

1	Einleitung	1
	Literatur.	3
2	Einordnung gebräuchlicher Trennverfahren zur Bearbeitung von Faserverbundkunststoffen	5
	Literatur.	8
3	CFK und artverwandte Faserverbundkunststoffe	9
3.1	Markt und industrielle Anwendungen	10
3.2	Aufbau und bearbeitungsrelevante Eigenschaften von CFK- und FVK-Werkstoffen und -Bauteilen	12
3.3	Beschreibung des Werkstoffverhaltens	19
3.3.1	Mechanisches Verhalten und Modellierung	19
3.3.2	Thermisches Verhalten und Modellierung	25
	Literatur.	25
4	Grundlagen und Modelle der spanenden Bearbeitung von CFK und artverwandter Faserverbundkunststoffe	27
4.1	Grundbegriffe in der spanenden Bearbeitung	27
4.2	Geometrische und kinematische Grundlagen der spanenden Bearbeitung orthotroper Faserverbundwerkstoffe	30
4.2.1	Definition orthogonaler Zerspanvorgänge	30
4.2.2	Spanende Bearbeitung im schrägen Schnitt: Eingriffsverhältnisse und Kinematik	31
4.2.3	Basissystem aus Schneideneingriff und Kinematik im schrägen Schnitt unidirektionaler Faserverbundkunststoffe ...	44
4.3	Grundlagen der spanenden Verfahren: Schneideneingriff und Kinematik	45
4.3.1	Eingriffsverhältnisse und Kinematik beim Umfangsfräsen und -schleifen mit Schaftwerkzeugen	45

4.3.2	Eingriffsverhältnisse und Kinematik beim Scheibenfräsen und Kreissägen sowie beim Schleifen mit Trennscheiben.	48
4.3.3	Eingriffsverhältnisse und Kinematik bei Bohr- und Schleifbohrverfahren	50
4.4	Technologische Grundlagen der spanenden Bearbeitung	54
4.4.1	Trennmechanismus im θ -Orthogonalschnitt	54
4.4.2	Spanpartikel und Emissionen.	57
4.4.3	Kräfte, Temperaturen und Leistungen im Zerspanprozess mit definierter Schneide	62
4.4.4	Grundlagen des Werkzeugverschleißes	80
4.4.5	Qualitätsmerkmale	91
4.5	Einordnung der trennenden Fertigungsverfahren mit undefinierten Schneiden: Wirkprinzipien und Verfahren	110
4.6	Grundlagen der Zerspanung mit undefinierter Schneide	110
4.6.1	Trennmechanismus	110
4.6.2	Kräfte, Energien, Leistungen und Temperaturen	112
4.6.3	Grundlagen des Werkzeugverschleißes	117
4.6.4	Grundlagen der Werkstückqualität.	119
4.7	Messverfahren	123
4.7.1	Verfahren zur Charakterisierung spanender Bearbeitungsprozesse und der erzeugten Bauteilqualität.	123
4.7.2	Beurteilung von Emissionen	129
	Literatur.	133
5	Technologien zur Zerspanung von CFK, artverwandter Faserverbundkunststoffe und hybrider Schichtverbunde	139
5.1	Zerspanbarkeit	140
5.1.1	Einflussgrößen auf die Zerspanbarkeit.	141
5.1.2	Einfluss auf Zerspankräfte, -energien und Temperaturen	143
5.1.3	Einfluss auf Werkzeugverschleiß und Schneidhaltigkeit	144
5.1.4	Einfluss auf entstehende Spanpartikel und Emissionen.	146
5.1.5	Einfluss auf die erreichbare Bauteilqualität	150
5.1.6	Zusammenfassende Beurteilung der Zerspanbarkeit	155
5.2	Schneidstoffe und Beschichtungen	158
5.2.1	Schneidstoffe	158
5.2.2	Beschichtungen	164
5.3	Fräsen.	169
5.3.1	Umfangsfräsen	169
5.3.2	Stirnfräsen	188
5.3.3	Sägen und Scheibenfräsen	192
5.4	Bohren mit axialer Vorschubbewegung	194
5.4.1	Prozesskenngößen.	194
5.4.2	Werkzeugverschleiß.	201

