

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	i
Abkürzungsverzeichnis	iii
Nomenklatur	v
1 Einleitung	1
2 Stand der Technik	3
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
3 Zielsetzung und methodisches Vorgehen	25
4 Versuchswerkstoffe und -einrichtungen	27
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
5 Voruntersuchungen	39
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
6 Einfluss der Roboterdynamik auf den Fügeprozess und die Verbindungsqualität	47
6.1 Einfluss der Roboterposition auf die Beanspruchung des Hilfsfügeteils beim Ver- binden 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 Roboterpo- sition	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
7	Experimentelle Prozessanalyse fließlochformendes Schrauben	59
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
8	Numerische Simulation des fließlochformenden Schraubens	72
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
9	Einfluss der Bauteilsteifigkeiten auf die Verbindungsqualität	93
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
10	Verfahrensgrenzenanalyse vom robotergeführten Fließlochschaubprozess	98
10.1	Bewertungskriterien für die Verbindungsqualität hochfester FLS-Verbindungen	99
10.2	Schliffbildanalyse mit hochfester FLS-Verbindungen	99
11	Zusammenfassung	102
	Normen, Richtlinien und Merkblätter	105
	Literaturverzeichnis	107
	Datenblätter und Manuals	113