

Inhaltsverzeichnis – Content

1	Einleitung – Introduction.....	22
1.1	Ziel des Forschungsvorhabens und Lösungsweg – Goal of the research project and approach	23
2	Stand der Forschung – State of the art	25
3	Werkstoffe und Fertigung der Modellbauteilproben – Materials and manufacturing the component-like specimens.....	31
3.1	Auswahl der Werkstoffe und Beschaffung – Selection of materials and procurement	31
3.2	Werkstoffcharakterisierung der Halbzeuge – Material characterization of the semi-finished products	31
3.3	Geometrie Modellbauteilproben und Fertigung – Geometry component-like specimens and manufacturing.....	32
4	Vier-Punkt-Biegevorrichtung – 4-point bending device	35
4.1	FEM-Berechnung der Vorrichtung - FEM calculation of the device	35
4.2	Fertigung der 4-Punkt-Biegevorrichtung – Manufacturing of the 4-point bending device	38
4.3	Montage der 4-Punkt-Biegevorrichtung und Vorversuche – Installation of the 4-point bending device and preliminary test	38
5	Erweiterung Funktionalität SYSWELD – Extension of the SYSWELD functionality ..	40
5.1	Entwicklung eines Mehrfeld-Solvers – Development of a Multi-field solver	40
5.1.1	Übersicht Mehrfeld-Solver – Overview Multi-field solver	40
5.1.2	Theoretische Grundlagen – Theoretical basis	42
5.1.3	Anwendungsbeispiel Stirnabschreckversuch Einsatzstahl 16MnCrB5 – Example Jominy end-quench test of the steel 16MnCrB5.....	44
5.2	Analyse von Niederdruckaufkohlungsprozessen – Analysis of low pressure carburizing processes	49
5.2.1	Einführung – Introduction	49
5.2.2	Theoretische Grundlagen – Theoretical basis	49
5.2.3	Validierung der SYSWELD-Implementation – Validation of the SYSWELD implementation	50
5.3	Bestimmung der Anlasshärte einsatzgehärteter Bauteile – Determining the tempered hardness of case-hardened components	51
5.3.1	Einführung – Introduction	51
5.3.2	Theoretische Grundlagen – Theoretical basis.....	51
5.3.3	Validierung der SYSWELD-Implementation – Validation of the SYSWELD implementation	52
6	Numerische Untersuchungen – Numerical investigations	53

6.1	Elastizitätstheoretische Untersuchungen – Theoretical mechanics investigations ..	54
6.1.1	Einleitung – Introduction	54
6.1.2	Welle mit Querbohrung – Shaft with cross hole	54
6.1.3	Welle mit Absatz – Shaft with shoulder	57
6.2	Optimierung von Einsatzhärtungsprozessen – Optimization of case hardening processes	60
6.2.1	Übersicht – Overview	60
6.2.2	Optimierungszielfunktionen – Objective functions of the optimization	61
6.2.3	Verfahren und Vorgehensweise – Method and procedure	63
6.2.4	Ergebnisse – Results	65
6.3	Simulation der Einsatzhärtung – Simulation of the case hardening	75
6.3.1	Vorbemerkungen – Preliminary notes	75
6.3.2	Ergebnisse der Simulation der Standard-Einsatzhärtung (SEH) – Results of the simulation of the standard case hardening (SEH)	77
6.3.3	Ergebnisse der Simulation der modifizierten Einsatzhärtung (MEH) – Results of the simulation of the modified case hardening (MEH)	77
6.4	Bauteildauerfestigkeitsabschätzung – Fatigue strength assessment	97
6.4.1	Übersicht Dauerfestigkeitskonzept – Overview fatigue limit concept	97
6.4.2	Theoretische Grundlagen – Theoretical basis	98
6.4.3	Implementation des Dauerfestigkeitsmodells – Implementation of the fatigue limit concept	100
6.4.4	Ergebnisse der Dauerfestigkeitsabschätzung – Results of the fatigue strength assessment	100
7	Einsatzhärtung der Modellbauteilproben – Case hardening of the component-like specimens	102
7.1	Standard-Einsatzhärtung (SEH) – Standard case hardening (SEH)	102
7.2	Modifizierte Einsatzhärtung (MEH) – Modified case hardening (MEH)	103
7.3	Charakterisierung Zustand Modellbauteilproben – Characterization of the material condition of the component-like specimens	104
7.3.1	Zustand nach Einsatzhärtung - Welle mit Querbohrung – Condition after case hardening - Shaft with cross hole	104
7.3.2	Welle mit Querbohrung - 18CrNiMo7-6 – Shaft with cross hole - 18CrNiMo7-6	105
7.3.3	Welle mit Querbohrung – 20MnCrB5 – Shaft with cross hole - 20MnCrB5	107
7.3.4	Zustand nach Einsatzhärtung - Welle mit Absatz – Condition after case hardening - Shaft with shoulder	109
7.3.5	Welle mit Absatz – 18CrNiMo7-6 - Shaft with shoulder - 18CrNiMo7-6	109

7.3.6	Welle mit Absatz – 20MnCrB5 – Shaft with shoulder - 20MnCrB5	112
8	Experimentelle Untersuchungen – Experimental investigations.....	114
8.1	Schwingversuche – Fatigue tests	115
8.1.1	Ergebnisse Schwingversuche – Welle mit Querbohrung – 18CrNiMo7-6 – Results fatigue tests - shaft with cross hole - 18CrNiMo7-6	116
8.1.2	Ergebnisse Schwingversuche – Welle mit Querbohrung – 20MnCrB5 – Results fatigue tests - shaft with cross hole - 20MnCrB5	118
8.1.3	Ergebnisse Schwingversuche – Welle mit Absatz – 18CrNiMo7-6 – Results fatigue tests - Shaft with shoulder - 18CrNiMo7-6	119
8.1.4	Ergebnisse Schwingversuche – Welle mit Absatz – 20MnCrB5 – Results fatigue tests - Shaft with shoulder – 20MnCrB5	122
8.2	Materialografische Untersuchungen – Materialographic investigations.....	123
8.2.1	Restaustenitgehalt und Korngröße – Retained austenite content and grain size 123	
8.2.2	Härte-Tiefenverläufe im Bereich Kerbdetail – Hardness depth profiles in the field of notch detail	125
8.2.3	Zustand ausgewählter Bruchflächen – Condition of selected fracture surfaces 129	
8.2.4	Elementtiefenprofile – Element depth profiles	130
8.2.5	Röntgenografische Eigenspannungsmessungen – X-ray residual stress measurements.....	135
9	Bewertung der Ergebnisse – Assessment of the results.....	140
9.1	Simulationsgüte von Einsatzhärtungsprozessen – Simulation quality of case hardening processes	140
9.2	Optimierung des Einsatzhärtungsprozesses zur Festigkeitssteigerung und Prozesseffizienzverbesserung – Optimization of case hardening processes to increase strength and improve process efficiency.....	144
9.3	Dauerfestigkeitsabschätzung einsatzgehärteter Bauteile – Fatigue strength assessment of case hardened components	147
10	Zusammenfassung und Ausblick	148
11	Summary and outlook	150
12	Literaturverzeichnis.....	152