

Inhaltsverzeichnis

Content

1	Einleitung	1
2	Stand der Technik in Forschung und Industrie	5
2.1	Hybridbauweisen aus Faserverbundkunststoff und Metall	6
2.1.1	Faserverbundkunststoffe	7
2.1.2	Endlosfaserverstärkte thermoplastische FVK-Metall-Hybridbauweisen	14
2.2	Bindungsprinzip zwischen thermoplastischen FVK und Metall	21
2.2.1	Adhäsionstheorien	22
2.2.2	Oberflächenpräparationen zur Verbesserung der Adhäsion	28
2.3	Fügen von UD Tape und Metall durch laserbasiertes Tapelegen	33
2.3.1	Diodenlaserbasiertes in-situ Tapelegen	34
2.3.2	Potenzialanalyse des laserbasierten in-situ Tapelegens	36
2.4	Fazit zum Stand der Technik in Forschung und Industrie	38
3	Aufgabenstellung und Zielsetzung	41
4	Prozessmodell des diodenlaserbasierten Tapelegens auf strukturiertem Metall	43
4.1	Analyse der Versuchswerkstoffe als Eingangsgrößen	44
4.1.1	Analyse der PA66-Tapes	44
4.1.2	Charakterisierung des laserstrukturierten Warmumformstahls	57
4.2	Steuergrößenanalyse des laserbasierten Tapelegekopfes	64
4.2.1	Laserbasierter Tapelegekopf mit optischem System und Strahlquelle	65
4.2.2	Steuergrößenvorgabe über den Manipulator	71
4.3	Laserbasiertes Tapelegen auf strukturiertem Metall	73
4.3.1	Strahlungsinduzierte Erwärmung des Tapes und des Metalls	74
4.3.2	Wirkung der wälzenden Konsolidierungsbewegung auf die Füllung der Laserstrukturen	81
4.3.3	Wirkung des Abkühlvorgangs nach Ablage des Tapes auf dem Metall	85
4.3.4	Effekte der Nachkonsolidierung bei mehrlagiger Fügung von Tapes	86
4.4	Störgrößenanalyse	88
4.4.1	Kausalanalyse der Strukturabweichungen als Störgröße	89
4.4.2	Auswirkungen und Kompensation der variablen Oberflächenstruktur	91
4.5	Verbundfestigkeit als Ausgangsgröße des Systems	91
4.5.1	Analyse des Mandrel-Peel-Tests zur Bewertung der Verbundfestigkeit	92

4.5.2	Analyse des Zugscherversuchs zur Bewertung der Verbundfestigkeit	93
4.5.3	Auswahl der Prüfmethode und Auslegung der Prüfkörpergeometrien	94
4.6	Zwischenfazit	95
5	Prozessentwicklung des laserbasierten Tapelegens auf Metall.....	97
5.1	Einflüsse der Stellgrößen auf die Verbundfestigkeit.....	97
5.1.1	Bestimmung des Prozessfensters zur Erzielung der Ziel-Tapetemperatur.....	98
5.1.2	Bestimmung der erforderlichen Metalltemperatur	101
5.2	Einflüsse der Tapeeigenschaften auf die Verbindung	103
5.2.1	Diskussion von Polymerschichten zur Steigerung der Verbundfestigkeit	106
5.2.2	Validierung der Verbundfestigkeitssteigerung bei Einsatz mit Matrix angereicherter Tapes	108
5.3	Einfluss einer Nachkonsolidierung	110
5.4	Einflüsse der Störgröße auf die Verbundfestigkeit	111
5.5	Zwischenfazit	112
6	Realisierung eines laserbasierten Tapelegekopfes mit zwei Strahlungssystemen	113
6.1	Gestaltung des Tapelegekopfes.....	113
6.1.1	Funktionseinheiten zur Einbringung der thermischen Energie	114
6.1.2	Funktionseinheit zur Realisierung des Konsolidierungsdrucks	116
6.1.3	Funktionseinheit zur Realisierung der Tapespannkraft	118
6.2	Validierung des diodenlaserbasierten Tapelegekopfes mit VCSEL-Unterstützung.....	119
6.3	Zwischenfazit	122
7	Charakterisierung lokal verstärkter Hybridbauteile.....	123
7.1	Thermisches Pressen als Referenzprozess	123
7.2	Charakterisierung der hybriden Bauteileigenschaften.....	126
7.2.1	Bewertung der Biegeeigenschaften	127
7.3	Bewertung der Bauteilkonturgenauigkeit.....	129
7.3.1	Thermischer Verzug aus dem Heißpressprozess	129
7.3.2	Thermischer Verzug im laserbasierten Tapelegen.....	132
7.4	Definition und Herstellung eines hybriden automobilen Demonstratorbauteils	135
7.4.1	Bewertung und Auswahl des Demonstratorbauteils.....	135
7.4.2	Fertigung und Bewertung des hybriden Schwellers	137
7.5	Zwischenfazit	139
8	Zusammenfassung und Ausblick.....	141
8.1	Zusammenfassung.....	141

8.2 Ausblick.....	143
9 Literaturverzeichnis.....	151
10 Anhang	179