

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>Danksagung</b>	<b>iii</b>
<b>Kurzfassung</b>	<b>iv</b>
<b>Abstract</b>	<b>vi</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>viii</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Stand der Technik</b>	<b>4</b>
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
<b>3</b>	<b>Motivation und Zielstellung</b>	<b>51</b>
<b>4</b>	<b>Experimentelles</b>	<b>55</b>
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
<b>5</b>	<b>Ergebnisse und Diskussion</b>	<b>80</b>
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
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>159</b>
<b>7</b>	<b>Publikationsliste</b>	<b>196</b>
7.1	Wissenschaftliche Veröffentlichungen . . . . .	196