

Inhaltsverzeichnis

1	SYSTEMATIK DER STÄHLE	1
1.1	Europäische Normung	1
1.2	Einteilung der Stähle nach Hauptgüteklassen.....	2
1.2.1	Unlegierte Stähle	2
1.2.2	Nicht rostende Stähle.....	4
1.2.3	Andere legierte Stähle	5
1.3	Bezeichnungssystem für Stähle.....	5
1.3.1	Bezeichnung nach Verwendungszweck sowie mechanischen und physikalischen Eigenschaften.....	5
1.3.2	Bezeichnung nach der chemischen Zusammensetzung	7
1.3.3	Bezeichnung der Stähle mit Werkstoffnummern	9
2	WIRKUNG DER LEGIERUNGSELEMENTE.....	12
2.1	Begriffe	12
2.2	Lösung im Eisengitter	13
2.3	Beeinflussung von Phasengleichgewichten	17
2.4	Beeinflussen von Phasenumwandlung	18
2.5	Beeinflussung der physikalischen Eigenschaften	19
2.5.1	Elektromagnetische Eigenschaften.....	19
2.5.2	Diffusion.....	21
2.5.3	Stapelfehlerenergie	22
2.6	Beeinflussung der mechanischen Eigenschaften	25
2.6.1	E-Modul.....	25
2.6.2	Streckgrenze	26
2.6.3	Mechanismen der Festigkeitssteigerung	27
2.6.4	Zugfestigkeit und Biegewechselfestigkeit.....	28
2.6.5	Verschleiß.....	29
2.6.6	Zähigkeit.....	30
2.6.7	Allgemeine Wirkung der Legierungselemente auf die mechanischen Eigenschaften.....	31
2.7	Wirkung auf technologische Eigenschaften.....	32
2.7.1	Wärmebehandlung.....	32
2.7.2	Zerspanbarkeit	33

2.8 Wirkung auf Korngrenzen	34
2.8.1 Segregation	34
2.9 Einfluss einzelner Legierungselemente auf die Eigenschaften von Eisenwerkstoffen	36
2.9.1 Kohlenstoff	36
2.9.2 Silizium	36
2.9.3 Zusammenfassung der Legierungsmöglichkeiten, Wirkungen, Gehalte und Beispiele:	37
2.9.4 Mangan	38
2.9.5 Phosphor	39
2.9.6 Schwefel	40
2.9.7 Chrom	41
2.9.8 Nickel	43
2.9.9 Molybdän	45
2.9.10 Kupfer	47
2.9.11 Kobalt	48
2.9.12 Wolfram	49
2.9.13 Niob	49
2.9.14 Titan	50
2.9.15 Vanadium	51
2.9.16 Aluminium	52
2.9.17 Stickstoff	53
2.9.18 Bor	54
2.10 Literatur	55
3 STAHLGRUPPEN	57
3.1 Unlegierte Baustähle	57
3.1.1 Allgemeines	57
3.1.2 Anforderungen an die Gebrauchseigenschaften	57
3.1.3 Maßnahmen zur Einstellung der geforderten Eigenschaften	65
3.1.4 Kennzeichnung der Stahlsorten	71
3.1.5 Anwendungsbeispiele	71
3.2 Stähle für Warm- und Kaltband mit guter Umformbarkeit	72
3.2.1 Anforderungen an Stähle für Warm- und Kaltband	73
3.2.2 Herstellung von Warm- und Kaltband	78
3.2.3 Stahlsorten im Fahrzeugbau	86
3.3 Stähle für die Kalt-Massivumformung	98
3.4 Vergütungsstähle	103
3.4.1 Anforderungen an Vergütungsstähle	104

