

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen- und Abkürzungsverzeichnis	vii
1 Einleitung und Motivation	1
2 Grundlagen und Stand der Technik.....	3
2.1 Verstemmen	3
2.2 Ultraschall	6
2.2.1 Grundlagen und Definition von Ultraschall	6
2.2.2 Ultraschalleffekte	8
2.2.3 Ultraschallüberlagerte Fügeprozesse	16
2.2.4 Ultraschallunterstützte Umformprozesse	17
2.3 Messung hochfrequenter Kräfte.....	18
2.4 Zusammenfassende Bewertung	19
3 Zielsetzung und Aufbau der Arbeit	23
4 Peripherie, Systemtechnik, Prüfverfahren und Werkstoffe ...	25
4.1 Verwendete externe Systemtechnik	25
4.1.1 Ultraschallschwingssystem.....	25
4.1.2 Optisches Wegmesssystem.....	26
4.1.3 Temperaturmessung	27
4.1.4 Hochgeschwindigkeitskamera	27
4.1.5 Druckprüfmaschine.....	28
4.2 Probenwerkstoff	28
4.3 Signalauswertung und Darstellung der Ergebnisse	30
4.4 Probencharakterisierung	30
4.4.1 Schlifferstellung	31
4.4.2 Lichtmikroskopie.....	32
4.4.3 Konfokalmikroskop	32
4.4.4 Instrumentierte Eindringprüfung	32
4.5 Prozesssimulation.....	33
5 Prozessauslegung	35
5.1 Auslegung Umformstempel.....	35
5.2 Probenkörpergeometrie	38
5.3 Konzipierung Fügestelle.....	39
5.4 Entwicklung Probenspannsystem.....	40

5.5	Kraftmessung im hochfrequenten Bereich.....	41
5.5.1	Positionierung des Kraftaufnehmers.....	42
5.5.2	Schwingungsoptimierung des Versuchsaufbaus.....	43
5.5.3	Übertragungsfunktion.....	47
5.6	Versuchsaufbau und Qualifizierung Systemtechnik.....	53
5.7	Zusammenfassung.....	55
6	Numerische Prozesssimulation.....	57
6.1	Aufbau und Eigenschaften des Simulationsmodells.....	57
6.2	Randbedingungen.....	58
6.3	Elementierung und Vernetzung.....	60
6.4	Werkstoffkenndaten.....	61
6.5	Validierung Simulationsmodell.....	62
6.6	Zusammenfassung.....	65
7	Ultraschallunterstützte Blindverstemmung.....	67
7.1	Direkte Ultraschalleinleitung.....	67
7.2	Indirekte Ultraschalleinleitung.....	73
7.3	Untersuchung ultraschallbedingter Einflüsse.....	82
7.3.1	Tribologischer Einfluss.....	83
7.3.2	Thermischer Einfluss.....	90
7.3.3	Werkstoffseitiger Einfluss.....	98
7.3.4	Dynamischer Einfluss.....	102
7.4	Bewertung ultraschallbedingter Einflüsse.....	109
8	Ultraschallverstemmen.....	115
8.1	Indirekte Ultraschalleinleitung.....	115
8.2	Untersuchung ultraschallbedingter Einflüsse.....	122
8.2.1	Tribologischer Einfluss.....	122
8.2.2	Thermischer Einfluss.....	125
8.2.3	Werkstoffseitiger Einfluss.....	127
8.2.4	Dynamischer Einfluss.....	129
8.3	Bewertung ultraschallbedingter Einflüsse.....	135
8.4	Verbindungsfestigkeit.....	139
8.4.1	Dichtheitsprüfung.....	140
8.4.2	Statische Auspresskraft.....	141
9	Zusammenfassung und Ausblick.....	145
10	Summary and future work.....	149
	Literaturverzeichnis.....	163