

Dipl.-Ing. Matthias Mertmann, Herten

NiTi-Formgedächtnis- legierungen für Aktoren der Greifertechnik

Funktionelle Eigenschaften und Optimierung

Reihe **5**: Grund- und Werkstoffe

Nr. **469**

INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung	1
1.1 "Smart Materials and Structures"	1
1.2 Martensitische Umwandlung und Formgedächtnis	3
1.2.1 Physikalische Grundlagen	3
1.2.2 Die Formgedächtniseffekte	4
1.2.3 Die Zweiwegeeffekte	6
1.2.3.1 Der intrinsische Zweiwegeeffekt	6
1.2.3.2 Der extrinsische Zweiwegeeffekt	7
1.3 Das Legierungssystem NiTi-X	9
1.3.1 Binäre NiTi-Legierungen	9
1.3.2 R-Phasenumwandlung	11
1.3.3 Ternäre Legierungen	11
1.4 Formgedächtnislegierungen in der Greifertechnik	13
1.4.1 Flexible Mehrfingergreifer	14
1.4.2 Sensorik in Greifersystemen	16
1.4.3 Die teilweise unterdrückte Formänderung	16
1.5 Laserschweißen von Formgedächtnislegierungen	17
1.5.1 Befestigungstechnik von Formgedächtnisaktoren	17
1.5.2 Der Laserprozeß	18
1.6 Ziel der Arbeit	19
2. Experimentelle Methoden	20
2.1 Materialherstellung	20
2.1.1 Erschmelzung	20
2.1.2 Halbzeugherstellung	21
2.1.2.1 Warmumformung	21
2.1.2.2 Thermomechanische Behandlung	21
2.1.3 Probenherstellung	22
2.1.3.1 Drähte für Fingeraktoren	22
2.1.3.2 Drähte zur Widerstandsmessung	22
2.1.3.3 Proben für das Laserschweißen	23
2.2 Herstellung der Fingeraktoren	23
2.2.1 Skelettstruktur der Fingeraktoren	23
2.2.2 Herstellung des Verbundwerkstoffes	24
2.3 Silikonkautschuk als Sensorwerkstoff	25
2.4 Meßmethoden	25
2.4.1 Dilatometrie	25
2.4.2 Dynamische Differenzkalorimetrie (DDK)	26

2.4.3	Mikroskopie	26
2.4.4	Untersuchung der teilweise unterdrückten Formänderung	27
2.4.4.1	Charakterisierung des Ausgangszustandes	27
2.4.4.2	Teilweise unterdrückte Formänderung in der Zugprüfmaschine	28
2.4.4.3	Stabilität der unterdrückten Formänderung im Verbundwerkstoff	28
2.4.4.4	Untersuchung der Aktoren nach zyklischer Beanspruchung	30
2.5	Optimierung der Ω -Kennlinie	30
2.6	Untersuchung der Schweißbarkeit von NiTi und rostfreien Stählen	31
3.	Ergebnisse	32
3.1	Materialherstellung	32
3.1.1	Erschmelzung	32
3.1.2	Warm- und Kaltumformung	33
3.2	Charakterisierung des Ausgangszustandes	34
3.2.1	Zugversuche	34
3.2.2	DSC-Messungen	35
3.2.2.1	Gußzustand	35
3.2.2.2	Umwandlungstemperaturen nach thermomechanischer Behandlung	35
3.2.3	Dilatometermessungen (Legierung BO)	36
3.3	Das teilweise unterdrückte Formgedächtnis	37
3.3.1	Zyklen in der Zugprüfmaschine	37
3.3.1.1	Freie Formänderung	37
3.3.1.2	Vollständig unterdrückte Formänderung	38
3.3.1.3	Teilweise unterdrückte Formänderung	39
3.3.2	Zyklen im Verbundwerkstoff	39
3.4	Silikonkautschuk als Sensorwerkstoff	41
3.5	Auswirkung der Beanspruchung auf die Formgedächtniseigenschaften	41
3.5.1	Zyklen in der Zugprüfmaschine	41
3.5.2	Zyklen im Verbundwerkstoff	42
3.6	Einfluß thermomechanischer Behandlung auf die Ω -Kennlinie	43
3.6.1	Legierung BO	43
3.6.2	Legierung X2	43
3.6.3	Legierung G4	44
3.6.4	Legierung B25	44
3.7	Schweißbarkeit von NiTi-Legierungen	45
3.7.1	Schweißversuche an Proben der Legierung G5	45
3.7.2	Schweißversuche an Blechen der Leg. G5 mit Stahlblech	46

4. Diskussion	47
4.1 Eigenschaften von FG-Legierungen für Greifersysteme	48
4.2 Herstellung und Charakterisierung der Legierungen	49
4.2.1 Schmelzmetallurgie und Mikrostruktur	49
4.2.2 Struktur- und Funktionseigenschaften im Ausgangszustand	52
4.3 Die teilweise unterdrückte Formänderung	55
4.3.1 Vorüberlegungen	55
4.3.2 Zyklen in der Zugprüfmaschine	57
4.3.3 Zyklen im Verbundwerkstoff	62
4.4 Silikonkautschuk als Sensorwerkstoff	65
4.5 Optimierung der Ω -Kennlinie	67
4.5.1 Einflußgrößen auf die Hysterese der Ω -Kennlinie	68
4.5.2 Modell zur Erklärung der Ω -Kennlinie	72
4.6 Schweißbarkeit von NiTi-Formgedächtnislegierungen	75
4.6.1 Schweißverbindungen von NiTi- mit NiTi-Blechen	77
4.6.2 Schweißverbindungen von Blechen der Leg. G5 mit Stahlblech	78
4.7 Abschließende Bemerkungen und Ausblick	80
5. Zusammenfassung/Summary	82
6. Tabellen und Abbildungen	89
7. Literatur	176