

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	1
D. Liedtke	
1 Entstehung, Aufbau und Gefüge von Nitrierschichten	9
D. Liedtke, H.-J. Spies	
1.1 Begriffsbestimmungen (D. Liedtke)	9
1.2 Zweck des Nitrierens und Nitrocarburierens (D. Liedtke)	10
1.3 Die Wechselwirkung zwischen Eisen und Stickstoff bzw. Eisen, Stickstoff und Kohlenstoff (D. Liedtke)	11
1.4 Bildung und Gefüge der Nitrier-/Nitrocarburierschichten (D. Liedtke)	13
1.4.1 Allgemeines	13
1.4.2 Die Verbindungsschicht	17
1.4.3 Die Porosität der Verbindungsschicht	21
1.4.4 Die Diffusionsschicht	27
1.4.5 Literatur Kapitel 1.1 bis 1.4	34
1.5 Bildung und Wachstum von Nitrierschichten – Grundlagen (H.-J. Spies)	37
2 Eigenschaften	51
H.-J. Spies, D. Liedtke	
2.1 Allgemeines (H.-J. Spies)	51
2.2 Härte und Härteprofil (D. Liedtke)	55
2.2.1 Allgemeines	55
2.2.2 Oberflächenhärte	55
2.2.3 Härte der Verbindungsschicht	58
2.2.4 Härte der Nitrier-/Nitrocarburierschicht	58
2.2.5 Nitrierhärtetiefe	66
2.2.6 Literatur zu Kapitel 2.2	67
2.3 Werkstückgeometrie (D. Liedtke)	69
2.3.1 Maße und Formen	69
2.3.2 Oberflächenrauheit	72
2.3.3 Literatur	73
2.4 Eigenspannungen (H.-J. Spies)	75
2.5 Verschleißverhalten (D. Liedtke)	81
2.5.1 Allgemeines	81
2.5.2 Das Verhalten der Verbindungsschicht	82
2.5.3 Verschleißverhalten der Diffusionsschicht	84
2.6 Festigkeitsverhalten	87
2.6.1 Zugfestigkeit (D. Liedtke)	87
2.6.2 Formänderungsvermögen – Zähigkeit (D. Liedtke)	89
2.6.3 Schwingfestigkeit (H.-J. Spies)	99
2.7 Korrosionsverhalten (H.-J. Spies)	109

3	Vorbehandeln und Vorbereiten der Werkstücke	113
	D. Liedtke	
3.1	Allgemeines	113
3.2	Reinigen	116
3.2.1	Waschen	116
3.2.2	Strahlen	117
3.2.3	Beizen	117
3.3	Vorbehandeln	117
3.3.1	Entgraten	118
3.3.2	Voroxidieren	118
3.3.3	Spannungsarmglühen	118
3.3.4	Normalglühen	119
3.3.5	Vergüten	119
3.4	Vorbereiten für ein örtlich begrenztes Nitrieren/Nitrocarburieren	120
3.5	Literatur Kapitel 3	120
4	Gasnitrieren und Gasnitrocarburieren	123
	W. Lerche	
4.1	Grundlagen der Verfahrenstechnik	123
4.1.1	Die Ammoniakzerfallsreaktion als Grundlage für die Bereitstellung von diffusionsfähigem Stickstoff	123
4.1.2	Reaktionen für das zusätzliche Bereitstellen von diffusionsfähigem Kohlenstoff	126
4.2	Durchführung des Nitrierens und Nitrocarburierens	128
4.2.1	Behandlungsmittel	128
4.2.2	Nitriertemperatur	129
4.2.3	Nitriedauer	130
4.2.4	Atmosphärenzusammensetzung	130
4.2.4.1	Nitrieren	130
4.2.4.2	Nitrocarburieren	133
4.3	Anlagentechnik	134
4.3.1	Bereitstellung der Behandlungsgase	134
4.3.1.1	Ammoniak	134
4.3.1.2	Zusatzgase	135
4.3.1.3	Anlagen zum Nitrieren/Nitrocarburieren	135
4.3.1.3.1	Retortenöfen	136
4.3.1.3.2	Ausgekleidete Öfen	138
4.3.1.4	Anlagensicherheit	140
4.3.1.5	Integration der Anlagen in eine Fertigungsline	140
4.4	Die Prozessgestaltung	142
4.4.1	Die Zeit-Temperatur-Folge	143
4.4.2	Die Atmosphärenführung	145
4.4.3	Anwendungsbeispiele	149
4.5	Prozessüberwachung und -regelung	154
4.5.1	Allgemeines	154
4.5.2	Auswahl der Messverfahren	154
4.5.3	Prozessregelung	158

