

Inhaltsverzeichnis

Herausgeber-Vorwort

Autoren-Vorwort

1	Verhalten der Eisenwerkstoffe unter dem Einfluss der Zeit-Temperatur-Folge beim Wärmebehandeln	1
	Olaf Kessler, Dieter Liedtke	
1.1	Aufbau und Gefüge der Eisenwerkstoffe	2
1.1.1	Reines Eisen	2
1.1.2	Eisenlegierungen	5
1.2	Das Eisen-Kohlenstoff-Zustandsschaubild	8
1.3	Einfluss der Erwärmgeschwindigkeit	17
1.3.1	Zeit-Temperatur-Austenitisier-(ZTA-)Schaubilder	18
1.4	Einfluss der Abkühlgeschwindigkeit	20
1.4.1	Zeit-Temperatur-Umwandlungs-(ZTU-)Schaubilder	24
1.4.2	Einfluss der Legierungselemente auf das Umwandlungsverhalten	27
1.5	Literaturhinweise	28
2	Härten, Anlassen, Vergüten	29
	Dieter Liedtke	
2.1	Zweck des Wärmebehandelns allgemein	29
2.2	Ziel des Härtens, Anlassens, Vergütens	30
2.3	Ablauf des Wärmebehandelns	30
2.3.1	Das Austenitisieren	32
2.3.2	Abkühlen und Abschrecken	33
2.3.2.1	Stetiger Abkühlverlauf	33
2.3.2.2	Gestuftes Abschrecken – Warmbadhärten	40
2.3.2.3	Abschrecken mit Gasen	41
2.3.2.4	Tiefkühlen	42
2.4	Eigenschaften gehärteter Werkstücke	43
2.4.1	Festigkeit und Härte	43
2.4.2	Werkstückform und Abmessung	44
2.4.3	Formänderungsvermögen – Zähigkeit	45
2.4.4	Eigenspannungen	46
2.5	Anlassen	47
2.5.1	Zweck des Anlassens – Begriffe	47
2.5.2	Der Anlassvorgang	47
2.5.3	Anlassverhalten der Stähle	48
2.5.4	Eigenschaften angelassener Werkstücke	51
2.5.5	Anlassversprödung	51

2.6	Hinweise für das praktische Durchführen des Härtens, Anlassens und Vergütens von Bauteilen und Werkzeugen	52
2.6.1	Vorbereiten und Vorbehandeln	52
2.6.1.1	Spannungsarmglühen	52
2.6.1.2	„Vorvergüten“	53
2.6.1.3	Vorbereiten der zu behandelnden Bauteile und Werkzeuge	53
2.6.2	Härten, Anlassen und Vergüten von Bauteilen	53
2.6.3	Härten, Anlassen und Vergüten von Werkzeugen	55
2.6.3.1	Werkzeuge aus unlegierten Werkzeugstählen	55
2.6.3.2	Werkzeuge aus legierten Kaltarbeitsstählen und Warmarbeitsstählen	56
2.6.3.3	Werkzeuge aus Schnellarbeitsstählen	58
2.6.4	Anlassen von Bauteilen und Werkzeugen	59
2.6.4.1	Anlassen gehärteter Bauteile	59
2.6.4.2	Anlassen gehärteter Werkzeuge	59
2.7	Literaturhinweise	60
3	Bainitisieren	63
	Dieter Liedtke	
3.1	Ziel des Bainitisierens	63
3.2	Durchführung des Bainitisierens	63
3.3	Eigenschaften bainitisierter Bauteile	70
3.4	Literaturhinweise	71
4	Härtbarkeit – Eignung der Eisenwerkstoffe zum Härten	73
	Dieter Liedtke	
4.1	Begriffsbestimmung	73
4.2	Ermitteln der Härtpbarkeit	76
4.3	Anwendung der Härtpbarkeit bei der Stahlauswahl	80
4.3.1	Stahlauswahl mittels der ZTU-Schaubilder	81
4.3.2	Stahlauswahl mit Hilfe der Stirnabschreckkurven	82
4.3.3	Indirekte Methode mittels Betriebsversuchen	84
4.4	Literaturhinweise	86
5	Randschichthärten	87
	Hansjürg Stiele	
5.1	Definition und Grundprinzip	87
5.2	Flammhärten	90
5.2.1	Prinzip des Flammhärtens	90
5.2.2	Anlagentechnik	92
5.2.3	Anwendungsbeispiele	93
5.3	Induktionshärten	94
5.3.1	Prinzip des Induktionserwärmens	94
5.3.2	Anlagentechnik	96

