

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungen und Symbole	IX
Eigene Veröffentlichungen	XI
1 Motivation und Einleitung	1
2 Theoretische Grundlagen	5
2.1 Wärmebehandlung von Eisenwerkstoffen	5
2.1.1 Martensitisches Härteln und Anlassen von Stählen	6
2.1.2 Induktive Wärmebehandlung - Verfahren und Besonderheiten	11
2.1.3 Festigkeitssteigerung durch Ausscheidungshärtung	14
2.2 Oberflächenbehandlungsverfahren zur Verbesserung der Randschicht-eigenschaften metallischer Werkstoffe	16
2.2.1 Mechanische Oberflächenbehandlungsverfahren	16
2.2.2 Randschichteigenschaften nach mechanischer Oberflächenbehand-lung	19
2.2.3 Kombinationsmöglichkeiten mechanischer Oberflächenbehandlungs-verfahren	27
2.3 Eigenspannungen in metallischen Werkstoffen	30
2.3.1 Eigenspannungen - Entstehung und Definition	30
2.3.2 Methoden zur Analyse von Eigenspannungen	31
2.3.3 Mechanismen der Eigenspannungsstabilität	35
2.4 Ermüdungsverhalten metallischer Werkstoffe	36
2.4.1 Entstehung von Ermüdungsbrüchen - Werkstoffverhalten unter zyklischer Belastung	37
2.4.2 Schwingfestigkeitsuntersuchungen - Bestimmung von Ermüdungs-eigenschaften und Materialverhalten	39
2.4.3 Besonderheiten randschichtverfestigter Bauteile bei zyklischer Be-lastung	43
2.5 Alternative Werkstoffsysteme	46
2.5.1 Hochentropielegierungen	46
2.5.2 Martensitisch aushärtbare hochfeste Stähle	50
3 Werkstoffe und Proben	57
3.1 Der niedriglegierte Vergütungsstahl 42CrMo4	58
3.2 Das äquiatomare High-Entropy Alloy CrMnFeCoNi	59
3.3 Der martensitisch aushärtbare Stahl Maraging C250	61
4 Experimentelle Methoden	63
4.1 Mechanische Oberflächenbehandlung - Festwalzen auf unterschiedlichen Temperaturniveaus	63
4.1.1 Festwalzen bei Raum- und Hochtemperatur	64
4.1.2 Kryogenes Festwalzen	67

4.2	Methoden der Randschichtcharakterisierung	68
4.2.1	Geometrische Untersuchungen - Oberflächenrauheit	68
4.2.2	Mikroskopische Analysemethoden	69
4.2.3	Messung der Werkstoffhärte	69
4.2.4	Röntgenographische Messungen der Eigenspannungen und Integralbreiten	70
4.3	Mechanische Charakterisierung	71
4.3.1	Zugversuch - Ermittlung quasistatischer Kennwerte	71
4.3.2	Schwingfestigkeitsuntersuchungen - Ermittlung des Werkstoffverhaltens unter zyklischer Belastung	72
5	Prozesskette - Konzeption, Aufbau und Parameteroptimierung	75
5.1	Induktive Wärmebehandlung des niedriglegierten Vergütungsstahls 42CrMo4	75
5.1.1	Parameterstudie und Prozessoptimierung des induktiven Härtprozesses	75
5.1.2	Induktives Anlassen - Machbarkeit, Parameter und Prozessoptimierung	86
5.1.3	Zusammenfassung der Ergebnisse zur induktiven Wärmebehandlung	93
5.2	Integrierte Kombination von Wärmebehandlung und Festwalzen - Anwendungsmöglichkeiten, Prozessabläufe und Bewertung	94
5.2.1	Komponenten und potentielle Prozessrouten der integrierten Prozesskette	95
5.2.2	Zusammenfassende Erläuterungen und Bewertung der Prozesskette	97
6	Festwalzen unter Temperatureinfluss	99
6.1	Einfluss wesentlicher Festwalzparameter auf die randnahen Werkstoffeigenschaften des niedriglegierten Vergütungsstahls 42CrMo4	99
6.1.1	Entwicklung der Bauteillebensdauer	102
6.1.2	Werkstofftechnische Bewertung der Ergebnisse nach der Prozesintegration	110
6.2	Hochtemperaturfestwalzen von Maraging C250	113
6.2.1	Eigenschaften der Werkstoffrandschicht nach kombinierter Wärme- und Oberflächenbehandlung	116
6.2.2	Werkstoffverhalten unter zyklischer Belastung	119
6.2.3	Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse - Potenzial der Prozesskombination von Wärmebehandlung und Festwalzen des martensitisch aushärtbaren Stahls Maraging C250	123
6.3	Kryogenes Festwalzen von CrMnFeCoNi	127
6.3.1	Charakteristische Randschichteigenschaften	128
6.3.2	Werkstoffverhalten unter zyklischer Belastung	133
6.3.3	Zusammenfassende Bewertung und Diskussion der Auswirkungen des kryogenen Festwalzens von CrMnFeCoNi	138
7	Zusammenfassung und Ausblick	141
Abbildungsverzeichnis		149
Tabellenverzeichnis		157

Literaturverzeichnis	159
Anhang	XIII