

INHALTSVERZEICHNIS

Danksagung	iii
Kurzfassung	iv
Abstract	vi
Abkürzungsverzeichnis	viii
1 Einleitung	1
2 Stand der Technik	4
2.1 Hartmetalle	4
2.1.1 Einteilung und Anwendung von Schneidwerkstoffen .	4
2.1.2 Varianten des Hartmetalls	7
2.1.3 Hartmetall-Werkzeuge	11
2.2 Löten von Hartmetall-Stahl-Verbunden	12
2.2.1 Induktionslöten von Stahl-Hartmetall-Verbin-	
dungen in sauerstoffreicher Atmosphäre	14
2.2.2 Lotwerkstoffe	17
2.2.3 Flussmittel	22
2.3 Ultraschall-gestütztes Löten	24
2.3.1 Mechanismen und Wirkung des Ultraschalls	27
Kavitation	27

Einfluss von Kavitation auf höherschmelzende Pha- sen in der Lötnaht	30
Wirkung von Ultraschall auf das Benetzungsverhal- ten von Fluiden auf Feststoffen	31
Erstarrung von Schmelzen unter Einfluss von Ultra- schall	33
2.3.2 Wirkung von Ultraschall auf verschiedene Werkstoff- systeme	35
Leichtmetalle	36
Schwermetalle	39
Nichtmetalle	42
Verbundwerkstoffe	43
2.4 Zusammenfassung Stand der Technik	47
3 Motivation und Zielstellung	51
4 Experimentelles	55
4.1 Konzept	55
4.2 Versuchsaufbau	57
4.2.1 Induktionsanlage	59
4.2.2 Ultraschall-System	59
4.2.3 Lötgeometrie und Probenpräparation	60
4.3 Methodik	61
4.3.1 Identifikation signifikanter Parameter	61
Auswahl geeigneter Parameterwerte	63
Versuchsplan nach dem DSD	68
4.3.2 Ultraschall-induzierte Mechanismen	69
4.3.3 Vergleich mit konventionellen Verfahren	71
Vergleichslötungen mit Flussmittel	71
Vergleichslötungen im Vakuum	72
4.4 Probencharakterisierung	73
4.4.1 Scherdruckversuch	74
4.4.2 Härtemessung	74

4.4.3	Ultraschall-Tauchtechnik	75
4.4.4	Röntgendiffraktometrie	76
4.4.5	Lichtmikroskopie	77
4.4.6	Rasterelektronenmikroskopie und energiedispersive Röntgenspektroskopie	78
4.4.7	Kenngößen der statistischen Auswertung	78
5	Ergebnisse und Diskussion	80
5.1	Identifikation signifikanter Parameter	80
5.1.1	Einfluss auf die Grundwerkstoffe	81
5.1.2	Einfluss auf die Anbindung	87
5.1.3	Einfluss auf die Zielgröße Scherfestigkeit	90
5.1.4	Zusammenfassung	93
5.2	Untersuchung der zugrundeliegenden Mechanismen	94
5.2.1	Benetzungsfördernde Mechanismen des Ultraschalls	94
5.2.2	Gefüge beeinflussende Mechanismen des Ultraschalls	107
5.2.3	Scherfestigkeiten und Fraktographie	119
5.2.4	Zusammenfassung	134
5.3	Vergleichslötungen	134
5.3.1	Induktionslötungen mit Flussmittel	134
5.3.2	Ofenlötungen im Vakuum	145
5.3.3	Zusammenfassung	153
5.4	Beantwortung der Forschungsfragen und -hypothesen	154
6	Zusammenfassung und Ausblick	159
7	Publikationsliste	196
7.1	Wissenschaftliche Veröffentlichungen	196