4.6	Vor- und Nachteile des Gasnitrierens/-nitrocarburierens	165
4.6.1	Vorteile	165
4.6.2	Nachteile	165
4.7	Literatur Kapitel 4	166
5	Plasmanitrieren und –nitrocarburieren	171
	U. Huchel	
5.1	Reaktionsmedium Plasma	171
5.2	Prozessparameter beim Plasmanitrieren und -nitrocarburieren und deren Wirkungsweise	173
5.3	Typischer Prozessablauf	178
5.4	Anlagen zum Nitrieren und Nitrocarburieren im Plasma	180
5.5	Kenndaten für die Charakterisierung einer Plasmaanlage	185
5.6	Spezifische Vor- und Nachteile der Behandlung im Plasma	188
5.7	Literatur Kapitel 5	189
6	Salzbadnitrocarburieren	191
	U. Baudis, J. Boßlet	
6.1	Einleitung	191
6.1.1	Allgemeines	191
6.1.2	Entwicklungsgeschichte des Salzbadnitrocarburierens	192
6.2	Physikalische und chemische Grundlagen des Salzbad-Nitrocarburierens	192
6.2.1	Ionische Flüssigkeiten	192
6.2.2	Anforderungen an die Salzschmelze	193
6.2.3	Isomerie des Cyanations	194
6.2.4	Cyanatsynthese	194
6.2.5	Chemische Reaktionen beim Salzbadnitrocarburieren	194
6.2.6	Prinzip des Regenerierens	197
6.3	Prozessablauf	199
6.3.1	Chargieren	199
6.3.2	Vorreinigen	199
6.3.3	Vorwärmen	200
6.3.4	Nitrocarburieren	200
6.3.4.1	Salzschmelzen zum Nitrocarburieren	201
6.3.4.2	Prozess-Parameter	204
6.3.4.3	Verfahrensvarianten	205
6.3.5	Abkühlen/Oxidieren	207
6.3.6	Reinigen	210
6.4	Prozesssteuerung und –kontrolle	210
6.4.1	Die analytische Kontrolle der Nitrocarburierschmelzen	210
6.4.2	Die analytische Kontrolle der oxidierenden Salzschmelzen	214
6.4.3	Prozesssteuerung	216
6.5	Anlagentechnik	216
6.5.1	Aufbau einer Salzbadnitrocarburieranlage	217
6.5.2	Filtertechnik	218
6.5.3	Vollautomatische Salzbadnitrocarburieranlagen	219

