4.1	Einfluß der Materialparameter auf die Probeneigenschaften	57
3.4.1.1	Größe der Glasfaseragglomerationen	57
3.4.1.2	Glasfaseroberflächenbehandlung	63
3.4.2	Einfluß der Prozeßparameter auf die Probeneigenschaften	65
3.4.2.1	Konsolierungstemperatur	65
3.4.2.2	Konsolidierungsdruck	67
3.4.2.3	Konsolidierungszeit	70
3.4.2.4	Abkühldruck	71
<b>3.5</b>	<b>Diskussion der Imprägnieruntersuchungen</b>	<b>73</b>
3.5.1	Einfluß der Material- und Prozeßparameter auf die Probeneigenschaften	73
3.5.2	Berechnung der optimalen Imprägnierbedingungen	76
3.5.2.1	Permeabilitätskonstante	76
3.5.2.2	Prozeßfenster	79
3.5.3	Vergleich der mathematischen Modelle	83
3.5.4	Vergleich der Materialformen	84
<b>4</b>	<b>PULTRUSION</b>	<b>85</b>
<b>4.1</b>	<b>Einführung und Aufgabenstellung</b>	<b>85</b>
<b>4.2</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>89</b>
4.2.1	Imprägniervorgänge bei der Pultrusion	89
4.2.2	Imprägnierrelevante Werkstoffeigenschaften	92
<b>4.3</b>	<b>Experimentelles</b>	<b>94</b>
4.3.1	Anlagenbeschreibung	94
4.3.1.1	Prozeßzonen	94
4.3.1.2	Prozeßparameter	97
4.3.2	Prozeßkontrolle	99
4.3.3	Prüfung der Pultrudate	102
<b>4.4</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>104</b>
4.4.1	Einfluß der Temperatur und Länge der Vorheizzone	104
4.4.2	Einfluß der Temperatur der beheizten Formdüse	106
4.4.3	Einfluß des Druckprofils in der Formdüse	106
4.4.4	Einfluß der Kühldüse	109
4.4.5	Einfluß der Pultrusionsgeschwindigkeit	110

<b>4.5</b>	<b>Diskussion der Pultrusionsuntersuchungen</b>	<b>115</b>
4.5.1	Einfluß der Prozeßparameter auf die Pultrudateigenschaften	115
4.5.2	Prozeßfenster	116
4.5.3	Modellbildung	117
4.5.3.1	Formdüse	118
4.5.3.2	Endporengehalt	120
4.5.4	Vergleich von Heizpressen und Pultrusion	125
<b>5</b>	<b>KOMPLEXERE PULTRUDATGEOMETRIEN</b>	<b>130</b>
<b>5.1</b>	<b>Variation des Profilquerschnittes und der Halbzeugformen</b>	<b>130</b>
5.1.1	Rundprofile	130
5.1.2	Hohlprofile mit UD-Faser- bzw. mit Gewebeverstärkung	132
<b>5.2</b>	<b>Online-Umformen von UD-Profilen</b>	<b>134</b>
5.2.1	Problematik der Umformung von Verbundwerkstoffen mit UD-Endlosfaserverstärkung	134
5.2.2	Umformeinrichtung	136
5.2.3	Umformversuche und Beurteilung der Qualität der Umformung	138
5.2.4	Diskussion	139
<b>6</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK</b>	<b>140</b>
<b>7</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>144</b>