

1	Nachweis und Identifizierung von Ausscheidungen. . . . .	2
1.1	Werkstoffeigenschaften und Ausscheidungen. . . . .	2
1.1.1	Gefüge und Werkstoffeigenschaften. . . . .	2
1.1.2	Messung der Werkstoffeigenschaften. . . . .	4
1.1.3	Ausscheidungen. . . . .	4
1.2	Nachweis von Ausscheidungen. . . . .	6
1.2.1	Lichtmikroskop. . . . .	6
1.2.2	Rückstandsanalyse. . . . .	6
1.2.3	Röntgenbeugung. . . . .	8
1.2.4	Rasterelektronenmikroskop (REM) und Mikrosonde (ESMA). . . . .	8
1.2.5	Transmissions-Elektronenmikroskop (TEM). . . . .	10
1.3	Elektronenmikroskopische Untersuchungsverfahren. . . . .	10
1.3.1	Präparation. . . . .	10
1.3.2	Abbildung und Beugung im Elektronenmikroskop (TEM). . . . .	14
1.4	Grundlagen der Kristallografie und der Elektronenbeugung. . . . .	16
1.4.1	Das Kristallgitter. . . . .	16
1.4.2	Beschreibung von Punkten, Richtungen und Ebenen im Kristallgitter. . . . .	20
1.4.3	Reziprokes Gitter und Ewaldkugel. . . . .	20
1.4.4	Doppelbeugung und Auslöschungen. . . . .	26
1.5	Auswertung von Elektronenbeugungsaufnahmen. . . . .	26
1.5.1	Messung von Netzebenenabständen. . . . .	26
1.5.2	Indizierung von Elektronenbeugungsaufnahmen. . . . .	28
1.5.3	Phasenidentifizierung und Messung von Gitterkonstanten. . . . .	34
1.5.4	Orientierungsmessungen. . . . .	38
1.5.5	Anwendung der EDV. . . . .	40
1.6	Planung einer Untersuchung mit betrieblicher Problemstellung. . . . .	42
1.6.1	Problemstellung. . . . .	42
1.6.2	Makroskopischer Befund und Probenahme. . . . .	44
1.6.3	Technologische Prüfungen. . . . .	44
1.6.4	Metallografische Untersuchung im Lichtmikroskop. . . . .	44
1.6.5	Oberflächenuntersuchung im REM. . . . .	44
1.6.6	Röntgenografische Untersuchung. . . . .	44
1.6.7	Elektronenmetallografie. . . . .	44
2	Unlegierte, härtbare Stähle. . . . .	48
2.1	Unlegierte und niedriglegierte Stähle. . . . .	48
2.1.1	Nitride. . . . .	48
2.1.2	Carbide. . . . .	50
2.1.3	Sonstige Ausscheidungen. . . . .	50
2.2	Mikrolegierte Stähle. . . . .	54
2.2.1	Perlitfreie Stähle und perlitarme Stähle. . . . .	54
2.2.2	Perlitische Stähle. . . . .	58
2.3	Die Feinkornbaustähle. . . . .	58
3	Legierte, härtbare Stähle. . . . .	64
3.1	Einsatz- und Nitrierstähle. . . . .	64
3.1.1	Einsatzstähle. . . . .	64
3.1.2	Nitrierstähle. . . . .	64
3.2	Vergütungsstähle. . . . .	70
3.2.1	Werkst.-Nr. 1.7734. . . . .	70
3.2.2	Stahl 11 NiMnCrMo 5 5 (Werkst.-Nr. 1.6919). . . . .	70

	Seite
3.2.3 Stahl 17 MnCrMo 3 3 (Werkst.-Nr. 1.7279) . . . . .	72
3.2.4 Stahl 26 NiCrMoV 14 5 (Werkst.-Nr. 1.6957) . . . . .	72
3.2.5 Stahl 28 CrMoNiV 4 9 (Werkst.-Nr. 1.6985). . . . .	72
3.2.6 Stahl 30 CrMoNiV 5 11 (Werkst.-Nr. 1.6946) . . . . .	72
3.2.7 Stahl 30 CrMoV 9 (Werkst.-Nr. 1.7707). . . . .	76
