

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>i</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>iii</b>
<b>Nomenklatur</b>	<b>v</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Stand der Technik</b>	<b>3</b>
2.1 Grundlagen des Fließ- und Fließblockformens . . . . .	3
2.2 Fließblockformendes Schrauben . . . . .	10
2.3 Mechanisches Fügen mittels Hochgeschwindigkeitsbolzensetzen . . . . .	16
2.4 Prozesssimulation . . . . .	17
2.5 Kennwertermittlung mittels Werkstoffsimulation . . . . .	20
2.6 Mechanische Bearbeitung mit Industrierobotern . . . . .	21
2.7 Zusammenfassung . . . . .	24
<b>3 Zielsetzung und methodisches Vorgehen</b>	<b>25</b>
<b>4 Versuchswerkstoffe und -einrichtungen</b>	<b>27</b>
4.1 Fügepartiewerkstoffe . . . . .	27
4.2 Hilfsfügeteile . . . . .	28
4.3 Fertigungs- und Versuchseinrichtungen und Prüfverfahren . . . . .	30
4.3.1 Fügeeinrichtung . . . . .	30
4.3.2 Messeinrichtungen . . . . .	33
4.3.3 Probengeometrien und Versuchsvorrichtungen . . . . .	37
<b>5 Voruntersuchungen</b>	<b>39</b>
5.1 Identifizierung der Versagensarten an der Prozessgrenze . . . . .	39
5.2 Einfluss der Prozessparameter auf die Beanspruchung des Hilfsfügeteils . . . . .	40
5.3 Einfluss der Prozessparameter auf die Werkstücktemperatur . . . . .	41
5.4 Bewertung der Einflussgrößen in Bezug auf die Verbindungsqualität . . . . .	42
<b>6 Einfluss der Roboterdynamik auf den Fügeprozess und die Verbindungsqualität</b>	<b>47</b>
6.1 Einfluss der Roboterposition auf die Beanspruchung des Hilfsfügeteils beim Verbinden hochfester Werkstoffe . . . . .	47
6.1.1 Vermessung der Roboterabdrängung beim FLS-Prozess . . . . .	48
6.1.2 Beschreibung der untersuchten Fügepositionen . . . . .	50
6.1.3 Bewertung der Hilfsfügeteilbeanspruchung bei Variation der Roboterposition . . . . .	51

6.2	Methodik einer Vorhersage der Roboterabdrängung in Abhängigkeit der Roboterposition und des TCP . . . . .	55
6.2.1	Variation der Roboterposition . . . . .	57
6.2.2	Variation des TCP relativ zum Roboterflansch . . . . .	58
<b>7</b>	<b>Experimentelle Prozessanalyse fließlochformendes Schrauben</b>	<b>59</b>
7.1	Prozesskurvenanalyse servo-pneumatischer und servo-elektrischer Schraubensysteme . . . . .	59
7.2	Einfluss der Prozessführung auf die axiale Fügekraft . . . . .	61
7.3	Metallographie und Härtemapping gefügter FLS-Proben . . . . .	66
7.4	Tragfähigkeiten servo-elektrisch und servo-pneumatisch gefügter hochfester FLS-Verbindungen . . . . .	69
<b>8</b>	<b>Numerische Simulation des fließlochformenden Schraubens</b>	<b>72</b>
8.1	FLS-Simulationsmodell . . . . .	72
8.1.1	Aufbau des FLS-Simulationsmodells . . . . .	72
8.1.2	Kennermittlung mit JMAT Pro . . . . .	74
8.2	Experimentelle Prozessvalidierung . . . . .	76
8.2.1	Ermittlung der realen Vorschubgeschwindigkeit . . . . .	77
8.2.2	Prozessverifizierung . . . . .	79
8.3	Variation des Hilfsfügeteils . . . . .	81
8.4	Variation der Prozessparameter . . . . .	85
8.5	Numerische Berechnung der Beanspruchung der Schraube aufgrund der Roboternachgiebigkeit . . . . .	89
<b>9</b>	<b>Einfluss der Bauteilsteifigkeiten auf die Verbindungsqualität</b>	<b>93</b>
9.1	Lokale Deformation der Einschraubteile . . . . .	94
9.2	Einfluss der Einschraubteildeformation auf das Tragverhalten . . . . .	95
9.3	Bewertung der Deformationen des gesamten Bauteils . . . . .	96
<b>10</b>	<b>Verfahrensgrenzenanalyse vom robotergeführten Fließlochschaubprozess</b>	<b>98</b>
10.1	Bewertungskriterien für die Verbindungsqualität hochfester FLS-Verbindungen . . . . .	99
10.2	Schliffbildanalyse mit hochfester FLS-Verbindungen . . . . .	99
<b>11</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>102</b>
	<b>Normen, Richtlinien und Merkblätter</b>	<b>105</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>107</b>
	<b>Datenblätter und Manuals</b>	<b>113</b>