
Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Stand der Technik	5
2.1	Induktives Randschichthärten	5
2.2	Wärmebehandlungssimulation	18
2.3	Simulation des induktiven Randschichthärtens	20
2.4	Ersatzwärmequellen	26
3	Werkstoffe und Methoden	31
3.1	Untersuchter Werkstoff	31
3.1.1	Chemische Zusammensetzung und Werkstoffstruktur	31
3.1.2	Probenentnahme am Ring	37
3.1.3	Umwandlungsverhalten bei Erwärmung und Abkühlung	38
3.1.4	Weitere Werkstoffeigenschaften	43
3.2	Experimentelle Randschichthärtung	44
3.2.1	Bauteilgeometrie	44
3.2.2	Induktionshärten der Ringabschnitte	48
3.2.3	In-situ Temperaturmessungen	50
3.2.4	Probenentnahme an Ringabschnitten	51
3.2.5	Metallografie	52
3.2.6	Härteprüfung	52
3.3	Simulation des Randschichthärtens	54
3.3.1	Simulationssoftware COMSOL Multiphysics®	54
3.3.2	Thermische Simulationen	55
3.3.3	Erweiterung um das Phasenumwandlungsverhalten	58
4	Experimentelle Ergebnisse	65
4.1	In-situ Temperaturmessungen	65
4.2	Metallografie	74
4.3	Härteprüfung	83

5	Entwicklung der Randbedingungen für Erwärmung und Abschreckung	91
5.1	Entwicklung der Ersatzwärmequelle	91
5.2	Definition der Abschreckung	104
6	Simulationsergebnisse	111
6.1	Thermische Simulationen	111
6.2	Thermisch-metallurgische Simulationen	118
7	Diskussion.....	123
7.1	Experimentelle Ergebnisse	123
7.1.1	Temperaturentwicklung	123
7.1.2	Metallografie und Härteprüfung	126
7.2	Validierung der Simulationen	133
7.2.1	Thermische Simulationen	133
7.2.2	Korrelation von Gefügeverteilung und Härte	138
7.2.3	Gefügeverteilung und Härte	141
7.3	Fehlerquellen bei der Temperaturmessung	144
7.4	Anpassungen aufgrund der Temperaturrekonstruktion.....	149
8	Zusammenfassung.....	165
	Literaturverzeichnis	I
	Anhang	XIII
A.	Positionen der Thermoelementmessungen	XIII
B.	Vernetzung und Solvereinstellungen	XIX
C.	Parameter der Ersatzwärmequellen	XXIII
D.	Rekonstruktion der Temperatur-Zeit-Verläufe	XXVI
E.	Einfluss des vereinfachten Umwandlungsmodells auf die metallurgischen Ergebnisse	XXIX
	Abkürzungsverzeichnis.....	XXXIII
	Symbolverzeichnis.....	XXXIV
	Abbildungsverzeichnis.....	XXXVII
	Tabellenverzeichnis	XLV

Verzeichnis im Rahmen der Promotion betreuter studentischer Arbeiten XLVI

Danksagung XLVII