

Inhalt

0. VORWORT UND DANKSAGUNG	1
1. STAND DER TECHNIK DER TITANMATRIX-VERBUNDWERKSTOFFE.....	2
1.1. Grundlagen	2
1.2. Komponenten des Titanmatrix-Verbundwerkstoffes	6
1.2.1. Titanmatrix.....	6
1.2.2. Siliziumkarbid-Fasern.....	7
1.2.3. Faserschutzschicht	8
1.3. Herstellungsverfahren	9
1.3.1. Folie-Faser-Folie-Verfahren	9
1.3.2. Faserbeschichtungsverfahren	9
1.3.3. Sonstige Verfahren.....	10
1.4. Innere Spannungen und Eigenspannungen im TMC	11
1.5. Eigenschaftsprofil des Titanmatrix-Verbundwerkstoffes	14
1.5.1. Mechanische Eigenschaften.....	14
1.5.1.1. Anisotropie.....	14
1.5.1.2. Querdehnnzahlen	15
1.5.1.3. Statische Zugfestigkeit und E-Modul	16
1.5.1.4. Ermüdungsfestigkeit	19
1.5.1.5. Kriechverhalten.....	20
1.5.2. Physikalische Eigenschaften.....	23
1.5.2.1. Dichte	23
1.5.2.2. Wärmeausdehnungskoeffizient.....	23
1.6. Werkstoffmodellierung	25
1.6.1. Die Ebenen der Werkstoffmodellierung	25
1.6.2. Analytische Beschreibung	26
1.6.3. Rheologische Modelle	26
1.6.4. Versagenshypothesen.....	28
1.6.5. Bedeutung der verschiedenen Werkstoffmodelle	30
2. ZIELSETZUNG DIESER ARBEIT	31
3. ERMÜDUNGSVERHALTEN VON TITANMATRIX-VERBUNDWERKSTOFFEN.....	32
3.1. Grundsätzliches zum Ermüdungsverhalten.....	32
3.2. Untersuchung der inneren Spannungsentwicklung während zyklischer Beanspruchung	34
3.2.1. Bereich I bei Raumtemperatur	36

3.2.2. Bereich III bei Raumtemperatur	37
3.2.3. Bereich I bei 600°C	38
3.2.4. Bereich III bei 600°C	39
3.2.5. Einfluss des Lastverhältnisses R	40
3.2.6. Diskussion und analytischer Ansatz zur Ermüdungsfestigkeit	41
3.2.7. Lebensdauerabschätzung mittels FEM.....	42
3.3. Entwicklung eines rheologischen Modells zur Vorhersage der Ermüdungseigenschaften.....	44
3.3.1. Fasereigenschaften	45
3.3.1.1. Elastische Fasereigenschaften	45
3.3.1.2. Faserfestigkeit	46
3.3.2. Matriceigenschaften	46
3.3.2.1. Elastische Matriceigenschaften.....	46
3.3.2.2. Plastische Matriceigenschaften.....	47
3.3.2.3. Kriecheigenschaften der Matrix	50
3.3.2.4. Matrixfestigkeit	51
3.3.3. Experimentelle Charakterisierung der Matriceigenschaften.....	52
3.3.3.1. Spannungs-Dehnungsverhalten verschiedener Titanlegierungen	53
3.3.3.2. Kriechen von Titanlegierungen bei Raumtemperatur	54
3.3.3.3. Untersuchung der Interaktion von Kriechen und Fließen	59
3.3.4. Diskussion der Faser- und Matriceigenschaften	60
3.3.5. Berechnung der thermischen Eigenspannungen und –dehnungen	61
3.3.6. Bestimmung der Spannung in den Verbundkomponenten.....	62
3.3.7. Einfluss irreversibler Dehnungen auf die Eigenspannungen	62
3.3.8. Verfahren zur Ermittlung der Wöhlerkurve	64
3.3.9. Anwendung des rheologischen Modells zur Ermittlung der Wöhlerkurve von SCS-6/Ti-6-2-4-2	65
3.3.10. Anwendung des rheologischen Modells zur Optimierung des Eigenspannungszustandes.....	67
3.3.11. Experimentelle Verifizierung der vorhergesagten Wöhlerkurven	69
3.3.12. Diskussion der Lebensdauervorhersage mit dem rheologischen Modell und der Eigenspannungsmodifikation.....	73
3.4. Analytischer Ansatz zur Eigenspannungsmodifikation.....	77
4. GRUNDLEGENDE KONSTRUKTIONS- UND BAUWEISEN.....	79
4.1. Lokal verstärkte Bauteile.....	80
4.2. Gewinkelte Bauteile.....	81

4.3. Verstärkung durch Deckschichten	83
5. QUANTIFIZIERUNG WEITERER EINFLUSSFAKTOREN AUF DIE MECHANISCHEN EIGENSCHAFTEN	84
5.1. Ermüdungsversuche am 90°-Verbund	84
5.2. Untersuchung zur Anwendbarkeit der klassischen Laminattheorie für TMCs	87
5.2.1. Diskussion der Versagenshypothesen und des Einsatzes von TMC-Laminaten ..	90
5.3. Bauteilnahe Proben: Ermüdungsversuche an Verstärkungsenden	91
5.4. Finite-Element-Simulation des Einflusses von Faserverteilungsunregelmäßigkeiten ..	95
5.4.1. Einsetzen des Matrixfließens bei axialer Zugspannung	97
5.4.2. Schadensmechanismen unter transversaler Zugbelastung	98
5.4.3. Diskussion der Ergebnisse und Korrelation mit experimentellen Werten	101
5.5. Dynamische Zugfestigkeit	102
6. ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN	105
7. AUSBLICK	107
8. REFERENZEN	109
Anhang	118
Formelzeichen	118
Indizes	119
Randbedingungen	120
Nomenklatur	121