

# Inhaltsverzeichnis

---

	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
	D. Liedtke	
<b>1</b>	<b>Entstehung, Aufbau und Gefüge von Nitrierschichten</b>	<b>9</b>
	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
<b>2</b>	<b>Eigenschaften</b>	<b>51</b>
	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	Nitrierhärte tiefe	66
2.2.6	Literatur zu Kapitel 2.2	68
2.3	Werkstückgeometrie (D. Liedtke)	69
2.3.1	Maße und Formen	69
2.3.2	Oberflächenrauheit	72
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

<b>3</b>	<b>Vorbehandeln und Vorbereiten der Werkstücke</b>	<b>113</b>
	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
<b>4</b>	<b>Gasnitrieren und Gasnitrocarburieren</b>	<b>123</b>
	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	Nitrierdauer	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 Fertigungslinie	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 gegenüber anderen Verfahrenstechniken	165
4.6.2	Nachteile	165
4.7	Literatur Kapitel 4	166
<b>5</b>	<b>Plasmanitrieren und -nitrocarburieren</b>	<b>171</b>
	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
<b>6</b>	<b>Salzbadnitrocarburieren</b>	<b>191</b>
	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 Salzschnmelze	193
6.2.3	Isomerie des Cyanations	194
6.2.4	Cyanatsynthese	194
6.2.5	Chemische Reaktionen beim Salzbadnitrocarburieren	194
6.2.6	Aktivierung der Salzschnmelzen	197
6.2.7	Prinzip des Regenerierens	198
6.3	Prozessablauf	199
6.3.1	Chargieren	200
6.3.2	Vorreinigen	200
6.3.3	Vorwärmen	200
6.3.4	Nitrocarburieren	201
6.3.4.1	Salzschnmelzen zum Nitrocarburieren	202
6.3.4.2	Prozess-Parameter	203
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 Nitrocarburierschnmelzen	210
6.4.2	Die analytische Kontrolle der oxidierenden Salzschnmelzen	215
6.4.3	Prozesssteuerung	216
6.5	Anlagentechnik	216
6.5.1	Aufbau einer Salzbadnitrocarburieranlage	217

6.5.2	Filtertechnik	219
6.5.3	Vollautomatische Salzbadnitrocarburieranlagen	220
6.6	Sicherheit und Umweltschutz beim Salzbadnitrocarburieren	222
6.6.1	Arbeitsschutz	222
6.6.2	Umweltschutz	224
6.6.3	Ökobilanz des Salzbadnitrocarburierens	226
6.7	Vor- und Nachteile des Salzbadnitrocarburierens	227
6.8	Literatur Kapitel 6	228
<b>7</b>	<b>Sonderverfahren zum Nitrieren/Nitrocarburieren</b>	<b>231</b>
	D. Liedtke	
7.1	Pulvernitrocarburieren	231
7.2	Nitrieren in wässriger Ammoniaklösung	232
7.3	Nitrieren und Nitrocarburieren in Wirbelbetтанlagen	232
7.4	Literatur Kapitel 7	233
<b>8</b>	<b>Nachbehandlung</b>	<b>235</b>
	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
<b>9</b>	<b>Hinweise zur Werkstoff- und Verfahrensauswahl</b>	<b>241</b>
	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)	259
9.3.1	Allgemeines	259
9.3.2	Häufige Beanstandungen an nitrierten und nitrocarburierten Werkstücken	259
9.4	Anwendungsbeispiele (D. Liedtke, U. Baudis, J. Boßlet, U. Huchel, H. Klümper-Westkamp, W. Lerche, H.-J. Spies)	265
9.4.1	Bauteile	265
9.4.1.1	Antriebs- und Fördertechnik	265
9.4.1.2	Fahrzeug- und Motorenbau	266
9.4.1.3	Hydraulikindustrie	271
9.4.1.4	Maschinenelemente	272
9.4.1.5	Sonstige Bauteile	274

9.4.2	Werkzeuge	276
9.4.2.1	Kaltarbeitswerkzeuge	276
9.4.2.2	Warmarbeitswerkzeuge	277
9.4.2.3	Werkzeuge aus Schnellarbeitsstählen	279
<b>10</b>	<b>Nitrierte und nitrocarburierte Werkstücke Darstellung und Angaben in Zeichnungen und anderen Fertigungsunterlagen</b>	<b>281</b>
	D. Liedtke	
10.1	Zweck der Angaben	281
10.2	Woraus bestehen die Angaben?	281
10.3	Zeichnungsangaben	282
10.3.1	Angabe des Werkstoffzustands	282
10.3.2	Angabe der Härte	283
10.3.3	Angabe der Nitrierhärte tiefe	283
10.3.4	Angabe der Verbindungsschichtdicke	284
10.3.5	Angabe der Mess- oder Prüf stelle	285
10.3.6	Örtlich begrenztes Nitrieren/Nitrocarburieren	285
10.3.7	Wärmebehandlungsbild	286
10.4	Ausführungsbeispiele	286
10.5	Angaben in Fertigungsunterlagen	287
10.6	Literatur Kapitel 10	288
<b>11</b>	<b>Prüfen nitrierter/nitrocarburierter Werkstücke</b>	<b>289</b>
	H. Klümper-Westkamp	
11.1	Einleitung	289
11.2	Visuelle Kontrolle	289
11.2.1	Sichtkontrolle	290
11.2.2	Tüpfelprobe	291
11.3	Härtemessung	291
11.3.1	Oberflächenhärte	292
11.3.2	Nitrierhärte tiefe	294
11.3.3	Härte der Verbindungsschicht	295
11.4	Metallographische Prüfmethode n	296
11.4.1	Lichtmikroskopie – der Schliff	296
11.4.2	Rasterelektronenmikroskopie (REM)	303
11.4.3	Transmissionselektronenmikroskop	305
11.5	Physikalisch-chemische Prüfmethode n	306
11.5.1	Glimmentladungsspektrometrie – GDOS	306
11.5.2	Elektronenspektroskopie zur chemischen Analyse (ESCA)	311
11.5.3	Röntgenfeinstrukturanalyse (XRD)	311
11.5.4	Eigen Spannungsmessungen mit Röntgenstrahlung	315
11.5.5	Weitere Untersuchungsmethode n	316
11.6	Technologische Prüfungen	316
11.6.1	Verschleißprüfung	316
11.6.2	Korrosionsprüfung	318
11.6.3	Festigkeitsprüfung	321

11.6.4	Zähigkeitsprüfung	322
11.6.5	Zerstörungsfreie Prüfungen	323
11.7	Literatur Kapitel 11	325
	<b>Sachregister</b>	<b>329</b>
	<b>Dissertationen 1975 bis 2014</b>	<b>335</b>