

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Stand der Kenntnisse	3
2.1	Faserverbundkunststoffe	3
2.1.1	Einführung	3
2.1.2	Eigenschaften von Faserverbundkunststoffen	5
2.1.3	Aufbau von Faserverbundkunststoffen	7
2.2	Konturbearbeitung von Faserverbundkunststoffen	13
2.2.1	Einführung in die Konturbearbeitung von Faserverbundkunststoffen	13
2.2.2	Fertigungsverfahren zur Konturbearbeitung	15
2.3	Prozessbeschreibung des Laserstrahltrennens	21
2.3.1	Grundlagen der Laserstrahlerzeugung und Fokussierung	21
2.3.2	Einteilung des Laserstrahltrennens in die Gruppe der Fertigungsverfahren	25
2.3.3	Anlagensystemtechnik beim Laserstrahltrennen	27
2.3.4	Zersetzungsprozess beim Laserstrahltrennen von Faserverbundkunststoffen	28
2.4	Analyse der Prozessfähigkeit von Laserfertigungsprozessen	32
3	Aufgabenstellung und Zielsetzung dieser Arbeit	35
3.1	Aufgabenstellung und Zielsetzung	35
3.2	Randbedingungen dieser Arbeit	37
4	Prozessbeschreibung und Modellbildung	39
4.1	Allgemeine Prozessbeschreibung	39
4.2	Prozessergebnis- und Qualitätsgrößen	40
4.2.1	Grob- und Feingestaltabweichung der Schnittkante	40
4.2.2	Thermisch induzierte Beeinflussung des Werkstoffes	42
4.2.3	Zielgrößen hinsichtlich der Qualität des Bearbeitungsprozesses	44
4.3	Validierung der Messmethoden zur Erfassung der thermischen Beeinflussung	46
4.4	Prozesseingangs- und Einflussgrößen	54
4.5	Prozesskenngrößen beim Laserstrahltrennen	57
5	Einflussanalyse der Technologieparameter auf die Qualität	59
5.1	Vorgehensweise zur Einflussanalyse der Technologieparameter auf die Qualität	59
5.2	Einfluss der Technologieparameter auf die Qualität der Schnittfläche	59

5.3	Allgemeine Beschreibung des Laserstrahltrennprozesses von Faserverbundkunststoffen	67
5.3.1	Vorgehensweise zur Modellbildung	67
5.3.2	Beschreibung der Energieeinkopplung in den Werkstoff	68
5.3.3	Darstellung der Mechanismen der Wärmeübertragung im Faserverbundwerkstoff	73
5.3.4	Entwicklung eines Modells zur Bestimmung der Energiebilanz beim Laserstrahltrennen	74
5.4	Berechnung der Ausdehnung der Wärmeeinflusszone	85
5.4.1	Vorgehensweise zur Lösung des Prozessmodells	85
5.4.2	Analytische Lösung des Modells	86
5.4.3	Numerische Lösung des Modells	95
5.5	Bewertung der Modell- und Ergebnisgüte	101
6	Industrielle Anwendung des Laserstrahltrennens von Faserverbundkunststoffen	109
6.1	Vorgehensweise zur Analyse der industriellen Umsetzung	109
6.2	Analyse der industriellen Umsetzung für eine einfache Bearbeitungsgeometrie	109
6.2.1	Analyse der Prozessfähigkeit des Laserstrahltrennens von Faserverbundkunststoffen	110
6.2.2	Einfluss der Verwendung eines Prozessgases auf die Qualität der Schnittfläche	112
6.3	Analyse der industriellen Umsetzung für eine komplexe Bearbeitungsgeometrie	115
7	Zusammenfassung und Ausblick	123
8	Anhang	125
8.1	Erläuterung zum Epoxyd- und Aminäquivalent	125
8.2	Molekülaufbau eines Epoxidharzes	127
8.3	Molekülaufbau und Bindungsformen bei polymeren Werkstoffen	128
8.4	Herstellung von Kohlenstofffasern	131
8.5	Kenndaten der Verwendeten Anlagentechnik	135
8.5.1	Technische Daten der verwendeten CO ₂ -Laserstrahlquelle	135
8.5.2	Technische Daten der verwendeten Scheibenlaserstrahlquelle	136
8.5.3	Technische Daten der verwendeten Faserlaserstrahlquelle	137
8.5.4	Berechnung des Maschinenstundensatzes für die verwendete Anlagentechnik	138
9	Abkürzungen und Formelzeichen	139
9.1	Abkürzungen	139
9.2	Lateinische Formelzeichen	141

9.3	Griechische Formelzeichen	144
9.4	Konstanten	145

Literaturverzeichnis	146
-----------------------------	------------