3.2.8 Stahl 30 CrNiMo 8 (Werkst.-Nr. 1.6580) . . . . .	76
3.2.9 Stahl X 20 Cr 13 (Werkst.-Nr. 1.4021). . . . .	76
3.3 Martensitaushärtende Stähle. . . . .	80
3.3.1 Stahl X 2 NiCoMo 18 8 5 (Werkst.-Nr. 1.6359) . . . . .	80
3.3.2 Stahl X 2 NiCoMo 11 8 6. . . . .	82
3.3.3 Stahl X 2 NiCoMo 18 12 2 . . . . .	86
3.3.4 Stahl X 2 NiCoMo 13 15 10. . . . .	86
3.4 Warmfeste Stähle . . . . .	94
3.4.1 Stahl 10 CrMo 9 10 (Werkst.-Nr. 1.7380). . . . .	94
3.4.2 Stahl 8 CrMoNiNb 9 10 (Werkst.-Nr. 1.6770) . . . . .	98
3.4.3 Stahl 10 CrSiMoV 7 (Werkst.-Nr. 1.8075). . . . .	104
3.4.4 Stahl 12 CrMo 19 5 (Werkst.-Nr. 1.7362). . . . .	104
3.4.5 Stahl 13 CrMo 4 4 (Werkst.-Nr. 1.7335) . . . . .	104
3.4.6 Stahl 14 MoV 6 3 (Werkst.-Nr. 1.7715). . . . .	108
3.4.7 Stahl 15 NiCuMoNb 5 (Werkst.-Nr. 1.6368) . . . . .	108
3.4.8 Stahl 17 CrMoV 10 (Werkst.-Nr. 1.7766) . . . . .	108
3.4.9 Stahl 17 MnMoV 6 4 (Werkst.-Nr. 1.8817). . . . .	112
3.4.10 Stahl 20 CrMoV 13 5 (Werkst.-Nr. 1.7779) . . . . .	112
3.4.11 Stahl 20 MnMoNi 5 5 (Werkst.-Nr. 1.6310) . . . . .	116
3.4.12 Stahl 21 CrMoV 5 7 (Werkst.-Nr. 1.7709). . . . .	118
3.4.13 Stahl 22 NiMoCr 3 7 (Werkst.-Nr. 1.6751) . . . . .	118
3.4.14 Stahl 24 CrMo 5 (Werkst.-Nr. 1.7258) . . . . .	122
3.4.15 Stahl 24 CrMoV 5 5 (Werkst.-Nr. 1.7733). . . . .	122
3.4.16 Stahl X 8 CrCoNiMo 10 6 (Werkst.-Nr. 1.4911) . . . . .	122
3.4.17 Stahl X 12 CrMo 7 (Werkst.-Nr. 1.7368) . . . . .	126
3.4.18 Stahl X 12 CrMo 9 1 (Werkst.-Nr. 1.7386) . . . . .	126
3.4.19 Stahl X 20 CrMoV 12 1 (Werkst.-Nr. 1.4922) . . . . .	128
3.4.20 Stahl X 20 CrMoV 12 1 (Werkst.-Nr. 1.4935). . . . .	128
3.4.21 Stahl mit rd. 8 % Cr und 2 % Mo. . . . .	134
3.4.22 Stähle mit 0,1 % C, 10 % Cr und 0 bis 4 % W. . . . .	134
3.5 Werkzeugstähle . . . . .	138
3.5.1 Unlegierte Werkzeugstähle (Werkst.-Nr. 1.1520 bis 1.1830). . . . .	138
3.5.2 Legierte Werkzeugstähle (Chromstähle, Werkst.-Nr. 1.2002 bis 1.2086)	138
3.6 Schnellarbeitsstähle . . . . .	142
3.6.1 Schnellarbeitsstahl S 6-5-2 (Werkst.-Nr. 1.3343) . . . . .	144
3.6.2 Einfluß des Vanadiningehaltes auf die Sekundärcarbidausscheidungen . .	150
3.6.3 Einfluß erhöhter Kohlenstoffgehalte auf das Ausscheidungsverhalten .	152
3.6.4 Einfluß erhöhter Siliciumgehalte auf das Ausscheidungsverhalten. . .	154
3.6.5 Ausscheidungsverhalten von pulvermetallurgisch erzeugtem Schnellarbeitsstahl S 6-5-2 und Zwischenprodukten. . . . .	156
4 Stähle mit hohen Gehalten an Chrom und/oder Nickel . . . . .	160
4.1 Allgemein. . . . .	160
4.2 Ferritische Stähle . . . . .	162
4.3 Ferritisch-austenitische Stähle. . . . .	164
4.4 Austenitisch-martensitische Stähle . . . . .	168
4.5 Austenitische Stähle . . . . .	168

	Seite
