

	Seite
Vorwort	
1 Grundlagen der Verfahrenstechnik	1
1.1 Einsatzhärten	1
1.1.1 Aufkohlen	1
1.1.1.1 Verfahren	1
1.1.1.1.1 Die Aufkohlungsreaktionen, ihre Gleichgewichtsbeziehungen und die für das Prozessregeln spezifischen Indikatoren	2
1.1.1.1.2 Die Kohlenstoffaktivität / C-Aktivität a_c	5
1.1.1.1.3 Der Kohlenstoffpegel / C-Pegel C_p	6
1.1.1.1.4 Der Legierungsfaktor k_L	6
1.1.1.1.5 Der Kohlenstoff-Übergangskoeffizient – die Kohlenstoff-Übergangszahl β	8
1.1.1.1.6 Die Kohlenstoffverfügbarkeit	9
1.1.1.1.7 Die Kohlenstoffdiffusion	12
1.1.1.1.8 Randoxidation	15
1.1.1.2 Niederdruckaufkohlen	19
1.1.1.2.1 Die Reaktionen beim Niederdruckaufkohlen	20
1.1.1.2.2 Prozesskontrolle	26
1.1.1.2.3 Prozesstypische Erscheinungen	27
1.1.1.3 Das Reaktionsmedium Plasma für Diffusionsbehandlungen	29
1.1.1.4 Plasmaaufkohlen	32
1.1.1.4.1 Verfahrenstechnik	32
1.1.1.4.2 Einfluss von Plasmastrom- bzw. Plasmaleistungsdichte auf die Aufkohlungsergebnisse	37
1.1.1.5 Gegenüberstellung der unterschiedlichen Aufkohlungsverfahren	40
1.1.2 Carbonitrieren	40
1.1.2.1 Carbonitrieren bei Normaldruck	41
1.1.2.1.1 Die Wechselwirkung zwischen Kohlenstoff- und Stickstoffaktivität	44
1.1.2.1.2 Anwendung des Carbonitrierens	46
1.1.2.1.3 Anlagen- und Chargeneinfluss beim Carbonitrieren	47
1.1.2.2 Niederdruckcarbonitrieren	49
1.1.3 Sonderverfahren	50
1.1.3.1 Aufkohlen austenitischer Stähle bei Niedrigtemperatur	50
1.1.3.2 Aufkohlen bei hoher Temperatur – Hochtemperaturaufkohlen	54
1.1.3.3 Aufkohlen in sauerstofffreien Atmosphären	55
1.1.3.4 Aufkohlen mit hohen Randkohlenstoffgehalten – Excess Carburizing	55
1.1.4 Härten, Anlassen, Tiefkühlen	55
1.1.4.1 Verfahren zum Härten	57
1.1.4.1.1 Direkthärten (Typ A)	58
1.1.4.1.2 Einfachhärten (Typ B)	59
1.1.4.1.3 Härten nach isothermischem Umwandeln (Typ C)	59
1.1.4.1.4 Doppelhärten (Typ D)	60
1.1.4.2 Warmbadhärten	60

