

Dortmunder Umformtechnik

Band 105

**Christoph Dahnke**

**Verbundstrangpressen adaptiver  
Leichtbaukomponenten aus Aluminium  
und Formgedächtnislegierungen**

D 290 (Diss. Technische Universität Dortmund)

Shaker Verlag  
Düren 2019

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Stand der Kenntnisse</b>	<b>3</b>
2.1	Kontinuierliches Verbundstrangpressen .....	3
2.1.1	Verfahrenscharakteristika des Verbundstrangpressens .....	3
2.1.2	Untersuchungen zur Prozessstabilität.....	6
2.1.3	Herstellbare Profilgeometrien und Prozessgrenzen .....	10
2.1.4	Eigenschaften stahlverstärkter Verbundprofile .....	13
2.2	Formgedächtnislegierungen .....	16
2.2.1	Grundlagen der Formgedächtniseigenschaften .....	16
2.2.2	Spannungs-Dehnungsverhalten .....	18
2.2.3	Nutzbare Effekte.....	21
2.2.4	Einflüsse auf die Formgedächtniseigenschaften .....	25
2.3	Formgedächtnis-Verbundwerkstoffe .....	33
2.3.1	Werkstoffpaarungen und Eigenschaften .....	34
2.3.2	Formgedächtnis-Metall-Matrix-Verbundwerkstoffe.....	36
2.4	Anwendungsmöglichkeiten von Formgedächtnislegierungen.....	43
2.4.1	Aktuelle Einsatzgebiete.....	43
2.4.2	Potenzial stranggepresster Verbundaktuatoren .....	45
2.5	Fazit.....	47
<b>3</b>	<b>Zielsetzung und Vorgehensweise</b>	<b>49</b>
<b>4</b>	<b>Wirkungsweise und theoretische Betrachtungen</b>	<b>51</b>
4.1	Nutzbarkeit FGL-induzierter Druckspannungen .....	51
4.2	Wirkprinzip verbundstranggepresster Biegeaktuatoren.....	54
4.3	Theoretische Betrachtungen.....	57
4.3.1	Auftretende Spannungen .....	57
4.3.2	Resultierende Krümmung bei exzentrischer Einbettung.....	62
4.4	Fazit.....	66
<b>5</b>	<b>Herstellung von Biegeaktuatoren mittels Strangpressen</b>	<b>67</b>
5.1	Verbundstrangpressen.....	67
5.1.1	Strangpresswerkzeug.....	67
5.1.2	Untersuchungen zur außermittigen Einbettung.....	69
5.2	Charakterisierung der verwendeten NiTi-Legierung .....	71
5.2.1	Temperaturabhängiges Spannungs-Dehnungs-Verhalten .....	72
5.2.2	Umwandlungstemperaturen in Abhängigkeit der Spannung .....	73
5.3	Einflüsse auf die thermomechanischen Eigenschaften der NiTi-Drähte .....	74
5.3.1	Prozesstemperatur und Wärmebehandlung .....	74

5.3.2 Vordehnung und Aktivierungstemperatur.....	75
5.4 Herstellung und experimentelle Erprobung eines Biegeaktuators.....	78
5.4.1 Herstellung und Weiterverarbeitung der Verbundprofile .....	78
5.4.2 Thermische Aktivierung.....	80
5.5 Fazit.....	86
<b>6 Eigenschaften verbundstranggepresster Biegeaktuatoren</b>	<b>87</b>
6.1 Ermittlung und Analyse von Einflussfaktoren.....	87
6.1.1 Einflüsse durch Weiterverarbeitung und Aktivierung .....	87
6.1.2 Einflüsse durch konstruktive Gestaltung und Fertigung.....	89
6.1.3 Erkenntnisse aus den Untersuchungen der Einflussfaktoren .....	97
6.2 Analytische Beschreibung der resultierenden Krümmung .....	98
6.2.1 Ermittlung der Eigenspannungen nach dem Recken.....	99
6.2.2 Ermittlung der temperaturabhängigen Aktivierungskraft .....	100
6.2.3 Analytische Vorhersage der elastischen Krümmung .....	102
6.3 Untersuchung der Grenzschichteigenschaften .....	105
6.4 Fazit.....	114
<b>7 Numerische Analyse und Aktuator-Design</b>	<b>115</b>
7.1 Modellierung der Formgedächtniseigenschaften .....	115
7.1.1 Werkstoffmodell.....	115
7.1.2 Verhalten im einachsigen Zugversuch .....	119
7.2 Numerische Analyse der Verbundaktuatoren .....	120
7.2.1 Aufbau des FE-Modells.....	120
7.2.2 Simulation der Auslenkung .....	123
7.2.3 Analyse der auftretenden Spannungen .....	127
7.3 Übertragbarkeit der Parameter .....	135
7.4 Auslegung eines Demonstrators.....	139
7.5 Fazit.....	145
<b>8 Mechanische Eigenschaften bei erhöhter Temperatur</b>	<b>147</b>
8.1 Zugversuch.....	147
8.2 3-Punkt-Biegeversuch.....	152
8.3 Kerbschlagbiegeversuch .....	155
8.4 Fazit.....	158
<b>9 Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>159</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>163</b>
<b>Anhang A</b>	<b>177</b>