5	Nickelbasislegierungen . . . . . 184
5.1	Allgemein. . . . . 184
5.2	Inconel 600, NiCr 15 Fe (Werkst.-Nr. 2.4816) . . . . . 184
5.3	Inconel X. . . . . 186
5.4	Nimonic 80 A, NiCr 20 TiAl (Werkst.-Nr. 2.4631). . . . . 186
5.5	Inconel 625, NiCr 22 Mo 9 Nb (Werkst.-Nr. 2.4856). . . . . 194
6	Sonderlegierungen und -behandlungen. . . . . 200
6.1	Legiertes Gußeisen . . . . . 200
6.1.1	Die Legierung Ni-Resist. . . . . 200
6.1.2	Chromlegiertes weißes Gußeisen . . . . . 200
6.2	Elektrobleche. . . . . 202
6.3	Oberflächenveredelte Stähle. . . . . 202
6.3.1	Zinn-Auflage (Weißblech) . . . . . 202
6.3.2	Zink-Auflage . . . . . 206
6.3.3	Email-Auflage. . . . . 206
6.4	Ordnungsphasen . . . . . 206
6.4.1	Beschreibung von Ordnungsphasen am Beispiel der B2- und DO <sub>3</sub> -Struktur 206
6.4.2	Beobachtung von Ordnungsphasen im Elektronenmikroskop. . . . . 208
6.5	Kobalt . . . . . 216
6.6	Dauermagnetwerkstoffe. . . . . 216
6.6.1	AlNiCo 35/5 (Werkst.-Nr. 1.3761) . . . . . 216
6.6.2	AlNiCo 30/10 (Werkst.-Nr. 1.3758). . . . . 220
6.6.3	Chrom-Kobalt-Eisen-Dauermagnetlegierungen. . . . . 220
6.6.4	Kobalt-Samarium-Magnetlegierungen. . . . . 222
Anhang I	Kristallografische Kennwerte der behandelten Phasen. . . . . 226
Anhang II	Vergleich deutscher und amerikanischer Stahlnormen . . . . . 230

CONTENTS

	page	
1	Detection and identification of precipitates . . . . .	3
1.1	Material properties and precipitates . . . . .	3
1.1.1	Microstructure and material properties . . . . .	3
1.1.2	Measurement of the material properties . . . . .	5
1.1.3	Precipitates . . . . .	5
1.2	Detection of precipitates. . . . .	7
1.2.1	Optical microscope . . . . .	7
1.2.2	Residue analysis . . . . .	7
1.2.3	X-ray diffraction. . . . .	9
1.2.4	Scanning electron microscope (SEM) and microprobe (EPMA) . . . . .	9
1.2.5	Transmission electron microscope (TEM) . . . . .	11
1.3	Electron-microscopical investigation methods . . . . .	11
1.3.1	Preparation. . . . .	11
1.3.2	Imaging and diffraction in the electron microscope . . . . .	15
1.4	Basic principles of crystallography and electron diffraction . . . . .	17
1.4.1	The crystal lattice. . . . .	17
1.4.2	Description of points, directions and planes in the crystal lattice. . . . .	21
1.4.3	Reciprocal lattice and Ewald sphere. . . . .	21
1.4.4	Double diffraction and extinction. . . . .	27
1.5	Evaluation of electron diffraction patterns. . . . .	27
1.5.1	Measurement of lattice plane spacings. . . . .	27
1.5.2	Indexing electron diffraction patterns . . . . .	29
1.5.3	Identification of phases and determination of lattice parameters . . . . .	35
1.5.4	Orientation measurements . . . . .	39
1.5.5	Use of computers . . . . .	41