5.3.3	Energiequellen (Generatoren)	97
5.3.4	Werkzeuge	98
5.3.5	Führungsmaschine	100
5.3.6	Anwendungsbeispiele	100
5.4	Laserstrahlhärten	104
5.4.1	Prinzip des Laserstrahlhärtens	104
5.4.2	Anlagentechnik	106
5.4.2.1	CO ₂ -Laser	107
5.4.2.2	Festkörperlaser	108
5.4.2.3	Hochleistungs-Diodenlaser	109
5.4.3	Anwendungsbeispiele	111
5.5	Elektronenstrahlaser	113
5.5.1	Prinzip des Elektronenstrahlasers	113
5.5.2	Anlagentechnik	113
5.5.3	Anwendungsbeispiele	117
5.6	Abkühlmedien	117
5.7	Weitere Verfahren	118
5.8	Werkstofftechnische Aspekte	119
5.8.1	Das Kurzzeitaustenitisieren	119
5.8.2	Werkstoffe	121
5.9	Anlassen nach dem Randschichthärten	125
5.10	Angaben in Zeichnungen	125
5.11	Literaturhinweise	125

6	Aufkohlen, Carbonitrieren, Einsatzhärten – Grundlagen und praktische Durchführung	127
	Dieter Liedtke	
6.1	Zweck des Einsatzhärtens, Begriffe	127
6.2	Das Verhältnis Eisen – Kohlenstoff	127
6.3	Der Aufkohlungsvorgang	128
6.3.1	Die Kohlenstoffaktivität	128
6.3.2	Der Kohlenstoffpegel	129
6.3.3	Das Übertragen des Kohlenstoffs	131
6.3.4	Berechnen des Kohlenstoffprofils	135
6.3.5	Ermitteln der Aufkohlungstiefe At	136
6.4	Carbonitrieren	139
6.5	Härten der aufgekohlten Werkstücke	140
6.5.1	Allgemeines	140
6.5.2	Direkthärten (Typ A)	142
6.5.3	Einfachhärten (Typ B)	143
6.5.4	Härten nach isothermischem Umwandeln (Typ C)	143
6.5.5	Doppelhärten (Typ D)	144
6.5.6	Warmbadhärten	144
6.6	Tiefkühlen	145
6.7	Anlassen einsatzgehärteter Werkstücke	146
6.8	Diffusionsbehandeln	147
6.9	Eigenschaften einsatzgehärteter Werkstücke	148
6.9.1	Struktur einsatzgehärteter Werkstücke	148

6.9.2	Härte und Härtetiefe	152
6.9.3	Formänderungsvermögen, Zähigkeit	153
6.9.4	Festigkeitsverhalten	154
6.9.5	Verschleißverhalten	161
6.10	Anwendungsbeispiele	161
6.11	Hinweise zum praktischen Durchführen des Einsatzhärtens	162
6.11.1	Vorbereiten und Vorbehandeln der Werkstücke	162
6.11.1.1	Vorangehende Wärmebehandlungen	162
6.11.1.2	Reinigen der Werkstücke	163
6.11.1.3	Vorbereiten für ein örtlich begrenztes Einsatzhärten	163
6.11.2	Chargieren der Werkstücke	164
6.11.3	Erwärmen auf Behandlungstemperatur	164
6.11.4	Mittel zum Aufkohlen und Carbonitrieren	165
6.11.4.1	Pulver und Granulat	165
6.11.4.2	Salzschmelzen	165
6.11.4.3	Gase	166
6.11.5	Messen und Regeln beim Aufkohlen	170
6.11.5.1	Pulver und Granulat	171
6.11.5.2	Salzschmelzen	171
6.11.5.3	Gase	171
6.11.6.3.1	Ermitteln des C-Pegels über den Taupunkt	172
6.11.6.3.2	Ermitteln des C-Pegels über den CO ₂ -Gehalt	172
6.11.6.3.3	Ermitteln des C-Pegels über den Sauerstoffpartialdruck	173
6.11.5.4	Allgemeines zum Festlegen des C-Pegels beim Gasaufkohlen und -carbonitrieren	174
6.11.6	Stähle zum Einsatzhärten	175
6.12	Literaturhinweise	175
7	Nitrieren und Nitrocarburieren	179
	Dieter Liedtke	
7.1	Begriffsbestimmungen	179
7.2	Zweck des Nitrierens und Nitrocarburierens	180
7.3	Die Wechselwirkung zwischen Eisen und Stickstoff bzw. zwischen Eisen, Stickstoff und Kohlenstoff	181
7.4	Entstehung und Aufbau der Nitrier-/Nitrocarburierschichten	183
7.4.1	Allgemeines	183
7.4.2	Die Verbindungsschicht	186
7.4.3	Die Porosität der Verbindungsschicht	189
7.4.4	Die Diffusionsschicht	193
7.5	Härte der Nitrierschichten	198
7.5.1	Allgemeines	198
7.5.2	Oberflächenhärte	199
7.5.3	Härte der Verbindungsschicht	201
7.5.4	Härte der Diffusionsschicht – das Härteprofil	202
7.5.5	Nitrierhärte tiefe	207
7.6	Einfluss des Nitrierens/Nitrocarburierens auf die Werkstückgeometrie	208