	Seite
1.1.4.3	Tiefkühlen 61
1.1.4.4	Der einsatzgehärtete Zustand 62
1.1.4.5	Anlassen 63
1.2	Nitrieren und Nitrocarburieren 64
1.2.1	Begriffsbestimmung 64
1.2.2	Nitrieren 65
1.2.3	Nitrocarburieren 67
1.2.3.1	Die Reaktionen 67
1.2.3.2	Kenngrößen 69
1.2.3.3	Einfluss der Kenngrößen auf das Ergebnis des Nitrierens und Nitrocarburierens 72
1.2.3.4	Wechselwirkung von Stickstoff und Kohlenstoff in der Nitrierschicht 77
1.2.4	Plasmanitrieren 78
1.2.4.1	Das Reaktionsmedium Plasma 78
1.2.4.2	Prozessablauf 78
1.2.5	Sonderverfahren/Kombinationsverfahren 83
1.2.5.1	Nitrieren/Nitrocarburieren bei niedriger Temperatur 83
1.2.5.2	Nitrieren/Nitrocarburieren oberhalb 590 °C 84
	bzw. oberhalb $AC_{1(F\&N-C)}$
1.2.5.3	Hochtemperaturnitrieren 87
1.2.5.4	Niederdrucknitrieren 89
1.2.5.5	Drucknitrieren 90
1.2.5.6	Nitrieren/Nitrocarburieren und Beschichten 90
1.2.5.7	Nitrocarburieren und anschließendes Härten im Vakuumofen 90
1.2.5.8	Nitrocarburieren und anschließendes Randschichthärten 91
1.2.6	Vor- und Nachbehandlung 91
1.2.6.1	Reinigen 94
1.2.6.1.1	Waschen 94
1.2.6.1.2	Strahlen 95
1.2.6.1.3	Beizen 95
1.2.6.2	Vorbehandlung 96
1.2.6.2.1	Entgraten 96
1.2.6.2.2	Voroxidieren 96
1.2.6.2.3	Spannungsarmglühen 97
1.2.6.2.4	Normalglühen 98
1.2.6.2.5	Vergüten 98
1.2.6.2.6	Vorbereiten für eine örtlich begrenzte Diffusionsbehandlung 99
1.2.6.3	Nachbehandlung 99
1.2.6.3.1	Reinigen 99
1.2.6.3.2	Auslagern 100
1.2.6.3.3	Nachoxidieren 101
1.2.6.3.4	Diffusionsbehandeln 102
1.2.6.3.5	Spanendes Bearbeiten 102
1.2.6.3.6	Richten oder Kalibrieren 103
1.2.6.4.7	Korrosionsschützen 104

2	Verfahrensdurchführung	105
2.1	Herstellung der Behandlungsatmosphären	105
2.1.1	Gase, allgemeine Bemerkungen	105
2.1.2	Propan	107
2.1.3	Methan/Erdgas	108
2.1.4	Ammoniak	109
2.1.5	Ammoniak-Spaltgas	110
2.1.6	Kohlenstoffdioxid	111
2.1.7	Kohlenstoffmonooxid	112
2.1.8	Stickstoff	113
2.1.9	Acetylen	115
2.1.10	Wasserstoff	120
2.1.11	Argon	121
2.1.12	Helium	122
2.1.13	Endogas	122
2.1.14	Exogas	123
2.1.15	Methanol	124
2.2	Atmosphären zum Wärmebehandeln	126
2.2.1	Atmosphären zum Aufkohlen und Carbonitrieren	126
2.2.2	Atmosphären zum Nitrieren und Nitrocarburieren	128
2.2.3	Atmosphärenwechsel	130
2.3	Messen, Steuern und Regeln	131
2.3.1	Prozess-Zielgrößen	133
2.3.1.1	Aufkohlen, Carbonitrieren, Einsatzhärten	134
2.3.1.2	Nitrieren und Nitrocarburieren	135
2.3.2	Prozessparameter	135
2.3.2.1	Temperatur	135
2.3.2.1.1	Temperaturmessung	135
2.3.2.1.2	Temperaturregelung	141
2.3.2.2	Atmosphärenkenngößen	142
2.3.2.2.1	Messen und Bestimmen der Kenngößen	142
2.3.2.2.1.1	C-Pegel	142
2.3.2.2.1.2	Carbonitrierpegel C_{pCarb} und N_{pCarb}	148
2.3.2.2.1.3	Kohlenstoffübergangszahl β	149
2.3.2.2.1.4	Dissoziationsgrad beim Nitrieren/Nitrocarburieren	150
2.3.2.2.1.5	Nitrierkennzahl	150
2.3.2.2.1.6	Oxidationskennzahl	152
2.3.2.2.1.7	Kohlungskennzahl	152
2.3.2.2.2	Regelung der Kenngößen	153
2.3.2.2.2.1	C-Pegel	153
2.3.2.2.2.2	C-Pegel in Ungleichgewichtsatmosphären	155
2.3.2.2.2.3	Der Kohlenstoffübergangskoeffizient β in Gleichgewichtsatmosphären	156
2.3.2.2.2.4	Nitrierwirkung beim Carbonitrieren	158
2.3.2.2.2.5	Dissoziationsgrad und Nitrierkennzahl	158
2.3.2.2.2.6	Oxidationskennzahl	161
2.3.2.2.2.7	Kohlungskennzahl	161