1.6	Planing the investigation of an industrial problem . . . . .	43
1.6.1	Establishing the problem . . . . .	43
1.6.2	Microscopical observation and specimen choice. . . . .	45
1.6.3	Technological testing. . . . .	45
1.6.4	Metallography in the light microscope. . . . .	45
1.6.5	Surface investigation in the SEM . . . . .	45
1.6.6	X-ray investigation. . . . .	45
1.6.7	Electron metallography . . . . .	45
2	Unalloyed, age-hardening steels. . . . .	49
2.1	Unalloyed and low-alloyed steels . . . . .	49
2.1.1	Nitrides . . . . .	49
2.1.2	Carbides . . . . .	51
2.1.3	Other precipitates . . . . .	51
2.2	Micro-alloyed steels . . . . .	55
2.2.1	Pearlite-free and low-pearlite steels. . . . .	55
2.2.2	Pearlitic steels . . . . .	59
2.3	Fine-grained structural steels . . . . .	59
3	Alloyed, heat treatable steels . . . . .	65
3.1	Case-hardening and nitriding steels. . . . .	65
3.1.1	Case-hardening steels. . . . .	65
3.1.2	Nitriding steels . . . . .	65
3.2	Tempering steels . . . . .	71
3.2.1	Material No. 1.7734. . . . .	71
3.2.2	Steel 11 NiMnCrMo 5 5 (Material No. 1.6919). . . . .	71

	page
3.2.3 Steel 17 MnCrMo 3 3 (Material No. 1.7279) . . . . .	73
3.2.4 Steel 26 NiCrMoV 14 5 (Material No. 1.6957) . . . . .	73
3.2.5 Steel 28 CrMoNiV 4 9 (Material No. 1.6985) . . . . .	73
3.2.6 Steel 30 CrMoNiV 5 11 (Material No. 1.6946) . . . . .	73
3.2.7 Steel 30 CrMoV 9 (Material No. 1.7707) . . . . .	77
3.2.8 Steel 30 CrNiMo 8 (Material No. 1.6580) . . . . .	77
3.2.9 Steel X 20 Cr 13 (Material No. 1.4021) . . . . .	77
3.3 Maraging steels. . . . .	81
3.3.1 Steel X 2 NiCoMo 18 8 5 (Material No. 1.6359) . . . . .	81
3.3.2 Steel X 2 NiCoMo 11 8 6. . . . .	83
3.3.3 Steel X 2 NiCoMo 18 12 2 . . . . .	87
3.3.4 Steel X 2 NiCoMo 13 15 10. . . . .	87
3.4 High-temperature steels. . . . .	95
3.4.1 Steel 10 CrMo 9 10 (Material No. 1.7380) . . . . .	95
3.4.2 Steel 8 CrMoNiNb 9 10 (Material No. 1.6770) . . . . .	99
3.4.3 Steel 10 CrSiMoV 7 (Material No. 1.8075) . . . . .	105
3.4.4 Steel 12 CrMo 19 5 (Material No. 1.7362) . . . . .	105
3.4.5 Steel 13 CrMo 4 4 (Material No. 1.7335) . . . . .	105
3.4.6 Steel 14 MoV 6 3 (Material No. 1.7715) . . . . .	109
3.4.7 Steel 15 NiCuMoNb 5 (Material No. 1.6368) . . . . .	109
3.4.8 Steel 17 CrMoV 10 (Material No. 1.7766) . . . . .	109
3.4.9 Steel 17 MnMoV 6 4 (Material No. 1.8817) . . . . .	113
3.4.10 Steel 20 CrMoV 13 5 (Material No. 1.7779) . . . . .	113
3.4.11 Steel 20 MnMoNi 5 5 (Material No. 1.6310) . . . . .	117
3.4.12 Steel 21 CrMoV 5 7 (Material No. 1.7709) . . . . .	119
3.4.13 Steel 22 NiMoCr 3 7 (Material No. 1.6751) . . . . .	119
3.4.14 Steel 24 CrMo 5 (Material No. 1.7258) . . . . .	123
3.4.15 Steel 24 CrMoV 5 5 (Material No. 1.7733) . . . . .	123
