

## Inhaltsverzeichnis

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einleitung</b>  | <b>1</b>  |
| <b>2</b> | <b>Stand der Technik zum Löten mit Ni-Basisloten</b>             | <b>3</b>  |
| 2.1      | Grundlagen zum Hartlöten   | 3         |
| 2.1.1    | Einteilung der Lötverfahren                                      | 3         |
| 2.1.2    | Benetzung und Kapillarfüllung beim Hartlöten                     | 4         |
| 2.2      | Ni-Basislotlegierungen   | 6         |
| 2.2.1    | Einteilung der Ni-Basislote                                      | 7         |
| 2.2.2    | Applikationsformen von Ni-Basisloten                             | 10        |
| 2.2.3    | Herstellung metallischer Gläser                                  | 11        |
| 2.3      | Diffusion und Primärkristallisation in Lötprozessen              | 14        |
| 2.3.1    | Grundlagen zur Diffusion   | 15        |
| 2.3.2    | Grundlagen zur Primärkristallisation                             | 17        |
| 2.3.3    | Erstarrungsmodell zum Hartlöten mit Mehrstoffsyste-men           | 20        |
| 2.3.4    | Entstehung von Sprödphasen                                       | 22        |
| 2.4      | Lösungswege zur Vermeidung von Sprödphasen                       | 25        |
| 2.5      | Ti-Impfen von Ni-Basisloten                                      | 27        |
| <b>3</b> | <b>Motivation, Zielsetzung und These</b>                         | <b>29</b> |
| <b>4</b> | <b>Beschreibung und Definition der Grund- und Lotwerkstoffe</b>  | <b>32</b> |
| 4.1      | Grundwerkstoffe  | 32        |
| 4.2      | Lotlegierungen   | 33        |
| 4.3      | Charakterisierung der Lotpulver                                  | 35        |
| 4.4      | Definition der geimpften Lotlegierungen und Pulvermischungen     | 37        |
| <b>5</b> | <b>Einfluss der Ti-Impfung auf die Lotlegierungen</b>            | <b>38</b> |
| 5.1      | Analyse und Herstellung Ti-geimpfter Ni-basierter Lotlegierungen | 38        |
| 5.1.1    | Methodik zur thermischen Analyse der Lotlegierungen              | 38        |
| 5.1.2    | Herstellung und Charakterisierung von Lot-Gussproben             | 40        |
| 5.1.3    | Phasenbestimmung mittels röntgenographischer Phasenanalyse       | 40        |
| 5.1.4    | Gefügecharakterisierung mittels Nanoindentation                  | 41        |
| 5.2      | Charakterisierung der Lotlegierungen                             | 42        |
| 5.2.1    | Untersuchungen an der geimpften Ni 620-Lotlegierung              | 43        |
| 5.2.2    | Untersuchungen an der geimpften Ni 650-Lotlegierung              | 50        |
| 5.2.3    | Untersuchungen an der geimpften Ni 660-Lotlegierung              | 56        |
| 5.3      | Fazit zum Einfluss der Ti-Impfung auf die Ni-Lotlegierungen      | 61        |

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| <b>6</b>  | <b>Fügeverbindungen mit Ti-geimpften Ni-Lotpasten</b>                        | <b>65</b>  |
| 6.1       | Herstellung und Analyse von Lötverbindungen mit Ti-geimpfter Lotpaste        | 65         |
| 6.1.1     | Probendefinition und Herstellung   | 66         |
| 6.1.2     | Definition der Lötprozesse   | 68         |
| 6.1.3     | Zerstörungsfreie Prüfung mittels Ultraschallanalyse                          | 70         |
| 6.1.4     | Metallografische Untersuchungen und Härteprüfung                             | 71         |
| 6.1.5     | Scherzugversuche   | 72         |
| 6.2       | Einfluss der Ti-Impfung auf das Fließverhalten und Defekte                   | 72         |
| 6.3       | Mikrostruktur und die lokalen Eigenschaften                                  | 75         |
| 6.3.1     | Einfluss der Lötprozesse auf die Grundwerkstoffe                             | 75         |
| 6.3.2     | Mikrostrukturanalyse am Ni 620/X37CrMoV5-1-Fügeverbund                       | 76         |
| 6.3.3     | Mikrostrukturanalyse am Ni 650/X5CrNi18-10-Fügeverbund                       | 83         |
| 6.4       | Scherzugversuche und Fraktografie  | 89         |
| 6.4.1     | Scherzugfestigkeit der Ni620/X37CrMoV5-1-Lötverbindungen                     | 89         |
| 6.4.2     | Scherzugfestigkeit der Ni 650/ X5CrNi18-10-Lötverbindungen                   | 92         |
| 6.5       | Fazit zu den geimpften Lotpasten   | 95         |
| <b>7</b>  | <b>Fügeverbindungen mit Ti-geimpften Ni-Lotfolien</b>                        | <b>98</b>  |
| 7.1       | Herstellung und Analyse von Ti-geimpften Lotfolien und Lötverbindungen       | 99         |
| 7.1.1     | Herstellung geimpfter Ni-Lotfolien   | 99         |
| 7.1.2     | Probendefinition und -analyse  | 101        |
| 7.2       | Herstellung und chemische Zusammensetzung der Lotfolien                      | 103        |
| 7.3       | Einfluss der Ti-Impfung auf die Bildung von Defekten                         | 104        |
| 7.4       | Mikrostruktur und lokale Eigenschaften am Ni 620/X37CrMoV5-1-Verbund         | 107        |
| 7.5       | Mikrostruktur und lokale Eigenschaften am Ni 660/X5CrNi18-10-Verbund         | 113        |
| 7.6       | Scherzugversuche und Fraktografie  | 118        |
| 7.7       | Fazit zu den Ti-geimpften Lotfolien  | 123        |
| <b>8</b>  | <b>Einfluss der Ti-Impfung auf das Diffusionsverhalten im Fügeverbund</b>    | <b>126</b> |
| 8.1       | Charakterisierung des Diffusionsverhaltens mittels DSC-Analyse               | 126        |
| 8.2       | Diffusionsverhalten im geimpften Ni 620/X37CrMoV5-1-Verbund                  | 128        |
| 8.3       | Diffusionsverhalten im geimpften Ni 650/X5CrNi18-10-Verbund                  | 131        |
| 8.4       | Fazit zum Einfluss der Ti-Impfung auf das Diffusionsverhalten der Metalloide | 134        |
| <b>9</b>  | <b>Modellbildung, Fazit und Ausblick</b>                                     | <b>135</b> |
| 9.1       | Zusammenfassende Modellbildung   | 135        |
| 9.2       | Fazit und Ausblick   | 139        |
| <b>10</b> | <b>Literaturverzeichnis</b>  | <b>141</b> |

|           |                                    |          |
|-----------|------------------------------------|----------|
| <b>11</b> | <b>Abkürzungsverzeichnis</b>       | <b>A</b> |
| <b>12</b> | <b>Formelzeichen und Einheiten</b> | <b>B</b> |
| <b>13</b> | <b>Abbildungsverzeichnis</b>       | <b>D</b> |
| <b>14</b> | <b>Tabellenverzeichnis</b>         | <b>K</b> |
| <b>15</b> | <b>Anhang</b>                      | <b>L</b> |