5.4.3	Bauteilqualität	202
5.4.4	Prozess- und Werkzeuggestaltung	219
5.5	Bohren hybrider Schichtverbunde und Werkstoffe	222
5.5.1	Zerspanbarkeit von Leichtmetalllegierungen.	223
5.5.2	Technologische Grundlagen zum Bohren von Leichtmetalllegierungen.	224
5.5.3	Wirkmechanismen beim Bohren hybrider Schichtverbunde und Werkstoffe	239
5.5.4	Werkzeug- und Prozessgestaltung zum Bohren in hybride Schichtverbunde	246
5.5.5	Orbitalbohren von CFK und hybriden Schichtverbunden	249
5.5.6	Schwingungsunterstütztes Bohren	258
	Literatur.	269
6	Technologien zur Zerspanung von CFK und artverwandter Faserverbundkunststoffe mit undefinierter Schneide	277
6.1	Übersicht der gebräuchlichen Schleiftechnologien	277
6.2	Werkzeug- und Prozessgestaltung zum Trennschleifen mit Schleifstiften	278
6.3	Werkzeug- und Prozessgestaltung zum Trennschleifen mit Schleifscheiben	281
6.3.1	Trennschleifen mit geraden Schleifscheiben	281
6.3.2	Gekurvtes Trennschleifen gekrümmter Bauteilkonturen	284
	Literatur.	287
7	Zusatzeinrichtungen zur Zerspanung von CFK, artverwandter Faserverbundkunststoffe und hybrider Schichtverbunde	289
7.1	Kühlschmiertechnologien und -medien	289
7.2	Arbeits- und Anlagenschutz in der spanenden Bearbeitung	296
7.3	Grundlagen und Systeme zur Entstaubung	297
	Literatur.	303
8	Grundlagen und Modelle der Hochdruck-Wasserstrahl- und Hochdruck-Abrasivwasserstrahlbearbeitung von CFK und artverwandter Faserverbundkunststoffe	305
8.1	Hochdruck-Wasserstrahl und Hochdruck-Abrasivwasserstrahl: Erzeugung und Charakterisierung	305
8.1.1	Hochdruck-Wasserstrahl: Erzeugung und Charakterisierung.	306
8.1.2	Hochdruck-Abrasivwasserstrahl: Erzeugung nach dem Injektorprinzip und Strahlcharakterisierung	308

8.2	Kräfte und Leistungen bei der Hochdruck- Abrasive Wasserstrahlbearbeitung	312
8.3	Trennmechanismus bei der Hochdruck- Abrasive Wasserstrahlbearbeitung	315
8.4	Verschleiß von Systemkomponenten und Medienverbrauch bei der Hochdruck-Abrasive Wasserstrahlbearbeitung nach dem Injektorprinzip	317
8.4.1	Verschleiß des Abrasivmediums	318
8.4.2	Verschleiß der Hochdruckdüse, des Fokussierrohrs und bei der Reststrahlabsorption	319
8.5	Werkstückqualität bei der Hochdruck- Abrasive Wasserstrahlbearbeitung	322
8.5.1	Schnittkantenqualität	323
8.5.2	Oberflächengüte der Schnittfläche	325
8.5.3	Randzonenausbildung und Auswirkung auf die Betriebsfestigkeit	326
8.5.4	Präzision der Schnittfuge	329
	Literatur	332
9	Technologien zur Hochdruck-Wasserstrahl- und Hochdruck-Abrasive Wasserstrahlbearbeitung von CFK und artverwandter Faserverbundkunststoffe	335
9.1	Übersicht der Wasserstrahltechnologien: Einteilung und Verfahrensvarianten	336
9.2	Umfangs- und Konturbearbeitung mit Injektor-Hochdruck- Abrasive Wasserstrahlen	339
9.2.1	Einfluss des Werkstoffs auf erreichbare Produktivität und Präzision	339
9.2.2	Prozessauslegung zum Schneiden	342
9.3	Zusatzeinrichtungen zur Bearbeitung mit Hochdruck- Abrasive Wasserstrahl und zum Emissionsschutz	347
9.3.1	Einrichtungen zur Absorption der Restenergie des Hochdruckstrahls	347
9.3.2	Schallemission bei der Hochdruck- Wasserstrahlbearbeitung und Emissionsschutz	348
	Literatur	348
10	Laserstrahlbearbeitung von CFK und artverwandter Faserverbundkunststoffe	351
10.1	Grundlagen und Modelle der Lasertechnik	352
10.1.1	Grundbegriffe der Lasertechnik	352
10.1.2	Strahlformung, Strahlfokussierung und Strahlführung zur Laserstrahlbearbeitung	357

10.1.3	Energieeinkopplung von Laserstrahlung und Wärmeleitung	359
10.1.4	Zeitliche und energetische Kenngrößen bei der Laserstrahlbearbeitung	362
10.1.5	Abtragsmechanismen bei der Laserstrahlbearbeitung	363
10.1.6	Einfluss der Laserstrahlbearbeitung auf die Bauteilqualität	369
10.2	Bearbeitbarkeit von Faserverbundkunststoffen	373
10.3	Technologien und Verfahrensvarianten	377
10.4	Arbeitsschutz	383
	Literatur.	385
11	Hybride Bearbeitungsverfahren für CFK und artverwandte Faserverbundkunststoffe	389
11.1	Hybride Bearbeitung mittels Laser- und Hochdruck-Wasserstrahl	389
11.2	Hybride Bearbeitung mittels Zerspanverfahren und Laserstrahl	391
	Literatur.	394
12	Scherschneiden von CFK und artverwandter Faserverbundkunststoffe	395
	Literatur.	398
	Stichwortverzeichnis.	401