6.6	Sicherheit und Umweltschutz beim Salzbadnitrocarburieren	222
6.6.1	Arbeitsschutz	222
6.6.2	Umweltschutz	224
6.6.3	Ökobilanz des Salzbadnitrocarburierens	227
6.7	Vor- und Nachteile des Salzbadnitrocarburierens	227
6.8	Literatur Kapitel 6	228
7	Sonderverfahren zum Nitrieren/Nitrocarburieren	231
	D. Liedtke	
7.1	Pulvernitrocarburieren	231
7.2	Nitrieren in wässriger Ammoniaklösung	232
7.3	Nitrieren und Nitrocarburieren in Wirbelbettanlagen	232
7.4	Literatur Kapitel 7	233
8	Nachbehandlung	235
	D. Liedtke	
8.1	Einleitung	235
8.2	Reinigen	235
8.3	Auslagern	236
8.4	Nachoxidieren	237
8.5	Diffusionsbehandeln	237
8.6	Spanendes Bearbeiten	238
8.7	Richten oder Kalibrieren	239
8.8	Korrosionsschutz	239
8.9	Literatur Kapitel 8	240
9	Hinweise zur Werkstoff- und Verfahrensauswahl	241
	U. Baudis, J. Boßlet, U. Huchel, H. Klümper-Westkamp, W. Lerche, D. Liedtke, H.-J. Spies,	
9.1	Hinweise zur Auswahl und Erzeugung beanspruchungsgerechter Nitrierschichten (H.-J. Spies)	241
9.2	Nitrierbarkeit von Eisenwerkstoffen (H.-J. Spies)	245
9.3	Hinweise zum Vermeiden möglicher Beanstandungen an nitrierten und nitrocarburierten Teilen (D. Liedtke)	263
9.3.1	Allgemeines	263
9.3.2	Häufige Beanstandungen an nitrierten und nitrocarburierten Werk- stücken	263
9.4	Anwendungsbeispiele (D. Liedtke, U. Baudis, J. Boßlet, U. Huchel, H. Klümper-Westkamp, W. Lerche, H.-J. Spies)	272
9.4.1	Bauteile	272
9.4.1.1	Antriebs- und Fördertechnik	272
9.4.1.2	Fahrzeug- und Motorenbau	273
9.4.1.3	Hydraulikindustrie	278
9.4.1.4	Maschinenelemente	279
9.4.1.5	Sonstige Bauteile	281
9.4.2	Werkzeuge	283
9.4.2.1	Kaltarbeitswerkzeuge	283

9.4.2.2	Warmarbeitswerkzeuge	284
9.4.2.3	Werkzeuge aus Schnellarbeitsstählen	286
10	Nitrierte und nitrocarburierte Werkstücke	
	Darstellung und Angaben in Zeichnungen	
	und anderen Fertigungsunterlagen	289
	D. Liedtke	
10.1	Zweck der Angaben	289
10.2	Woraus bestehen die Angaben in Zeichnungen?	289
10.3	Zeichnungsangaben	290
10.3.1	Angabe des Werkstoffzustands	290
10.3.2	Angabe der Härte	291
10.3.3	Angabe der Nitrierhärtetiefe NHD	291
10.3.4	Angabe der Verbindungsschichtdicke CLT	292
10.3.5	Kennzeichnung der Prüfstelle	293
10.3.6	Örtlich begrenztes Nitrieren/Nitrocarburiieren	293
10.3.7	Wärmebehandlungsbild	293
10.4	Ausführungsbeispiele	294
10.5	Angaben in Fertigungsunterlagen	295
10.6	Literatur Kapitel 10	296
11	Prüfen nitrierter/nitrocarburiertener Werkstücke	297
	H. Klümper-Westkamp	
11.1	Einleitung	297
11.2	Visuelle Kontrolle	298
11.2.1	Sichtkontrolle	298
11.2.2	Tüpfeltest	299
11.3	Härte	299
11.3.1	Oberflächenhärte	300
11.3.2	Nitrierhärtetiefe NHD	302
11.3.3	Härte der Verbindungsschicht	303
11.4	Metallographische Prüfmethoden	304
11.4.1	Lichtmikroskopie – der Schliff	304
11.4.2	Rasterelektronenmikroskopie (REM)	311
11.4.3	Transmissionselektronenmikroskop (TEM)	314
11.5	Physikalisch-chemische Prüfmethoden	314
11.5.1	Glimmentladungsspektrometrie – GDOS	315
11.5.2	Elektronenspektroskopie zur chemischen Analyse (ESCA)	319
11.5.3	Röntgenfeinstrukturanalyse (XRD)	319
11.5.4	Eigenspannungsmessungen mit Röntgenstrahlung	323
11.5.5	Weitere Untersuchungsmethoden	324
11.6	Technologische Prüfungen	324
11.6.1	Verschleißprüfung	324
11.6.2	Korrosionsprüfung	326
11.6.3	Festigkeitsprüfung	329
11.6.4	Zähigkeitsprüfung	330

11.6.5	Zerstörungsfreie Prüfungen	331
11.7	Literatur Kapitel 11	333
Sachregister		336
Dissertationen 1975 bis 2017		342