

Dipl.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Markus Nolte,
Bonn

Entwicklung einer Gieß- und Infiltrationstechnik zur Fertigung von Aluminium- Bauteilen mit selektiver Faserverstärkung

Reihe **5**: Grund- und Werkstoffe

Nr. **498**

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	IX
1. Einleitung und Zielsetzung	1
2. Stand der Technik	9
2.1 Der Werkstoff 'langfaserverstärktes Aluminium'	9
2.1.1 Verstärkungsfasern	9
2.1.2 Aluminium-Matrix	11
2.1.3 Bruchmechanik und Versagensmechanismen	12
2.1.4 Eigenschaften	14
2.1.4.1 Analytische Modelle zur Vorhersage von Eigenschaften	14
2.1.4.2 Mechanisches Verhalten	15
2.2 Fertigungsverfahren für langfaserverstärkte Aluminium-Bauteile	19
2.2.1 Fertigungsbedingungen und Übersicht	19
2.2.2 Schmelzmetallurgische Fertigungsverfahren	19
2.2.2.1 Herstellung der Faservorformen	19
2.2.2.2 Gieß- und Infiltrationsverfahren	22
2.3 Anwendungen langfaserverstärkter Bauteile	25
3. Prozeßentwicklung	26
3.1 Verwendete Fasertypen	26
3.2 Darstellung der Fertigungsschritte	26
3.2.1 Wachsimprägnation und Faserwickeln	26
3.2.2 Wachsmo­dell-Herstellung	31
3.2.3 Aufbau druckfester keramischer Formen	32
3.2.4 Gasdruckinfiltration	34
3.2.4.1 Theoretische Grundlagen	34
3.2.4.2 Entwicklung einer Gieß- und Infiltrationstechnik	37
3.2.5 Nachbearbeitung und Wärmebehandlung	39
3.3 Untersuchung prozeßrelevanter Größen	39
3.3.1 Optimierung der Prozeßparameter	39
3.3.1.1 Max. Brenntemperatur der Formschalen	42
3.3.1.2 Prozeßtemperaturen der Infiltration	43
3.3.1.3 Infiltrationsdruck	49
3.3.2 Infiltrationsmechanismen	50
4. Die Rolle des Matrixsystems für den Aluminium-Verbundwerkstoff	52
4.1 Reines Aluminium	53
4.1.1 Benetzungs- und Infiltrationsverhalten	53
4.1.2 Grenzflächenausbildung	56
4.1.3 Matrixgefüge und Bruchmechanismus	56
4.1.2 Verbundwerkstoff- Eigenschaften	56
4.2 Binäre Matrixsysteme des Typs Al-X	60
4.2.1 Benetzungs- und Infiltrationsverhalten	63
4.2.2 Verbundwerkstoff-Eigenschaften	66
4.2.2.1 Zugfestigkeit	66
4.2.2.2 E-Modul und Bruchdehnung	68
4.2.3 Grenzflächenausbildung	68

4.2.4	Matrixgefüge und Bruchmechanismen	69
4.2.5	Zusammenhänge zwischen Werkstoffeigenschaften und Analyse- ergebnissen	71
4.3	Matrixsysteme des Typs Al-Zn-Mg	82
4.3.1	Die Legierungsklasse der Al-Zn-Mg-Legierungen (7000er-Serie)	82
4.3.2	Infiltrationstendenzen	84
4.3.3	Verbundwerkstoff-Eigenschaften	86
4.3.3.1	Zugfestigkeit	86
4.3.3.2	E-Modul und Bruchdehnung	95
4.3.3.3	Einfluß des Faservolumenanteils	96
4.3.4	Auswirkungen von Cu und Ag-Zusätzen	97
4.3.5	Wirkung von Kornfeinungsmitteln	99
4.4	Abschließende Bewertung	103
4.4.1	Eignung der Aluminium-Legierungen als Matrixwerkstoffe	103
4.4.2	Versagensmechanismen	104
5.	Methoden zur Charakterisierung sowie weitere Eigenschaften der Faser- Verbundwerkstoffe	107
5.1	Mechanische Prüfung	107
5.1.1	Messung von statischer Festigkeit und Elastizitätsmodul	107
5.1.1.1	Die anzuwendenden Prüfverfahren: Zug- und Biegeversuch	108
5.1.1.2	Einfluß der Prüfkörpergeometrie	114
5.1.1.3	Die Orthotropie der mechanischen Eigenschaften	120
5.1.1.4	Der zweiachsige Zugversuch	124
5.1.2	Der Kriechversuch	124
5.1.3	Die Ermüdungsprüfung	126
5.2	Weitere Untersuchungsmethoden	131
5.2.1	Messung der thermischen Ausdehnung	131
5.2.2	Die Korrosionsprüfung	133
5.2.3	Die zerstörungsfreie Werkstoffprüfung	135
5.3	Verbundwerkstoff-Recycling	137
6.	Wirtschaftlichkeitsüberlegungen und Einsatzmöglichkeiten	140
6.1	Kostenabschätzung für kontinuierlich faserverstärkte Al-Bauteile	140
6.1.1	Kalkulationsgrundlagen	141
6.1.2	Vorstellung zweier Fallbeispiele	143
6.1.2.1	Fallbeispiel 1: Komplexes Kleinserienteil	143
6.1.2.2	Fallbeispiel 2: Geometrisch einfaches Großserienteil	148
6.1.3	Bewertung der Kostenabschätzung	150
6.2	Potentielle Einsatzmöglichkeiten	154
6.2.1	Generelle Überlegungen	154
6.2.2	Einsatzmöglichkeiten in der Luftfahrt	155
6.2.3	Einsatzmöglichkeiten im Automobilbau	156
6.2.4	Sonstige Einsatzmöglichkeiten	158
6.3	Abschätzung des Marktpotentials	160
7.	Diskussion und Ausblick	161
8.	Literatur	168