Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen und Abkürzungen V

1 Einleitung 1

2 Stand der Forschung und Technik 4

2.1 Effekte der Nanoskaligkeit 4

2.1.1 Oberflächen und Grenzflächen 4

2.1.2 Thermodynamik der Phasentransformation 5

2.1.3 Größenabhängigkeit der Schmelztemperatur 8

2.1.4 Diffusion in nanokristallinen Materialien 11

2.2 Reaktive Nanometer-Multischichten 14

2.2.1 Selbstfortschreitende exotherme Reaktionen in Pulversystemen 14

2.2.2 Aufbau und Funktion reaktiver Nanometer-Multischichtfolien 15

2.2.3 Forschungsarbeiten zur Beschreibung der Reaktionskinetik 17

2.2.4 Fügetechnische Anwendung 19

2.2.5 Herstellung von reaktiven Nanometer-Multischichten mittels Sputterdeposition 21

2.2.6 Materialsysteme 22

2.2.7 Vorbelotung 24

2.2.8 Berechnungsansätze 25

2.3 Zusammenfassende Betrachtung und Handlungsbedarf 30

3 Zielsetzung und Vorgehensweise 32

3.1 Zielsetzung 32

3.2 Vorgehensweise 33

4 Simulation 34

4.1 Numerische Simulation der Reaktion 34

4.1.1 Berechnung der Maximaltemperaturen 34

4.1.2 Berechnung der Geschwindigkeit 35

4.2 Finite-Elemente-Simulation der Fügeoperation 38

4.2.1 Modellierung 38

4.2.2 Zeit-Temperatur-Verläufe 40

4.2.3 Variation der Wärmeleitfähigkeit 42

4.2.4 Variation der Lotschichtdicke 43

4.2.5 Temperatursymmetrie 45

4.2.6 Variation der Reaktionsgeschwindigkeit 46

4.3 Zusammenfassende Betrachtung 47

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

5 Versuchseinrichtung und -durchführung 49
5.1 Untersuchungsgegenstand 49
5.1.1 Probengeometrie 49
5.1.2 Verbindungsaufbau 50
5.1.3 Ni/Al-Nanometer-Multischichten 51
5.2 Fügeeinrichtung 51
5.3 Methoden der Prozesscharakterisierung 52
5.3.1 Thermografiesystem 52
5.3.2 Hochgeschwindigkeitskamerasystem 53
5.4 Methoden der Verbindungscharakterisierung 53
5.4.1 Widerstandsmessung 54
5.4.2 Scherzugfestigkeitsprüfung 58
5.4.3 Nanoindentationsmessung 58

6 Bestimmung der Eigenschaften von freistehenden Ni/Al-Multischichten 61
6.1 Charakterisierung 61
6.1.1 Schichtstruktur vor der Reaktion 61
6.1.2 Gefüge nach der Reaktion 62
6.2 Geschwindigkeits- und Temperaturmessung 64
6.2.1 Versuchsaufbau und –auswertung 64
6.2.2 Einfluss der Periodendicke 66
6.2.3 Einfluss der Gesamtdicke 68
6.3 Alterungsuntersuchung 70
6.3.1 Alterung von Multischichtfolien ohne Belotung 71
6.3.2 Alterung von Multischichtfolien mit Belotung 73
6.4 Zusammenfassende Betrachtung 74

7 Fügen mittels beloteter Ni/Al-Multischichten 75
7.1 Charakterisierung des Fügeprozesses 75
7.2 Bestimmung der Reaktionsgeschwindigkeit 77
7.3 Bestimmung der Temperaturverläufe in der Fügezone 78
7.4 Bestimmung der Lotschmelzdauer 82
7.5 Temperaturbelastung der zu kontaktierenden Komponenten während des Fügeprozesses 83
7.6 Zusammenfassende Betrachtung 85

8 Charakterisierung der Fügeverbindung 87
8.1 Metallographische Analyse 87
8.1.1 Allgemeine Fügestellenbeurteilung 87
8.1.2 Fügestellenbeurteilung bei Sn-Vorbelotung 93
8.1.3 Fügestellenbeurteilung bei SnAg3,5-Vorbelotung 95

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.

8.2 Übergangswiderstandsmessung 97
8.2.1 Verfahrensvergleich 97
8.2.2 Einfluss der Flächenpressung 100
8.2.3 Einfluss der Lotwerkstoffe und –dicke 101
8.3 Statische Festigkeitsprüfung 101
8.3.1 Einfluss der Flächenpressung 102
8.3.2 Einfluss der Lotwerkstoffe und –dicke 104
8.4 Nanoindentermessung 105
8.4.1 Nanohärte 107
8.4.2 Elastizitätsmodul 109
8.5 Zusammenfassende Betrachtung 110

9 Zuverlässigkeitsuntersuchung der Fügeverbindung 111
9.1 Temperaturkonstantbeanspruchung 111
9.2 Temperaturwechselbeanspruchung 112
9.2.1 Übergangswiderstand 114
9.2.2 Scherzugfestigkeit 114
9.2.3 Nanoindentermessung 115
9.3 Kondenswasser-Konstantklimabeanspruchung 118
9.3.1 Übergangswiderstand 119
9.3.2 Scherzugfestigkeit 120
9.3.3 Nanoindentermessung 121
9.4 Zusammenfassende Betrachtung 124

10 Zusammenfassung und Ausblick 125
10.1 Zusammenfassung 125
10.2 Ausblick 128

Literaturverzeichnis 129

Abbildungsverzeichnis 139

Tabellenverzeichnis 143

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.