

Robert Skorupski

**Einfluss der verformungsinduzierten
oberflächennahen Martensitbildung
auf das LCF- und HCF-Ermüdungsverhalten
sowie die Verschleißfestigkeit
des metastabilen austenitischen Stahls
X6CrNiNb1810**

Werkstoffkundliche Berichte

Band 41/2017

Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. T. Beck

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung und Zielsetzung	1
2. Grundlagen und Kenntnisstand	3
2.1 Austenitische Cr-Ni-Stähle	3
2.1.1 Chemische Zusammensetzung und Mikrostruktur austenitischer Cr-Ni-Stähle.....	4
2.1.2 Eigenschaften und technische Anwendungen austenitischer Cr-Ni-Stähle.....	7
2.2 Martensitische Umwandlung in metastabilen austenitischen Cr-Ni-Stählen.....	9
2.2.1 Aspekte der Austenitstabilität.....	10
2.2.2 Aspekte der Stapelfehlerenergie	13
2.2.3 Kristallographische Betrachtung der Phasentransformation.....	17
2.3 Nachweismöglichkeiten martensitischer Phasen	21
2.3.1 Mikroskopische und analytische Verfahren	21
2.3.2 Magnetische Verfahren.....	25
2.4 Ermüdungsverhalten austenitischer Cr-Ni-Stähle.....	26
2.4.1 Lebensdauerorientierte Betrachtung von Ermüdungsvorgängen.....	27
2.4.2 Vorgangsorientierte Betrachtung von Ermüdungsvorgängen.....	29
2.4.3 Einfluss der Martensitbildung auf die Verformung und Lebensdauer metastabiler austenitischer Cr-Ni-Stählen unter zyklischer Beanspruchung	30
2.5 Einfluss der Randschichtmorphologie auf das Wechselverformungsverhalten austenitischer Cr-Ni-Stähle	33
2.5.1 Definition der Randschichtmorphologie.....	33
2.5.2 Modifikation und Analyse der Randschichtmorphologie austenitischer Cr-Ni-Stähle	35
2.5.3 Einfluss der Randschichtmorphologie auf das Wechselverformungsverhalten austenitischer Cr-Ni-Stähle.....	41
3. Versuchstechnik.....	45
3.1 Versuchseinrichtungen.....	45

3.1.1	Elektromechanisches Zugprüfsystem mit 250 kN und 5 kN	45
3.1.2	Servohydraulisches Schwingprüfsystem	47
3.1.3	Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung	48
3.2	Messverfahren	53
3.2.1	Spannung-Dehnung-Hysteresemessung	53
3.2.2	Temperaturmessung	54
3.2.3	Elektrische Widerstandsmessung	55
3.2.4	Magnetische Messung	56
3.3	Mikroskopische und analytische Untersuchungsmethoden	58
3.3.1	Lichtmikroskopie	58
3.3.2	Konfokalmikroskopie	59
3.3.3	Makro- und Mikrohärtmessungen	60
3.3.4	Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen	61
3.3.5	Röntgendiffraktometrische Untersuchungen	63
4.	Werkstoff, Probengeometrie und -herstellung	67
4.1	Versuchswerkstoff	67
4.1.1	Chemische Zusammensetzung	67
4.1.2	Kennwerte der Austenitstabilität	68
4.1.3	Mikrostruktur im lösungsgeglühten und unbeanspruchten Zustand	70
4.2	Probengeometrie für quasistatische und zyklische Beanspruchung	73
4.3	Probenherstellung durch kryogenes Drehen	75
5.	Versuchsergebnisse und Diskussion	77
5.1	Untersuchung der Austenitstabilität und des quasistatischen Verformungsverhaltens	77
5.1.1	Röntgenographische in-situ Untersuchung der Phasenstabilität des 1.4550 I	77
5.1.2	Vergleich der Austenitstabilität bei $-30\text{ °C} \leq T \leq 100\text{ °C}$	78
5.1.3	Quasistatisches Verformungsverhalten bei $T = RT$ und $T = 300\text{ °C}$	82

5.2	Mechanische und physikalische Eigenschaften der γ - und α' -Phase.....	83
5.2.1	Quasistatische Kennwerte.....	83
5.2.2	Mikrohärte	85
5.2.3	Spezifischer elektrischer Widerstand.....	87
5.2.4	Magnetische Eigenschaften	88
5.3	Herstellung und Auswahl der untersuchten Randschichtmorphologien.....	89
5.3.1	Identifizierung der Einflussgrößen des Herstellungsprozesses auf die Randschichtmorphologie	89
5.3.2	Auswahl der untersuchten Randschichtmorphologien.....	91
5.4	Charakterisierung der oberflächennahen Morphologie.....	93
5.4.1	Licht- und rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen der Topographie... ..	93
5.4.2	Mikrohärtemessungen und röntgenographische Untersuchungen der oberflächennahen Mikrostruktur.....	99
5.5	Wechselverformungs-, Umwandlungs- und Schädigungsverhalten im Low Cycle Fatigue (LCF) Bereich	102
5.5.1	Ermüdungsproben mit austenitischer und modifizierter Randschicht.....	105
5.5.2	Kinetik der γ - α' -Phasentransformation	108
5.6	Wechselverformungs-, Umwandlungs- und Schädigungsverhalten im High Cycle Fatigue (HCF) Bereich.....	111
5.6.1	Spannungswöhlerkurve und kontinuierliche Laststeigerungsversuche	111
5.6.2	Wechselverformungs- und Umwandlungsverhalten bei $T = RT$	115
5.6.3	Wechselverformungsverhalten bei $T = 300 \text{ }^\circ\text{C}$	118
5.6.4	Mikrostruktur und Schädigung der Ermüdungsproben mit den ausgewählten Morphologien.....	119
5.7	Verschleißfestigkeit der Randschicht kryogen gedrehter Proben	131
5.7.1	Chemische Zusammensetzung, oberflächennahe Mikrostruktur und Mikrohärte der Versuchswerkstoffe	131
5.7.2	Topographieveränderung	133

5.7.3	Oberflächennahe Mikrostrukturveränderung.....	135
6.	Oberflächenerzeugungs-Morphologie-Eigenschafts-Beziehungen	139
6.1	Zusammenhang zwischen zerspanender Bearbeitung und oberflächennaher Morphologie.....	140
6.2	Zusammenhang zwischen der oberflächennahen Morphologie und der Ermüdungsfestigkeit	144
7.	Zusammenfassung	147
8.	Literaturverzeichnis	151
A.	Ausgewählte Publikationen und Vorträge	179
A1.	Publikationen	179
A2.	Vorträge und Posterbeiträge.....	181
B.	Betreute studentische Arbeiten.....	185
C.	Lebenslauf.....	186