3.4.2 Ausscheidungshärtende ferritisch-perlitische (AFP-) Stähle	106
3.5 Höchstfeste Stähle	118
3.5.1 Höchstfeste Vergütungsstähle	118
3.5.2 Höchstfeste martensitaushärtende Stähle	120
3.5.3 Höchstfester Stahldraht	122
3.6 Stähle für Oberflächenhärtung.....	124
3.6.1 Verfahrensübersicht.....	124
3.6.2 Einsatzhärten	126
3.6.3 Härtingsgefüge des Einsatzhärtens und Substratwerkstoffe	128
3.6.4 Kontrolle der Umwandlung.....	130
3.6.5 Nitrieren und Nitrocarburieren.....	134
3.6.6 Härtingsgefüge des Nitrierens und Substratwerkstoffe.....	135
3.6.7 Kinetik des Nitrierens.....	138
3.7 Werkzeugstähle	141
3.7.1 Einteilung und Anforderungen von Werkzeugstählen	141
3.7.2 Kaltarbeitsstähle	150
3.7.3 Warmarbeitsstähle	161
3.7.4 Schnellarbeitsstähle	172
3.7.5 Kunststoffformenstähle	181
3.7.6 Das Elektroschlackeumschmelzverfahren (ESU)	185
3.7.7 Oberflächenbehandlung von Werkzeugstählen.....	187
3.8 Warmfeste Stähle	193
3.8.1 Einleitung.....	193
3.8.2 Kenngrößen der Hochtemperaturwerkstoffe und ihre Prüfung.....	198
3.8.3 Kaltverformung	207
3.8.4 Korngröße, Korngrenzen und Kornform.....	216
3.8.5 Reinheitsgrad.....	219
3.9 Kaltzähe Stähle.....	221
3.9.1 Material- und Gebrauchseigenschaften	222
3.9.2 Arten kaltzäher Stähle	223
3.10 Automatenstähle.....	226
3.11 Nichtrostende Stähle	231
3.11.1 Einleitung.....	231
3.11.2 Nichtrostende Chromstähle.....	232
3.11.3 Einteilung der nichtrostenden Stähle nach ihrem Gefüge	237
3.11.4 Hitze- und zunderbeständige Stähle.....	254
3.12 Wälzlagerstähle	260
3.12.1 Anforderungen und Eigenschaften	261

3.12.2 Metallurgische Maßnahmen zur Einstellung der Eigenschaften	261
3.13 Schienenstähle.....	266
3.13.1 Perlitische Schienenstähle.....	266
3.13.2 Bainitische Schienenstähle.....	274
3.14 Stähle mit besonderen Eigenschaften.....	277
3.14.1 Elektromagnetische Stähle.....	277
3.15 Pipelinestähle	289
3.15.1 Werkstofftechnische Anforderungen	289
3.15.2 Herstellungsverfahren von nahtlosen und geschweißten Rohren	292
3.15.3 Normierung	294
3.15.4 Kennzeichnung der geforderten Eigenschaften	295
3.15.5 Metallkundliche Maßnahmen zur Einstellung der geforderten Eigenschaften	299
3.15.6 Industriell eingesetzte Pipelinegüten	301
3.16 Literatur	303
4 KORROSION UND KORROSIONSSCHUTZ	310
4.1 Einleitung	310
4.2 Grundlagen der elektrochemischen Korrosion.....	311
4.3 Un- und niedrig legierte Stähle	317
4.4 Korrosionsbeständige Stähle.....	321
4.5 Erscheinungsformen der Korrosion.....	324
4.5.1 Lochkorrosion.....	325
4.5.2 Interkristalline Korrosion	329
4.5.3 Spannungsrisskorrosion.....	334
4.5.4 Dehnungsinduzierte Korrosion.....	338
4.5.5 Schwingungsrisskorrosion (Korrosionsermüdung).....	338
4.5.6 Wasserstoffinduzierte Korrosionserscheinungen.....	339
4.5.7 Kontaktkorrosion.....	341
4.6 Korrosionsschutzverfahren.....	343
4.6.1 Aktive Schutzverfahren	345
4.6.2 Passive Schutzverfahren.....	347
4.7 Literatur	351
5 GRUNDLAGEN DES SCHWEIßENS VON STÄHLEN	353

