

<b>1. Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Stand der Kenntnisse und Grundlagen</b> .....	<b>3</b>
<b>2.1 Hochfeste Baustähle</b> .....	<b>3</b>
2.1.1 Allgemeines .....	3
2.1.2 Herstellung.....	5
2.1.3 Eigenschaften.....	8
2.1.4 Verarbeitung .....	10
<b>2.2 Modellierung von Mikrostruktur und mechanischen Eigenschaften</b> ...	<b>12</b>
2.2.1 Ausgangsbasis.....	12
2.2.2 Kennzeichnung der relevanten Mikrostrukturen .....	13
2.2.3 Einflussgrößen auf die bainitische und martensitische Umwandlung.....	20
2.2.4 Mikrostrukturelle Basis der Modellierung von Festigkeitseigenschaften .....	24
2.2.5 Bekannte Ansätze zur Modellierung der Streckgrenze und Zugfestigkeit .....	39
<b>2.3 Wichtige Messmethoden zur Charakterisierung von Mikrostruktur und mechanischen Eigenschaften</b> .....	<b>41</b>
2.3.1 Diffraktometrie – Mikrodehnungsanalyse – Grundlagen.....	41
2.3.2 EBSD – Grundlagen.....	52
2.3.3 Transmissionselektronenoptik – Grundlagen .....	54
2.3.4 Prüfungen zur Bestimmung der mechanischen Eigenschaften .....	55
<b>2.4 Motivation und Zielsetzung der Arbeit</b> .....	<b>56</b>
<b>3. Experimentelle Untersuchungen</b> .....	<b>58</b>
<b>3.1 Kennzeichnung der Versuchswerkstoffe</b> .....	<b>58</b>
3.1.1 Chemische Zusammensetzung .....	58
3.1.2 Mechanische Eigenschaften .....	60
3.1.3 Metallographische Gefügebewertung .....	67
<b>3.2 Kennzeichnung der Mikrostruktur</b> .....	<b>69</b>
3.2.1 Messverfahren zur Beschreibung der Gitterstruktur .....	69
3.2.2 Bestimmung der Gitterverzerrung .....	69
3.2.3 Betrachtungen zur Tetragonalität des untersuchten Martensites.....	76
3.2.4 Messverfahren zur Beschreibung der Paketgröße.....	82
3.2.5 Bestimmung der Paketgröße.....	82
3.2.6 Messverfahren zur Beschreibung von Ausscheidungen.....	85
3.2.7 Bestimmung des Ausscheidungszustandes.....	85
<b>4. Auswertung der Untersuchungsergebnisse und Modellerstellung zur Vorausberechnung von Streckgrenze und Zugfestigkeit</b> .....	<b>91</b>

4.1	Modellansatz zur Vorausberechnung von Streckgrenze und Zugfestigkeit wasservergüteter hochfester Stähle .....	91
4.2	Herleitung der Verfestigungskoeffizienten .....	94
4.2.1	Kenngößen der ferritischen Matrix.....	94
4.2.2	Kenngößen der Gitterverzerrung .....	96
4.2.3	Kenngößen der Paketgrößenauswertung .....	102
4.2.4	Ergebnisse der Quantifizierung der Ausscheidungen.....	104
4.3	Ermittelte Modellgleichungen .....	106
4.4	Verifikation und Bewertung des Modelles.....	110
4.4.1	Verwendete Werkstoffe.....	110
4.4.2	Ergebnisse der Verifikation .....	113
5.	<b>Diskussion der Ergebnisse und Gegenüberstellung von Mikrostrukturmodellierung und Regressionsrechnungsmodellierung .....</b>	<b>116</b>
5.1	Ansatz für eine praktisch-empirische Modellierung.....	116
5.2	Ergebnisse und Gültigkeitsbereiche der Regressionsanalysen.....	117
5.3	Vergleichende Bewertung.....	119
6.	<b>Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>122</b>
7.	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>125</b>

i. Verzeichnis der wichtigsten Symbole und Abkürzungen

Symbol	Einheit	Bedeutung
$A_{C_1}$	[°C]	Starttemperatur der $\alpha$ - $\gamma$ Umwandlung
$A_{C_3}$	[°C]	Endtemperatur der $\alpha$ - $\gamma$ Umwandlung
$A_1, A_3$	[°C]	Umwandlungstemperatur (allgemein)
$A_{P_i}$	[nm <sup>2</sup> ]	Flächeninhalt des Querschnittes einer Ausscheidung
$\vec{b}$	[m]	Burgersvektor
$d$	[mm]	Mittlerer Korndurchmesser
$d_{hkl}, d_0$	[nm]	Netzebenenabstände
$d_P$	[ $\mu$ m]	Mittlerer Paketdurchmesser
$\overline{d}_P$	[ $\mu$ m]	Mittlerer Paketdurchmesser nach der mean linear intercept Methode
$D_i$	[nm]	Idealisierter Durchmesser der Ausscheidungen
$e$	[%]	Gitterverzerrung
$f$	[%] [-]	Volumenanteil
$G$	[MPa]	Schubmodul
$k_{GV_{Re}}$	[MPa]	Verfestigungskoeffizient der Streckgrenze aufgrund der Gitterverzerrung
$k_{GV_{Rm}}$	[MPa]	Verfestigungskoeffizient der Zugfestigkeit aufgrund der Gitterverzerrung
$k_D$	[Nm <sup>-1</sup> ]	Verfestigungskoeffizient der Versetzungen
$k_P$	[MPa mm <sup>1/2</sup> ]	Paketgrenzenwiderstand
$k_y$	[MPa mm <sup>1/2</sup> ]	Korngrenzenwiderstand
$M_S$	[°C]	Martensitstarttemperatur
$N_P$	[ $\mu$ m <sup>-1</sup> ]	Mittlere Paketanzahl pro Längeneinheit
$R_{eFe}$	[MPa]	Streckgrenze Reineisen
$R_{el}$	[MPa]	Untere Streckgrenze
$R_e, R_{P_{0,2}}$	[MPa]	Streckgrenze (allgemein)
$R_{mFe}$	[MPa]	Zugfestigkeit Reineisen
$R_m$	[MPa]	Zugfestigkeit (allgemein)
$T_{27}$	[°C]	Übergangstemperatur der Kerbschlagarbeit, bei der 27 J erreicht werden
$t_{8/5}$	[s]	Abkühldauer zwischen 800°C und 500°C
$t_{Anlass}$	[Minuten]	Haltedauer auf Anlasstemperatur nach vollständiger Durchwärmung
$t_B$	[mm]	Blechdicke
$T_{Anlass}$	[°C]	Anlasstemperatur
$v_{ocrit}$	[Ks <sup>-1</sup> ]	Obere kritische Abkühlgeschwindigkeit
$v_{ucrit}$	[Ks <sup>-1</sup> ]	Untere kritische Abkühlgeschwindigkeit
$\bar{x}$	[nm] [ $\mu$ m]	Mittlerer Durchmesser der Ausscheidungen
$\beta_{int}^{specimen}$	[°], [rad]	Halbwertsbreite eines Röntgenpeaks aufgrund metallphysikalischer Ursachen
$\epsilon$	[%]	Gitterdehnung, $\perp$ innerhalb einer Netzebenenschar