

Dipl.-Ing. Ralf Kowalewski, Fürth

Thermomechanische Ermüdung einer beschichteten, stengel- kristallinen Nickelbasis-Super- legierung

Reihe **18**: Mechanik/
Bruchmechanik

Nr. **212**

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Zielsetzung	1
2	Grundlagen und Kenntnisstand	5
2.1	Verformungsexperimente	5
2.1.1	Einsinnige Verformungsversuche	5
2.1.2	Zyklische Verformungsversuche	7
2.2	Nickelbasis-Superlegierungen	12
2.2.1	Mikrostruktur von Nickelbasis-Superlegierungen	14
2.2.2	Verformungsverhalten von Nickelbasis-Superlegierungen	15
2.3	Schutzschichtlegierungen	24
2.3.1	Gefüge von MCrAlY-Legierungen	25
2.3.2	Hochtemperaturoxidationsverhalten von MCrAlY-Legierungen	27
2.4	Verformungsverhalten von MCrAlY-Legierungen	32
2.5	Beschichtete Nickelbasis-Superlegierungen	36
3	Experimentelles	43
3.1	Probenmaterial	43
3.1.1	Grundwerkstoff	43
3.1.2	Schutzschicht	45
3.1.3	Grundwerkstoff-Schutzschicht-Verbund	46
3.2	Verformungsapparaturen und Versuchsführungen	46
3.2.1	Druckkriechapparatur	46
3.2.2	Elektromechanisches Prüfsystem Instron 4505	46
3.2.3	Servohydraulisches Prüfsystem MTS 810 mit Digitalregler	47
3.3	Mikrostrukturelle Untersuchungsmethoden	51
3.3.1	Lichtmikroskopie	51
3.3.2	Rasterelektronenmikroskopie	51
3.3.3	Transmissionselektronenmikroskopie	52
3.3.4	Quantitative Gefügeanalyse	54
4	Ergebnisse	55
4.1	Ausgangszustand	55
4.1.1	Grundwerkstoffgefüge	55
4.1.2	Schutzschichtgefüge	60
4.1.3	Grundwerkstoff-Schutzschicht-Verbund	64
4.2	Auslagerungsbehandlungen an der Schutzschichtlegierung	67
4.3	Einsinnige Verformungsexperimente	70
4.3.1	Zug- und Relaxationsversuche am Schutzschichtmaterial	70
4.3.2	Zugversuche am Grundwerkstoff-Schutzschicht-Verbund	74
4.3.3	Druckversuche am Schutzschichtmaterial	76
4.3.4	Druck- und Zugkriechversuche an der Schutzschichtlegierung	83
4.4	Isotherme Ermüdung	84
4.4.1	Schutzschichtmaterial	84
4.4.2	Grundwerkstoff-Schutzschicht-Verbund	86

4.5	Thermomechanische Ermüdung	93
4.5.1	Grundwerkstofflegierung	93
4.5.2	Schutzschichtlegierung	98
4.5.3	Grundwerkstoff-Schutzschicht-Verbund CM 247 LC/PCA-1	107
5	Diskussion	119
5.1	Ausgangszustand und Gefügeentwicklung der Schutzschichtlegierung	119
5.2	Einsinnige Verformungsexperimente	121
5.3	Isotherme Ermüdungsversuche	128
5.4	Thermomechanische Ermüdung	133
5.5	Abschließende Diskussion und Ausblick	141
6	Zusammenfassung	145
A	Anhang	147
A.1	Vergrößerungskinetik der Legierung PCA-1 bei 1000 °C	147
A.2	Zusammenfassung wichtiger Versuchsergebnisse	148
A.2.1	Einsinnige Verformungsexperimente	148
A.2.2	Isotherme Ermüdung	151
A.2.3	Thermomechanische Ermüdung	152
	Literatur	153