
Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen und Abkürzungen	VIII
1 Einleitung	1
1.1 Bedeutung der Aktivlöttechnik für die Anwendung keramischer Werkstoffe im Maschinenbau	1
1.2 Problemstellung und Ziel der Arbeit	4
2 Stand der Forschung	6
2.1 Fügen von Ingenieurkeramik	6
2.2 Entwicklung, Stand und Anwendungsbeispiele des Aktivlötens	13
2.3 Thermisch induzierte Eigenspannungen	18
2.4 Festigkeitseigenschaften aktivgelöteter Keramik-Keramik- und Keramik-Metall-Verbunde	22
2.5 Bruchverhalten keramischer Werkstoffe und Übertragbarkeit auf Verbunde	24
2.6 Folgerungen	30
3 Untersuchte Werkstoffe und Versuchsprogramm	31
4 Eigenspannungsberechnungen anhand eines linear elastischen Modells	36
5 Löttechnologie	40
5.1 Lötanlagen	40
5.2 Lötversuche	42

6	Benetzungsverhalten von Aktivloten	46
7	Gefügeausbildung ausgewählter Aktivlötverbunde	50
7.1	Metallo- bzw. keramographische und rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen	50
7.2	Gefügecharakterisierung	51
8	Mechanische Eigenschaften	60
8.1	Prüfverfahren und Auswertung	60
8.2	Festigkeits- und Bruchverhalten ausgewählter Grundwerkstoff-Lot-Kombinationen	63
8.3	Mikroskopische In-situ-Festigkeitsuntersuchungen	69
9	Möglichkeiten zur Festigkeitssteigerung	73
9.1	Wesentliche Einflußgrößen auf die Verbundeigenschaften	73
9.2	Einsatz unterschiedlicher Vakuumöfen	74
9.3	Optimieren der Fügeflächenbearbeitung	75
9.4	Optimieren der Lötprozeßparameter	79
9.5	Maßnahmen zum Minimieren von Eigenspannungen	80
9.5.1	Einsatz von Zwischenschichten	80
9.5.2	Einfluß der Lötnahtbreite	83
9.6	Breitspaltlöten	84
10	Weiterführende Festigkeitsuntersuchungen	86
10.1	Streuung der mechanischen Eigenschaften	86
10.2	Zugversuch an gelöteten keramischen Werkstoffen	91
10.3	Zugfestigkeit bei Raum- und erhöhter Temperatur	93
10.4	Zeitstandverhalten	96
10.5	Dynamischer Biegeversuch	103
10.6	Schwingverhalten	104

11	Bewertung der Ergebnisse und Entwicklungstendenzen	107
11.1	Bewertung der Einflußgrößen – methodisches Vorgehen beim Optimieren aktivgelöteter Keramik-Metall-Verbunde	107
11.2	Bewertung der Prüfverfahren	111
11.3	Verbindungswertigkeit, Festigkeitsübersicht und Lebensdauervorschau	112
11.4	Aktivlöten und seine Abgrenzung gegenüber alternativen Lötverfahren für keramische Werkstoffe	117
11.5	Konstruktive Aspekte des Gestaltens gelöteter Keramik-Metall-Verbunde	119
11.6	Entwicklung neuartiger Aktivlotlegierungen	121
12	Zusammenfassung und Ausblick	123
13	Normen und Merkblätter	127
14	Schrifttum	128