

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
2 Stand der Technik	3
2.1 Längsnahtgeschweißte Stahlrohre	3
2.1.1 Walzprofilieren	4
2.1.2 Schweißverfahren	7
2.1.3 Schweißnahtprüfung von Stahlrohren	9
2.1.4 Einflussgrößen beim HFI-Schweißen	11
2.2 Pressschweißen	14
2.2.1 Entstehung einer Schweißverbindung	14
2.2.2 Schweißnaht von HFI geschweißten Rohren	19
2.2.3 Einflussgrößen auf Schweißnahtqualität	20
2.3 Werkstoffverhalten	22
2.3.1 Plastische Formänderung	22
2.3.2 Gefügeumwandlung	26
2.3.3 Elektromagnetische Erwärmung	29
2.3.4 Thermische Eigenschaften	32
2.4 Mathematische Modellierung	34
2.4.1 Elektromagnetische Modelle	34
2.4.2 Thermische Modelle	38
2.4.3 Modelle für die Phasenumwandlung	40
2.4.4 Mechanische Modelle	42
2.5 FE-Simulationen des Rohrschweißens	46
3 Zielsetzung und Vorgehensweise	49
4 Experimentelles	53
4.1 Werkstoffe	53
4.2 Methoden und Versuche zur Werkstoff-Charakterisierung	56
4.2.1 Bestimmung der Fließkurven	56
4.2.2 Bestimmung des Bauschinger-Effekts	57
4.2.3 Bestimmung der thermischen Kennwerte	58
4.2.4 Bestimmung der Phasenumwandlungspunkte	59
4.2.5 Bestimmung der magnetischen Kennwerte	59
4.2.6 Bestimmung der Eigenspannungen	61

4.2.7	Bestimmung des Mikrogefüges	64
4.3	Bauteilversuche auf Schweißanlage	64
4.4	Versuche auf dem Platinenschweiß-Prüfstand	66
4.5	Versuche zur Schweißnaht-Charakterisierung	67
5	Werkstoffverhalten des Vergütungsstahls 34MnB5	69
5.1	Charakterisierung und Modellierung der Verfestigung	69
5.2	Thermische und physikalische Werkstoffkenngrößen	80
5.3	Elektromagnetische Werkstoffkenngrößen	83
5.4	Phasenumwandlung	87
5.5	Berechnete Werkstoffkenngrößen	89
6	Schweißnahtqualität beim HFI-Schweißen	91
6.1	Modellversuch für das HFI-Schweißen	91
6.1.1	Prozessgrößen beim HFI-Schweißen	91
6.1.2	Platinenschweiß-Prüfstand	93
6.2	Schweißnahtqualität	99
6.2.1	Versuche zur Bestimmung der Schweißnahtqualität	99
6.2.2	Bestimmung der Schweißnahtqualität	101
6.2.3	Modell für die Schweißnahtqualität	105
6.3	Metallografische Untersuchung der Schweißnaht	107
6.3.1	Härteverlauf	107
6.3.2	Gefüge und Austenitkorngröße	110
6.3.3	Mikroskopische Einflussgrößen auf Schweißnahtqualität .	112
7	Prozessmodellierung und FE-Simulation	115
7.1	Prozessmodellierung	116
7.1.1	Walzprofilieren	116
7.1.2	HFI-Pressschweißen	118
7.2	Simulationsergebnisse und experimentelle Validierung	122
7.2.1	Schlitzrohrgeometrie nach dem Walzprofilieren	122
7.2.2	Induzierte Wirbelströme und Temperatur	125
7.2.3	Stauchkraft und Normalspannung	129
7.2.4	Rohrgeometrie nach dem HFI-Schweißen	130
7.2.5	Gefügeverteilung und Härteverlauf	131
7.2.6	Eigenspannungen	134
7.2.7	Qualität der Schweißnaht	138
8	Zusammenfassung und Ausblick	143