5.1 Definition	353
5.2 Verfahren	353
5.2.1 Einteilung der Schweißverfahren	353
5.2.2 Schweißverfahren	354
5.2.3 Schmelzschweißen.....	355
5.2.4 Pressschweißverfahren	359
5.3 Aufbau der Schweißverbindung	360
5.4 Werkstoffkundliche Vorgänge beim Schweißen	364
5.4.1 Die Erwärmung des Grundwerkstoffs in der Wärmeeinflusszone.....	364
5.5 Die Abkühlung von Schweißnaht und Wärmeeinflusszone	366
5.5.1 Beschreibung der Umwandlung	367
5.5.2 Beschreibung der Eigenschaften	373
5.6 Kennzeichnung der Eignung zum Schweißen	374
5.7 Schrumpfung und Eigenspannung.....	375
5.8 Schweißfehler.....	377
5.8.1 Heißrisse	377
5.8.2 Kaltrisse	378
5.9 Literatur.....	379
 6 WERKSTOFFKUNDLICHE UNTERSUCHUNGSVERFAHREN ...	381
6.1 Differential-Thermoanalyse (DTA).....	381
6.2 Simulation Stranggießen	388
6.2.1 Grundlagen	389
6.2.2 Experimentelle Versuchsführung	393
6.2.3 Aufnahme von Fließkurven.....	394
6.3 Warmumformsimulation.....	395
6.3.1 Aufnahme von Warmfließkurven.....	396
6.3.2 Einflussgrößen auf den Verlauf der Fließkurve	400
6.3.3 Mathematische Modellierung der Fließkurven	401
6.3.4 Untersuchung des statischen Entfestigungsverhalten	403
6.3.5 Modell zur Ermittlung der Entfestigung	404
6.4 Dilatometrie	406
6.4.1 Anlagenbeschreibung	406
6.4.2 Versuchsdurchführung	410
6.4.3 Versuchsdurchführung	411

6.5 Metallographie.....	413
6.5.1 Lichtmikroskopie.....	413
6.5.2 REM.....	437
6.5.3 TEM.....	447
6.5.4 Weißlichtkonfokalmikroskop.....	452
6.6 Texturmessungen	456
6.6.1 Begriffe.....	456
6.6.2 Nachweis von Texturen.....	458
6.6.3 Darstellung von Texturen.....	460
6.6.4 Entstehung von Texturen.....	462
6.6.5 Texturen im Warmband.....	465
6.6.6 Texturen im Kaltband.....	466
6.6.7 Texturen und Eigenschaften.....	470
6.7 Literatur	471
7 NUMERISCHE SIMULATION IN DER WERKSTOFFTECHNIK...	475
7.1 Thermodynamische Modellierung.....	478
7.1.1 Semi-empirische Modellierung	478
7.1.2 Physikalische Modellierung	479
7.2 Kontinuumsmechanik.....	486
7.2.1 Thermomechanische Modellierung.....	486
7.2.2 Werkstoffversagen und Bruchmechanik	487
7.3 Anwendungsbeispiele.....	488
7.3.1 Berechnung von Carbonitrid-Ausscheidungen in Einsatzstählen	488
7.3.2 Ermittlung von bruchmechanischen Kennwerten mittels C(T)-Proben 490	
7.3.3 Kantenfehler beim Warmwalzen von Maschinenbaustahl.....	493
7.3.4 Mechanische Eigenschaften von geglühten Mehrphasen-Stählen	495
7.4 Literatur	498
8 SONDERVERFAHREN	501
8.1 Thixoforming	501
8.1.1 Verfahrenspotentiale.....	505
8.1.2 Thixoforming von Stahl	506
8.1.3 Werkstoffe	507
8.2 Herstellung metallischer Schäume	511
8.2.1 Einleitung.....	511
8.2.2 Herstellungstechniken	512

8.2.3 Anwendungsgebiete 516

8.2.4 Eigenschaften von Schäumen..... 518

8.3 Literatur 521

9 ABKÜRZUNGEN, FORMELZEICHEN 524