

Berichte des Lehrstuhls Füge- und Schweißtechnik
der BTU Cottbus-Senftenberg

Band 9

Mirjam Kapp

**Untersuchung der Einflussfaktoren auf die
Kaltrissanfälligkeit niedriglegierter Stähle beim
Laserstrahlschweißen an zylindrischen Bauteilen**

Shaker Verlag
Aachen 2015

INHALTSVERZEICHNIS

1	IDEE DER DISSERTATION	1
1.1	Motivation	1
1.2	Ziel	1
1.3	Idee	2
1.4	Aufbau der Dissertation	2
2	STAND DER TECHNIK	3
2.1	Laserstrahlschweißen, Schweißfehler und Werkstoffverhalten	3
2.1.1	Laserstrahlschweißen	3
2.1.2	Schweißfehler beim Laserstrahlschweißen	3
2.1.3	Kaltrisse	4
2.1.4	Entstehung und Einflussfaktoren der Kaltrissbildung	5
2.1.5	Nahtmittenrisse	6
2.1.6	Werkstoffverhalten von Stählen	8
2.2	Definition und Bildung von Eigenspannungen	12
2.2.1	Definition des Eigenspannungsbegriffs	12
2.2.2	Bildung von Schweißeigenspannungen	13
2.2.3	Schrumpfeigenspannungen	14
2.2.4	Abschreckeigenspannungen	14
2.2.5	Umwandlungseigenspannungen	15
2.2.6	Überlagerung der verschiedenen Spannungen	16
2.3	Kaltrisstests	17
2.4	Schweißsimulation	18
2.4.1	Werkstoff- und Gefügesimulation	20
2.4.2	Angewendete Struktursimulationsmethode	23
2.5	Resümee und Zielsetzung aus dem Stand der Technik	25
3	EXPERIMENTELLE ARBEITEN	27
3.1	Untersuchungen der Einflussfaktoren	27
3.1.1	Laserparameter und Schweißwinkel	27
3.1.2	Bauteilgeometrie	29
3.1.3	Werkstoffe	30
3.2	Versuchsplanung	31
3.2.1	Untersuchte Werkstoffe	31
3.2.2	Schweißproben	33
3.2.3	C45 Blechschweißungen	35
3.3	Versuchsdurchführung	35

3.3.1	Vorbereitungen	35
3.3.2	Schweißen der rotationssymmetrischen Proben	36
3.3.3	Schweißen der C45-Bleche	38
3.4	Versuchsergebnisse der rotationssymmetrischen Proben	39
3.4.1	Temperaturmessung	39
3.4.2	Schweißverzug	39
3.4.3	Schweißnahtgeometrie	40
3.4.4	Untersuchung der Risse	42
3.4.5	Härteverteilung	48
3.5	Versuchsergebnisse der C45-Blechschiweißungen	51
3.5.1	Temperaturmessungen	51
3.5.2	Transiente Verzugsmessungen	52
3.6	Resümee der Versuchsergebnisse	52
4	WERKSTOFFMODELL UND WERKSTOFFDATEN	57
4.1	Beschreibung des Werkstoffmodells	57
4.1.1	Thermische Berechnung	57
4.1.2	Mechanische Berechnung	58
4.2	Experimentell ermittelte Werkstoffdaten	59
4.2.1	Werkstoffdaten für thermische Berechnungen	60
4.2.2	Werkstoffdaten für mechanische Berechnungen	62
4.3	Berechnete Werkstoffdaten	70
4.3.1	CALPHAD-Methode	70
4.3.2	Berechnung mit der Software JMatPro	71
4.3.3	Vergleich von berechneten und experimentellen Daten	73
4.3.4	Auswirkungen auf Simulationsergebnisse	80
4.4	Werkstoffkennwerte für Mischverbindungen	82
4.4.1	Spannungs- Dehnungs- Kurven	82
4.4.2	Wärmedehnung	83
4.5	Resümee zu den Werkstoffdaten	84
5	SCHWEISSSIMULATION	85
5.1	Ablauf der Schweißsimulation	85
5.1.1	Temperaturfeldsimulation	86
5.1.2	Thermomechanische Simulation	87
5.1.3	Berechnung der Härte	90
5.2	Validierung der Simulation	93
5.2.1	Blechschiweißungen	93
5.2.2	Validierung am Hohlbolzen	98
5.2.3	Validierung der Schweißproben	102
5.3	Auswertung der Simulationen an den Schweißproben	104
5.3.1	Simulierte Härteverteilung	107

5.3.2	Schweißeigenspannungen	110
5.4	Resümee aus den Schweißsimulationen	118
6	KALTRISSKRITERIUM	121
6.1	Theoretische Überlegungen	121
6.1.1	Spannungen	121
6.1.2	Einflussfaktoren	121
6.2	Korrelation der Härte mit der Spannung	123
6.3	Diskussion weiterer Einflussfaktoren	124
6.3.1	Härtegradient	125
6.3.2	Wasserstoff	126
6.4	Resümee zum Kaltrisskriterium	128
7	ZUSAMMENFASSUNG	131
	LITERATURVERZEICHNIS	135