

# Hochleistungs<sup>^</sup> faserverbundwerkstoffe

Herstellung und experimentelle  
Charakterisierung,

Von Leif A. Carlsson  
und R.Byron Pipes  
Universität Delaware

Aus dem Englischen übersetzt von  
Dipl.-Phys. Hans Wittich  
Technische Universität Hamburg-Harburg

Mit zahlreichen Abbildungen

B. G. Teubner Stuttgart 1989

# Inhaltsverzeichnis

«

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Theoretischer Hintergrund</b>	<b>11</b>
2.1	Anisotrope grundlegende Beziehungen	11
2.2	Lamianttheorie	17
2.3	St. Venant's Prinzip und Randeﬀekte in Verbunden	21
2.4	Bruchmechanische Konzepte	22
2.5	Festigkeit gekerbter Verbundlaminat	29
<b>3</b>	<b>Laminatherstellung</b>	<b>32</b>
3.1	Verarbeitung von Duroplast-Prepregs	32
3.2	Verarbeitung von Thermoplast-Prepregs	36
3.2.1	Schneiden und Schweißen der Schichten	36
3.2.2	Vorlaminierung des Stapels	38
3.2.3	Formenvorbereitung - Pressen in einem Rahmen	38
3.2.4	Pressen in einer zweiteiligen Form	39
3.2.5	Laminieren - Konsolidierungsprozeß	40
3.3	Mechanische Bearbeitung der Verbundlaminat	41
<b>4</b>	<b>Bestimmung des Faservolumengehalts</b>	<b>44</b>
4.1	Verfahren zum chemischen Lösen der Matrix	44
4.2	Mikrografisches Verfahren	47
<b>5</b>	<b>Zug- und Scherverhalten der Laminatschichten</b>	<b>51</b>
5.1	Aufkleben der Aufleimer und Probenvorbereitung	52
5.2	Aufkleben der Dehnungsmeßstreifen	54
5.3	Zugversuch	54
5.4	Auswertung	58

6	Inhaltsverzeichnis	
<b>6</b>	<b>Druckverhalten der Laminatschichten</b>	<b>60</b>
6.1	Druckversuch	68
6.2	Auswertung	69
<b>7</b>	<b>Biegeverhalten der Laminatschichten</b>	<b>72</b>
7.1	Probenvorbereitung und Biegeversuch	73
7.2	Auswertung	74
<b>8</b>	<b>Thermoelastisches Verhalten der Laminatschichten</b>	<b>78</b>
8.1	Temperaturmeßfühlersystem	78
8.2	Temperaturkompensation	80
8.3	Messung der thermischen Ausdehnung	82
8.4	Auswertung	82
<b>9</b>	<b>"Off-Axis"-Verhalten der Laminatschichten</b>	<b>85</b>
9.1	Scherkopplungsverhältnis und axialer Young'scher Modul	85
9.2	"Off-Axis"-Festigkeit	89
9.3	Messung des "Off-Axis"-Verhaltens	90
9.4	Auswertung	91
9.4.1	Berechnung des Scherkopplungsverhältnisses und axialen Moduls	91
9.4.2	Berechnung der "Off-Axis"-Festigkeit	93
<b>10</b>	<b>Zugverhalten von Laminaten</b>	<b>96</b>
10.1	Laminatfestigkeitsanalyse	98
10.2	Vorbereitung der Proben	100
10.3	Zugversuch	101
10.4	Auswertung	101
10.5	Analyse des Zugverhaltens	102

<b>11</b>	<b>Thermoelastisches Verhalten von Laminaten</b>	<b>105</b>
11.1	Vorbereitung der Proben und Messung der thermischen Ausdehnung	106
11.2	Auswertung	107
11.3	Analyse des thermoelastischen Verhaltens	108
<b>12</b>	<b>Festigkeit gekerbter Lamine</b>	<b>110</b>
12.1	Superposition der Festigkeit	114
12.2	Relative Kerbempfindlichkeit	116
12.3	Vorbereitung der Proben	117
12.4	Zugprüfung	118
12.5	Auswertung und Festigkeitsanalyse	119
<b>13</b>	<b>Charakterisierung des interlaminaren Bruchs</b>	<b>123</b>
13.1	Analyse "der DCB-Probe	123
13.1.1	Stabilität des RiBwachstums	126
13.1.2	DCB-Testdurchführung	127
13.1.3	DCB-Auswertung	127
13.2	Analyse der ENF-Probe	131
13.2.1	Stabilität des RiBwachstums	132
13.2.2	ENF-Testdurchführung	133
13.2.3	ENF-Auswertung	133
13.3	Analyse der CLS-Probe	136
13.3.1	Stabilität des RiBwachstums	137
13.3.2	CLS-Testdurchführung	138
13.3.3	CLS-Auswertung	139
13.3.4	Kommentar zur CLS-Probe	141
13.4	Analyse der Arcan-Probe	141
13.4.1	Arcan-Testdurchführung	144
13.4.2	Arcan-Auswertung	144
13.5	Analyse der EDT-Probe	146

8	Inhaltsverzeichnis	
	13.5.1	EDT-Durchführung • 148
	13.5.2	EDT-Auswertung 148
	13.6	Herstellung der Bruchmechanik-Proben 150
	13.7	Vorbereitung der Bruchmechanik-Proben 155
	13.7.1	DCB-Probenvorbereitung 155
	13.7.2	Arcan-Probenvorbereitung 157
	<b>Anhang A</b>	<b>159</b>
	<b>Anhang B</b>	<b>160</b>
	<b>Anhang C</b>	<b>162</b>
	<b>Anhang D</b>	<b>164</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>165</b>
	<b>Sachverzeichnis</b> •	<b>173</b>