

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-Verbindungen 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 Phasen in der Lötnaht | 30 |
| Wirkung von Ultraschall auf das Benetzungsverhalten von Fluiden auf Feststoffen | 31 |
| Erstarrung von Schmelzen unter Einfluss von Ultraschall | 33 |
| 2.3.2 Wirkung von Ultraschall auf verschiedene Werkstoffsysteme | 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 |
| Vergleichslösungen mit Flussmittel | 71 |
| Vergleichslösungen 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 | Kenngrößen 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 | Vergleichslösungen | 134 |
| 5.3.1 | Induktionslösungen mit Flussmittel | 134 |
| 5.3.2 | Ofenlösungen 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 |