

Dipl.-Ing. Oliver Maus, Dübendorf

**Einflußparameter der
temperaturabhängigen
Vierpunktbiegefestigkeit
von HPSN-HPSN- und
HPSN-Metall-
Verbindungen mit
Silber-Aktivloten**

Reihe **5**: Grund- und Werkstoffe Nr. **514**

<u>Inhaltsverzeichnis</u>		Seite
1	Einleitung	1
2	Aufgabe und Zielsetzung	2
3	Stand der Kenntnisse	4
3.1	Keramische Werkstoffe	4
3.2	Löten von Keramik	6
3.3	Aktivlöten von Keramik	7
3.4	Herstellung von Aktivloten	8
3.4.1	Oxidationsbeständigkeit von titanhaltigen Aktivloten	9
3.4.2	Benetzung und Ausbreitung von titanhaltigen Aktivloten auf Keramik	10
3.5	Prozeßführung beim Keramik-Aktivlöten	11
3.6	Metallographie an Keramik-Aktivlötverbindungen	12
3.6.1	Gefüge von Keramik-Aktivlötverbindungen -Begriffe, Struktur, Aufbau-	13
3.7	Festigkeitsermittlung an Keramik-Aktivlötverbindungen	14
3.7.1	Eigenspannungen in Keramik-Aktivlötverbindungen	16
3.7.2	Festigkeitsverhalten von Keramik-Aktivlötverbindungen bei Raumtemperatur	18
3.7.3	Hochtemperatureigenschaften der Keramik-Aktivlötverbindungen	19
3.8	Neue Lote und Lötprozesse zur Erhöhung der Warmfestigkeit von aktivgelöteten Si_3N_4 -Verbindungen	22
3.9	Anwendung von Keramik-Metall-Lötverbindungen	22
3.10	Folgerungen aus dem Schrifttum	23
3.11	Bilder zum Stand der Kenntnisse	25
4	Versuchsprogramm	31
4.1	Spezielle Entwicklung und Konstruktion sowie Erprobung einer Temperaturwechselanlage	31
4.2	Stickstoffbestimmung mit der Elektronenstrahlmikrosonde	31

	Seite
4.3 Untersuchungen der Füge­teile und des Lotes	32
4.4 Ausbreitverhalten titanhaltiger Silberhartlote	32
4.5 Metallographische Untersuchungen	32
4.6 Speziell berechnete Eigenspannungen in den Lötverbindungen	32
4.7 Ermittlung der Vierpunktbiegefestigkeit	32
4.8 Fraktographische Untersuchungen	33
5 Untersuchte Werkstoffe	34
5.1 Heißgepreßtes Siliziumnitrid (HPSN)	34
5.2 Hochlegierter Stahl X5 NiCo 29 18	34
5.3 Unlegierter Edelstahl Ck 45	35
5.4 Untersuchte Lote	35
5.5 Bilder zu den untersuchten Werkstoffen	37
6 Versuchsdurchführung	38
6.1 Herstellung der Prüfkörper	38
6.2 Reinigung der Proben	38
6.3 Untersuchung der Füge­teile und des Lotes	39
6.4 Heißwandofen	39
6.5 Lötvorgang	40
6.6 Durchführung der Ausbreitversuche	40
6.7 Metallographische Untersuchungen	41
6.8 Spezielle Berechnung der Phasenbildung in der Löt­naht	42
6.9 Spezielle Berechnung der Eigenspannung in den Lötverbindungen	43

	Seite
6.10 Herstellung der Lötproben zur Festigkeitsbestimmung	44
6.11 Probenumfang und statistische Bewertung	44
6.12 Festigkeitsermittlung	45
6.13 Ermittlung der Ausgangsfestigkeit der HPSN-Keramik	46
6.14 Fraktographische Untersuchungen	46
6.15 Variation der Löttemperatur	46
6.16 Durchführung der Hochtemperaturprüfung	46
6.17 Durchführung von Auslagerungsuntersuchungen	47
6.18 Durchführung von Temperaturwechselversuchen	47
6.19 Durchführung von Hochtemperatur-Zeitstandsversuchen	48
6.20 Möglichkeiten der Steigerung der Einsatztemperatur	48
6.21 Bilder zur experimentellen Vorgehensweise	49
7 Ergebnisse und Diskussion	53
7.1 Stickstoffbestimmung mit der Elektronenstrahlmikrosonde	53
7.2 Untersuchung der Füge­teile und des Lotes	53
7.2.1 Charakterisierung der Füge­flächen	53
7.2.2 Elementverteilung in den Lotes	53
7.3 Ausbreitverhalten der Lotes	53
7.3.1 Diskussion der Ergebnisse aus Kapitel 7.3	55
7.4 Gefüge der Lötverbindungen	56
7.4.1 Verbindungen mit dem Lot AgCu19,5In5Ti3	56
7.4.2 Verbindungen mit dem Lot AgCu26,5Ti3	57
7.4.3 Verbindungen mit dem Lot AgIn1Ti1	58
7.4.4 Ergebnisse der Mikro­härtemessung	58
7.4.5 Speziell berechnete Phasenbildung in der Lötnaht	59

	Seite
7.4.6 Diskussion der Ergebnisse von Kapitel 7.4	60
7.5 Spezielle berechnete Eigenspannungen in den Lötverbindungen	62
7.5.1 Diskussion der Ergebnisse von Kapitel 7.5	64
7.6 Vierpunktbiegefestigkeit der HPSN-Keramik	65
7.6.1 Diskussion der Ergebnisse von Kapitel 7.6	65
7.7 Vierpunktbiegefestigkeit der Lötverbindungen bei Raumtemperatur	65
7.7.1 Vierpunktbiegefestigkeit der HPSN-HPSN-Lötverbindungen	65
7.7.2 Vierpunktbiegefestigkeit der HPSN-Metall-Lötverbindungen	66
7.7.3 Vierpunktbiegefestigkeit nach variiertes Löttemperatur	66
7.7.4 Fraktographische Untersuchungen der HPSN-HPSN-Lötverbindungen	67
7.7.5 Fraktographische Untersuchungen der HPSN-Metall-Lötverbindungen	69
7.7.6 Einfluß der Löttemperatur auf das Bruchverhalten der Lötverbindungen	70
7.7.7 Diskussion der Ergebnisse aus Kapitel 7.7	70
7.8 Temperatureinfluß auf die Vierpunktbiegefestigkeit der Lötverbindungen	73
7.8.1 Vierpunktbiegefestigkeit bei Hochtemperatur	73
7.8.2 Vierpunktbiegefestigkeit nach Auslagerung an Luft bei erhöhter Temperatur	74
7.8.3 Vierpunktbiegefestigkeit nach Temperaturwechseln an Luft	78
7.8.4 Zeitstandverhalten unter Vierpunktbiegebelastung der HPSN-HPSN- und HPSN-X5 NiCo 29 18-Lötverbindungen bei erhöhter Temperatur an Luft	80
7.8.5 Diskussion der Ergebnisse aus Kapitel 7.8	80
7.9 Möglichkeiten zur Steigerung der Einsatztemperatur der Lötverbindungen	82
7.9.1 Diskussion der Ergebnisse aus Kapitel 7.9	83
7.10 Bilder zu den Ergebnissen und der Diskussion	85
8 Schlußfolgerungen	150
9 Ausblick	152
10 Zusammenfassung	153
11 Literatur	157