7.6.1	Maß- und Formänderungen	208
7.6.2	Oberflächenrauheit	210
7.7	Eigenspannungen	211
7.8	Formänderungsvermögen -Zähigkeit	212
7.9	Festigkeitsverhalten	216
7.9.1	Statische Festigkeit	216
7.9.2	Schwingfestigkeit	217
7.10	Verschleißverhalten	220
7.10.1	Allgemeines	220
7.10.2	Das Verhalten der Verbindungsschicht	220
7.10.3	Das Verhalten der Diffusionsschicht	222
7.11	Korrosionsverhalten	223
7.12	Hinweise für das praktische Durchführen des Nitrierens und Nitrocarburierens	224
7.12.1	Vorbehandlungen	224
7.12.1.1	Vergüten	224
7.12.1.2	Rekristallisationsglühen	224
7.12.1.3	Spannungsarmglühen	224
7.12.2	Reinigen	225
7.12.3	Vorbereiten zum örtlich begrenzten Nitrieren/Nitrocarburieren	226
7.12.4	Mittel zum Nitrieren und Nitrocarburieren	226
7.12.5	Anwendungsbeispiele	229
7.13	Literaturhinweise	233
8	Borieren und Chromieren	237
	Dieter Liedtke	
8.1	Zweck und Begriffsbestimmung	237
8.2	Borieren	237
8.2.1	Entstehung und Aufbau der Borierschicht	237
8.2.2	Eigenschaften der Boridschicht	240
8.2.2.1	Härte	240
8.2.2.2	Festigkeit	241
8.2.2.3	Formänderungsvermögen, Zähigkeit/Duktilität	242
8.2.2.4	Verschleißverhalten	242
8.2.2.5	Korrosionsverhalten	242
8.3	Hinweise für das praktische Anwenden des Borierens	243
8.3.1	Vorbehandlung	243
8.3.2	Werkstoffauswahl	244
8.3.3	Durchführung des Borierens	244
8.3.4	Nachbehandeln und Nachbearbeiten	246
8.4	Chromieren	246
8.4.1	Entstehung und Aufbau der Chromierschicht	246
8.4.2	Eigenschaften chromierter Werkstücke	248
8.4.3	Hinweise für das Anwenden und Durchführen des Chromierens	249
8.5	Literaturhinweise	250

9	Glühen – Grundlagen und praktische Durchführung	251
	Franz Wendl	
9.1	Einleitung	251
9.2	Dehydrieren	252
9.3	Spannungsarmglühen	254
9.4	Rekristallisationsglühen	257
9.5	Weichglühen	260
9.6	Glühen auf kugelige Carbide (GKZ-Glühen)	261
9.7	Normalglühen	264
9.8	Diffusionsglühen	267
9.9	Literaturhinweise	269
10	Fehler nach dem Glühen, Härten, Anlassen	271
	Peter Sommer	
10.1	Einleitung	271
10.2	Fehlerbild: Schlechte Bearbeitbarkeit	272
10.2.1	Schlechte Bearbeitbarkeit durch wärmebehandlungsfremde Ursache	272
10.2.2	Schlechte Bearbeitbarkeit durch Wärmebehandlungsfehler	273
10.2.3	Schlechte Bearbeitbarkeit durch Kommunikationsfehler	275
10.3	Fehlerbild: Zu niedrige Härte	277
10.3.1	Zu geringe Härte durch wärmebehandlungsfremde Ursachen	277
10.3.2	Zu geringe Härte durch wärmebehandlungsbedingte Ursachen	279
10.3.2.1	Temperaturfehler	279
10.3.2.2	Zeitfehler	281
10.3.2.3	Atmosphärenfehler	282
10.3.2.4	Fehler beim Abschrecken	283
10.3.3	Zu niedrige Härte durch Kommunikationsfehler	284
10.4	Fehlerbild: Zu hohe Härte	285
10.4.1	Zu hohe Härte durch wärmebehandlungsfremde Ursachen	286
10.4.2	Zu hohe Härte durch wärmebehandlungsbedingte Ursachen	286
10.4.3	Zu hohe Härte durch Kommunikationsfehler	287
10.5	Fehlerbild: Verzug, Maßänderung, Rissbildung	288
10.5.1	Verzug, Maßänderung und Rissbildung durch wärmebehandlungsfremde Ursachen	289
10.5.2	Verzug, Maßänderung und Rissbildung durch wärmebehandlungsbedingte Ursachen	291
10.5.3	Verzug, Maßänderung und Rissbildung durch Kommunikationsfehler	292
10.6	Sonstige Fehlerbilder	292
10.7	Literaturhinweise	294