3.4.16 Steel X 8 CrCoNiMo 10 6 (Material No. 1.4911) . . . . .	123
3.4.17 Steel X 12 CrMo 7 (Material No. 1.7368) . . . . .	127
3.4.18 Steel X 12 CrMo 9 1 (Material No. 1.7386) . . . . .	127
3.4.19 Steel X 20 CrMoV 12 1 (Material No. 1.4922) . . . . .	129
3.4.20 Steel X 20 CrMoWV 12 1 (Material No. 1.4935) . . . . .	129
3.4.21 Steel with about 8 % Cr and 2 % Mo . . . . .	135
3.4.22 Steels with 0.1 % C, 10 % Cr and 0 to 4 % W. . . . .	135
3.5 Tool steels. . . . .	139
3.5.1 Unalloyed tool steels (Material Nos. 1.1520 to 1.1830) . . . . .	139
3.5.2 Alloyed tool steels (chromium steels, Material Nos. 1.2002 to 1.2086) . . . . .	139
3.6 High-speed steels. . . . .	143
3.6.1 High-speed steel S 6-5-2 (Material No. 1.3343) . . . . .	145
3.6.2 Influence of the vanadium content on the secondary carbide precipitation. . . . .	151
3.6.3 Influence of higher carbon contents on the precipitation behaviour . . . . .	153
3.6.4 Influence of higher silicon contents on the precipitation behaviour. . . . .	155
3.6.5 Precipitation behaviour of the high-speed steel S 6-5-2 produced by powder metallurgy and of intermediate products. . . . .	157
4 Steels with high chromium and/or nickel contents . . . . .	161
4.1 General. . . . .	161
4.2 Ferritic steels. . . . .	163
4.3 Ferritic-austenitic steels . . . . .	165
4.4 Austenitic-martensitic steels. . . . .	169
4.5 Austenitic steels. . . . .	169

	page
5	Nickel base alloys . . . . . 185
5.1	General. . . . . 185
5.2	Inconel 600, NiCr 15 Fe (Material No. 2.4816). . . . . 185
5.3	Inconel X. . . . . 187
5.4	Nimonic 80 A, NiCr 20 TiAl (Material No. 2.4631) . . . . . 187
5.5	Inconel 625, NiCr 22 Mo 9 Nb (Material No. 2.4856) . . . . . 195
6	Special alloys and treatments. . . . . 201
6.1	Alloyed cast iron. . . . . 201
6.1.1	The alloy Ni Resist. . . . . 201
6.1.2	Chromium alloyed white cast iron . . . . . 201
6.2	Electrical sheet . . . . . 203
6.3	Surface treated steels . . . . . 203
6.3.1	Tin plating. . . . . 203
6.3.2	Zinc plating . . . . . 207
6.3.3	Enamel coating . . . . . 207
6.4	Ordered phases . . . . . 207
6.4.1	The B <sub>2</sub> and DO <sub>3</sub> structures as examples of ordered phases. . . . . 207
6.4.2	Observation of ordered phases in the electron microscope . . . . . 209
6.5	Cobalt . . . . . 217
6.6	Permanent magnet materials . . . . . 217
6.6.1	AlNiCo 35/5 (Material No. 1.3761). . . . . 217
6.6.2	AlNiCo 30/10 (Material No. 1.3758) . . . . . 221
6.6.3	Chromium-cobalt-iron permanent magnet alloys . . . . . 221
6.6.4	Cobalt-samarium magnetic alloys. . . . . 223
Appendix I	Crystallographic data of the phases treated. . . . . 227
Appendix II	Comparison of German and American steel standards. . . . . 230