	Seite
2.3.2.3	Atmosphärenzusammensetzung 162
2.3.2.3.1	Messen der Atmosphärenzusammensetzung 162
2.3.2.3.1.1	Infrarot-Analysatoren 162
2.3.2.3.1.2	Sauerstoffsonden 165
2.3.2.3.1.3	Schüttelflasche 167
2.3.2.3.1.4	Wärmeleitfähigkeits-Messgeräte 169
2.3.2.3.1.5	Taupunktmessgeräte 170
2.3.2.3.1.6	Wasserstoff-Partialdruck-Messgerät 172
2.3.2.3.2	Regelung der Atmosphärenzusammensetzung 173
2.3.2.4	Gasmengen 173
2.3.2.4.1	Messen der Gasdurchflussmengen 174
2.3.2.4.2	Regelung der Gasdurchflussmengen 177
2.3.2.5	Druck 178
2.3.2.5.1	Druckmessung 178
2.3.2.5.2	Druckregelung 181
2.4	Prozessführung 182
2.4.1	Beschicken und Erwärmen 182
2.4.1.1	Einbringen in den kalten Ofen 183
2.4.1.2	Einbringen in den warmen Ofen 183
2.4.1.3	Voroxidieren vor dem Nitrieren und Nitrocarburieren 184
2.4.2	Halten 184
2.4.2.1	Nitrieren und Nitrocarburieren 184
2.4.2.2	Aufkohlen und Carbonitrieren 185
2.4.3	Abkühlen 186
2.4.3.1	Nitrieren und Nitrocarburieren 186
2.4.3.2	Aufkohlen und Carbonitrieren 186
3	Anlagentechnik 188
3.1	Einrichtungen zur Gasversorgung 188
3.1.1	Endogaserzeuger 188
3.1.2	Direktbegasungsverfahren 193
3.1.2.1	Direktbegasung mit Kohlenwasserstoff-Luft-Gemischen 193
3.1.2.2	Trärgas aus Methanol und Stickstoff 193
3.1.3	Ammoniak-Spaltgas-Erzeuger 194
3.2	Begasung der Öfen 196
3.2.1	Anlagen bei Normaldruck 196
3.2.2	Anlagen bei Niederdruck 198
3.3	Prozessablauf und Prozessüberwachung 198
3.3.1	Anlagen bei Normaldruck 199
3.3.2	Anlagen bei Niederdruck 199
3.3.3	Sicherheitseinrichtungen 199
3.4	Schacht- und Haubenöfen 200
3.4.1	Beschreibung der Anlagen 200
3.5	Mehrzweck-Kammeröfen 208
3.6	Durchstoß-Öfen/Ringherdöfen 215
3.7	Drehherdöfen 219
3.8	Banddurchlauföfen 222
3.9	Rollenherdöfen 225
3.10	Anlagen zum Niederdruckaufkohlen 228

		Seite
3.11.1	Anlagen zum Plasmanitrieren/-nitrocarburieren	234
3.11.1.1	Beschreibung der Anlagen	234
3.11.1.2	Aufbau der Anlagen	237
3.11.1.3	Anlagenbetrieb	238
3.12	Allgemeine Hinweise zur Ofenauswahl	241
3.13	Abschreckenanlagen	242
3.14	Hinweise zum Chargenpacken	245
3.15	Chargentransport	248
4	Energiebilanz	249
4.1	Der Energiebedarf für thermochemische Prozesse	249
4.2	Beispiele aus der Praxis	254
4.2.1	Beispiel 1: Doppelkammerofen	254
4.2.2	Beispiel 2: Durchstoßofen	257
4.2.3	Beispiel 3: Vakuum-Mehrzweck-Kammerofen zum Niederdruckaufkohlen	258
5	Umweltschutz und Entsorgung	261
5.1	Umweltschutz und Genehmigungsrecht	261
5.2	Gefahrstoffe	262
5.2.1	Lagern von Gefahrstoffen	262
5.2.2	Einsatz von Gefahrstoffen	263
5.3	Anlagen und Ausrüstungen	263
5.4	Abfallentsorgung	263
5.5	Nutzen aus Umweltschutz und Entsorgung	266
6	Hinweise zum sicheren Betrieb der Anlagen	267
6.1	Beispiele für die Notwendigkeit von Sicherheitsmaßnahmen	267
6.2	Allgemeines	268
6.3	Sicherheit für Leib und Leben	268
6.4	Sicherheit für die Anlage	273
6.5	Sicherung des Behandlungsgutes	274
6.6	Prüfung und Instandhaltung	275
	Literatur	276
	Stichwortverzeichnis	293
	Zum Buch	301