

Eigenspannung und Festigkeit von reibgeschweißten Keramik-Metall-Verbunden

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	iii
Symbole und Formelzeichen	viii
1. Einleitung und Problemstellung	1
2. Stand der Technik und der Forschung	3
2.1 Keramik–Metall–Verbunde	3
2.2 Reibschweißen	4
2.2.1 Reibschweißen mit Schwungradantrieb	6
2.2.2 Reibschweißen mit kontinuierlichem Antrieb	6
2.2.3 Kombiniertes Reibschweißen (Hybrid-Reibschweißen)	6
2.3 Verfahrensablauf beim Reibschweißen artgleicher Werkstoffe	7
2.4 Verfahrensablauf beim Reibschweißen von Werkstoffen unterschiedlicher Warmfestigkeiten	10
2.5 Reibschweißen von Keramik mit Metall	10
3. Vorversuche	13
3.1 Durchführung	13
3.2 Festigkeitsuntersuchungen	15
4. Modellbildung	18
4.1 Analyse des Reibschweißprozesses	18
4.1.1 Der Reibvorgang	18
4.1.2 Die Abkühlphase	19
4.2 Beschreibung des Modells	20
4.2.1 Temperaturabhängigkeit der Materialparameter	21
4.3 Bestimmung der Temperaturverteilung	24
4.3.1 Messung der Reibflächentemperatur	24

4.3.2	Berechnung der Temperaturverteilung	26
4.4	Bestimmung der Wärmespannungen in der Keramik	43
5.	Eigenspannungen nach dem Abkühlen	45
5.1	Spannungssingularitäten in Zweistoffverbunden	45
5.2	Annahmen	46
5.3	Finite-Elemente-Methode	48
5.3.1	FE-Netz	48
5.3.2	Probleme aufgrund des singulären Charakters des Spannungsfeldes . . .	50
5.4	Darstellung der Ergebnisse	51
5.5	Berechnungsbeispiel	52
5.6	Weitere Vereinfachungen und Näherungen	58
5.7	Berechnung der Eigenspannungen für verschiedene Temperaturverteilungen . .	61
6.	Bewertung der Eigenspannungen mit Hilfe der statistischen Bruchmechanik	63
6.1	Versagensverhalten keramischer Bauteile unter mehrachsiger Belastung	64
6.2	Näherungen aufgrund des singulären Charakters des Spannungsfeldes	69
6.3	Berechnung der Ausfallwahrscheinlichkeit	69
7.	Einfluß verschiedener Faktoren auf die Verbundfestigkeit	72
7.1	Einfluß der Geometrie	72
7.1.1	Einfluß des Schweißwulstes	72
7.1.2	Variationen der Fügeflächengeometrie	77
7.2	Einfluß der Materialeigenschaften	85
7.2.1	Thermoschockverhalten	86
7.2.2	Belastung durch Eigenspannungen nach dem Abkühlen	89
7.3	Einfluß der Probengröße	92
7.4	Einfluß der Prozeßparameter	95
7.4.1	Variation von Reibleistung und Reibzeit	95
7.4.2	Vorwärmung der Keramik	97
7.5	Keramik-Stahl-Reibschweißen mit Aluminium-Zwischenschicht	103

8. Abschließende Experimente	106
8.1 Einfluß der Oberflächenbearbeitung der Proben	106
8.2 Vergleich von Vorhersage und Experiment	111
8.2.1 Einfluß des Wulstes und der Nut	111
8.2.2 Keramik-Stahl-Verbund mit Aluminium-Zwischenschicht	116
9. Zusammenfassung	119
Anhang A1: Werkstoffdaten	129
Anhang A2: Momentenmeßeinrichtung	130
Anhang A3: Zugversuchseinrichtung	131
Anhang A4: Dreistoffverbunde	132
Anhang A5: Geometrie der Zugproben	133