

Dipl.-Phys. Bernhard Kurth, Seeheim-Jugenheim

Zum Ermüdungsverhalten von Stählen mit PVD-Titan- nitridschichten

Reihe **18**: Mechanik/
Bruchmechanik

Nr. **197**

Inhaltsverzeichnis

	Liste der verwendeten Symbole und Formelzeichen	VIII
	Liste der universell verwendeten Sub- bzw. Superskripte	X
1.	Einleitung	1
2.	Kenntnisstand	3
2.1.	Herstellung und Anwendung dünner Hartstoffschichten	3
2.1.1.	Charakteristika von Hartstoffen	3
2.1.2.	Verfahrensvarianten zur physikalischen Gasphasenabscheidung	4
2.1.3.	Das PVD-Verfahren des reaktiven Kathodenzerstäubens.....	6
2.1.4.	Anwendungen von Hartstoffschichten	8
2.2.	Eigenschaften von Titannitrid-Schichten	10
2.2.1.	Das Binärsystem Titan-Stickstoff	10
2.2.2.	Morphologie	13
2.2.3.	Härte, Verformbarkeit und elastische Eigenschaften.....	15
2.2.4.	Eigenspannungen.....	17
2.2.5.	Haftfestigkeit.....	20
2.3.	Ermüdungsverhalten hochfester Stähle unter schwingender mechanischer Beanspruchung	21
2.3.1.	Anrißfreie Phase der Ermüdung und Mikrorißbildung	21
2.3.2.	Zyklische Rißausbreitung und Bruch	27
2.3.3.	Einflußgrößen auf die Lebensdauer und die Dauerfestigkeit.....	31
2.3.3.1.	Mittelspannungen	33
2.3.3.2.	Eigenspannungen.....	34
2.3.3.3.	Oberflächenfeingestalt.....	36
2.3.3.4.	Defekte, Einschlüsse und Inhomogenitäten.....	37
2.4.	Ermüdungsverhalten hartstoffbeschichteter Stähle	42
3.	Werkstoffe und Probenherstellung.....	50
3.1.	Schnellarbeitsstahl S 6-5-2	50
3.2.	Wälzlagerstahl 100 Cr 6	51
3.3.	Probenformen und Probenherstellung	52
3.4.	Wärmebehandlung und Gefügeausbildung.....	55

4.	Versuchseinrichtungen, -durchführungen und Auswerteverfahren.....	58
4.1.	Reaktives Magnetron-Sputtern von Titannitrid.....	58
4.1.1.	Aufbau der Magnetron-Sputter-Anlage.....	58
4.1.2.	Durchführung der Beschichtungsprozesse	59
4.2.	Kennzeichnung der Substrate und der Schicht-Substrat-Verbunde	61
4.2.1.	Optische Glimmentladungsspektroskopie	61
4.2.2.	Metallographische Verfahren.....	62
4.2.3.	Mikrohärtemessung	62
4.2.4.	Röntgenographische Untersuchungen der Struktur und der Eigenspannungen.....	63
4.2.4.1.	Grundlagen	63
4.2.4.2.	Experimentelles	67
4.2.4.3.	Auswerteverfahren.....	70
4.2.5.	Rauheitsmessung	74
4.2.6.	Ritztest	74
4.3.	Dauerschwingversuche	76
4.3.1.	Experimentelles	76
4.3.2.	Statistische Auswertung und Darstellung der Ergebnisse.....	77
4.4.	Messung der zyklischen Rißausbreitung	80
4.4.1.	Experimentelles	80
4.4.2.	Auswertung der Rißfortschrittmessungen.....	82
4.5.	Oberflächen- und Bruchflächenuntersuchungen.....	85
4.5.1.	Rasterelektronenmikroskopie.....	85
4.5.2.	Akustische Reflexionsrastermikroskopie	85
5.	Versuchsergebnisse	88
5.1.	Charakteristika der unbeschichteten Werkstoffzustände	88
5.1.1.	Werkstoff S 6-5-2.....	88
5.1.2.	Werkstoff 100 Cr 6.....	89
5.2.	Charakteristika der Schicht-Substrat-Verbunde	91
5.2.1.	Schichten auf dem Substratwerkstoff S 6-5-2	91
5.2.2.	Schichten auf dem Substratwerkstoff 100 Cr 6	112
5.3.	Wöhlerdiagramme	126
5.3.1.	Substratwerkstoff S 6-5-2	126
5.3.2.	Substratwerkstoff 100 Cr 6	130

VII

5.4.	Bruchflächenuntersuchungen.....	135
5.4.1.	Substratwerkstoff S 6-5-2.....	135
5.4.2.	Substratwerkstoff 100 Cr 6.....	149
5.5.	Rißinitiierung und zyklisches Rißfortschrittsverhalten	158
5.5.1.	Beobachtungen zur Rißentstehung.....	158
5.5.2.	Zyklische Rißausbreitung im Substratwerkstoff S 6-5-2.....	164
5.5.3.	Zyklische Rißausbreitung im Substratwerkstoff 100 Cr 6.....	166
5.6.	Schichteigenschaften unter schwingender Beanspruchung.....	169
5.6.1.	Mikrohärte.....	170
5.6.2.	Makroelastizitäten	173
6.	Diskussion der Ergebnisse	178
6.1.	TiN-Beschichtung der Stähle S 6-5-2 und 100 Cr 6.....	178
6.2.	Das Ermüdungsverhalten der Stähle S 6-5-2 und 100 Cr 6	180
6.3.	Der Einfluß der TiN-Beschichtung auf das Ermüdungsverhalten.....	182
7.	Zusammenfassung	190
8.	Literaturverzeichnis	192