11	Fehler nach dem Einsatzhärten, Randschichthärten und Nitrieren	295
	Peter Sommer	
11.1	Einleitung	295
11.2	Fehler beim Einsatzhärten	295
11.2.1	Fehler bei der Auftragsplanung	295
11.2.2	Fehler bei der Auswahl der Prozessgrößen	297
11.2.3	Fehler bei der Vorbehandlung	299
11.2.4	Chargierfehler	300
11.2.5	Fehler beim Messen der Prozessgrößen	301
11.2.6	Sonstige Fehler beim Einsatzhärten	302
11.3	Fehler beim Randschichthärten	304
11.4	Fehler beim Nitrieren und Nitrocarburieren	307
11.4.1	Fehler durch wärmebehandlungsfremde Ursachen	307
11.4.2	Fehler durch wärmebehandlungsbedingte Ursachen	310
11.5	Literaturhinweise	311
12	Prüfen des wärmebehandelten Zustands	313
	Egon Welsch, Dieter Liedtke	
12.1	Vorbemerkung	313
12.2	Sichtkontrolle	314
12.3	Härtemessung	314
12.3.1	Das Rockwell-Verfahren nach DIN EN ISO 6508-1	317
12.3.2	Das Vickers-Verfahren nach DIN EN ISO 6507-1	319
12.3.3	Das Brinell-Verfahren nach DIN EN ISO 6506-1	322
12.3.4	Das Knoop-Verfahren	326
12.3.5	Fehler beim Härtemessen mit Eindring-Prüfkörpern	326
12.4	Härtetiefe	327
12.4.1	Einhärtungs-Härtetiefe (SHD) nach DIN EN 10328	328
12.4.2	Einsatzhärtungs-Härtetiefe (CHD) nach DIN EN ISO 2639	329
12.4.3	Nitrier-Härtetiefe (Nht) nach DIN 50 190-3	329
12.5	Messen von Schichtdicken	330
12.5.1	Dicke der Verbindungsschicht nach Nitrieren oder Nitrocarburieren	330
12.5.2	Dicke der Diffusionsschicht nach Nitrieren oder Nitrocarburieren	330
12.5.3	Aufkohlungstiefe (At)	331
12.6	Untersuchung des Gefügestands	331
12.7	Bruchprobe und Makroschliff	336
12.8	Literaturhinweise	336

13	Wärmebehandlungsangaben in Zeichnungen und Fertigungsunterlagen	337
	Dieter Liedtke	
13.1	Zweck der Wärmebehandlungsangaben	337
13.2	Was ist unter Wärmebehandlungsangaben zu verstehen?	337
13.3	Die Zeichnungsangaben	339
13.3.1	Angabe des Wärmebehandlungszustands	339
13.3.2	Angabe der Härte	340
13.3.3	Angabe der Härtetiefe	343
13.3.3.1	Härtetiefe nach Randschichthärten	343
13.3.3.2	Härtetiefe nach dem Einsatzhärten	345
13.3.3.3	Härtetiefe nach dem Nitrieren oder Nitrocarburieren	347
13.3.4	Messstelle	348
13.3.5	Örtlich begrenztes Wärmebehandeln	349
13.3.6	Wärmebehandlungsbild	350
13.4	Angaben in Fertigungsunterlagen	351
13.5	Literaturhinweise	352
	Sachregister	355