

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abkürzungs- und Formelzeichenverzeichnis	V
1 Einleitung	1
1.1 Allgemeines	1
1.2 Anwendungen des Rührreißschweißens	1
1.3 Motivation	6
1.4 Ziel der Arbeit	6
1.5 Aufbau der Arbeit und Vorgehensweise	7
2 Grundlagen	9
2.1 Allgemeines	9
2.2 Schweißprozess	9
2.2.1 Ablauf	9
2.2.2 Parameter	11
2.2.3 Schweißnahtzonen	13
2.2.4 Vorteile des Verfahrens	14
2.2.5 Nachteile des Verfahrens	15
2.3 Prüfung von Schweißverbindungen	16
2.3.1 Zugversuch	16
2.3.2 Biegeprüfung	19
2.3.3 Schweißnahtmerkmale	20
2.3.4 Härtemessung	22
2.4 Industrieroboter	23
2.4.1 Aufbau	24
2.4.2 Bewegungsplanung eines Roboters	25
2.4.3 Steifigkeiten im Raum	27
3 Stand der Technik	29
3.1 Allgemeines	29

Inhaltsverzeichnis

3.2	FSW-Anlagen	29
3.2.1	Spezialanlagen	30
3.2.2	CNC-Maschinen	32
3.2.3	Tripoden	34
3.2.4	Knickarmroboter	35
3.3	Werkzeugentwicklung für Roboter	37
3.4	Zusammenfassung und Handlungsbedarf	42
4	Experimenteller Aufbau	45
4.1	Allgemeines	45
4.2	Schwerlastroboter	45
4.3	Spindel	48
4.4	Kraftregelung	48
4.5	Umgebung	49
4.6	Verwendete Werkzeuge	49
5	Einfluss der Anlagentechnik auf den Schweißprozess	51
5.1	Allgemeines	51
5.2	Schweißen mit hohen Drehzahlen	51
5.2.1	Versuchsbedingungen	51
5.2.2	Versuchsdurchführung	55
5.2.3	Auswertung der Versuche	57
5.3	Schweißen mit niedrigen Drehzahlen	78
5.3.1	Vorbemerkung	78
5.3.2	Versuchsplanung	78
5.3.3	Ergebnisse	80
5.4	Schlussfolgerungen zur Anlagenfähigkeit	90
5.4.1	Anwendungsbereich des Roboters	90
5.4.2	Qualität der erzeugten Schweißnähte	91
5.4.3	Kraft-/Positionsregelung	92

5.4.4	Systemverhalten beim Eintauchen und Schweißen	92
5.4.5	Auswirkungen der Prozesskräfte auf die elastische Strukturverformung des Roboters	94
6	Schweißen enger Radien mit einem Roboter	97
6.1	Allgemeines	97
6.2	Übergang von ebenem zu konvexem Schweißnahtverlauf	98
6.2.1	Kontakt des Werkzeuges auf der Fügeteiloberseite	98
6.2.2	Resultierende Nahtformen	100
6.2.3	Wärmetransport in die Spannvorrichtung	102
6.2.4	Mögliche resultierende Nahtmerkmale	103
6.3	Erwarteter Einfluss des Roboters	105
6.4	Abhilfestrategien	106
6.4.1	Variation des Anstellwinkels über dem Radius	106
6.4.2	Änderung der programmierten Bahn	110
6.4.3	Optimierung der Schultergeometrie	111
6.5	Modellbildung und Simulation des Schweißvorganges	114
6.5.1	Zweck des Modells	114
6.5.2	Aufbau des Modells	115
6.5.3	Ideal steifes System	115
6.5.4	Nachgiebigkeitsbehaftetes System	125
6.6	Versuchsbedingungen	128
6.7	Versuchsdurchführung	131
6.7.1	Vorgehen	131
6.7.2	Erfassung der realen Roboterbahn	131
6.7.3	Einstellung der grundlegenden Prozessparameter	133
6.7.4	Referenzversuche ohne Anpassungen	135
6.7.5	Variation der Schweißstrategie	136
6.7.6	Variation des Werkzeuges	144