

# Wärmebehandlung von Eisenwerkstoffen II

Nitrieren und Nitrocarburieren

Dr.-Ing. Dieter Liedtke

Dr. Ulrich Baudis

Dr. Joachim Boßlet

Dr.-Ing. Uwe Huchel

Dr.-Ing. Heinrich Klümper-Westkamp

Dr.-Ing. Wolfgang Lerche

Prof. Dr.-Ing. Heinz Joachim Spies

4., durchgesehene Auflage .

Mit 241 Bildern und 28 Tabellen



Kontakt & Studium

Band 686

Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. Dr.h.c. Wilfried J. Bartz

Dipl.-Ing. Elmar Wippler

**experttmverlag**

# 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	Das Gefüge der Nitrier-/Nitrocarburierschicht (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	Nitrierhärte tiefe	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
2.4	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

## Vorbehandeln und Vorbereiten der Werkstücke

D. Liedtke

- 3.1 Allgemeines
- 3.2 Reinigen
  - 3.2.1 Waschen
  - 3.2.2 Strahlen
  - 3.2.3 Beizen
- 3.3 Vorbehandeln
  - 3.3.1 Entgraten
  - 3.3.2 Voroxidieren
  - 3.3.3 Spannungsarmglühen
  - 3.3.4 Normalglühen
  - 3.3.5 Vergüten
- 3.4 Vorbereiten für ein örtlich begrenztes Nitrieren/Nitrocarburieren
- 3.5 Literatur Kapitel 3

## Gasnitrieren und Gasnitrocarburieren

W. Lerche

- 4.1 Grundlagen der Verfahrenstechnik
  - 4.1.1 Die Ammoniakzerfallsreaktion als Grundlage für die Bereitstellung von diffusionsfähigem Stickstoff
  - 4.1.2 Reaktionen für das zusätzliche Bereitstellen von diffusionsfähigem Kohlenstoff
- 4.2 Durchführung des Nitrierens und Nitrocarburierens
  - 4.2.1 Behandlungsmittel
    - 4.2.2 Nitriertemperatur
    - 4.2.3 Nitrierdauer
    - 4.2.4 Atmosphärenzusammensetzung
      - 4.2.4.1 Nitrieren
      - 4.2.4.2 Nitrocarburieren
  - 4.3 Anlagentechnik
    - 4.3.1 Bereitstellung der Behandlungsgase
      - 4.3.1.1 Ammoniak
      - 4.3.1.2 Zusatzgase
      - 4.3.1.3 Anlagen zum Nitrieren/Nitrocarburieren
        - 4.3.1.3.1 Retortenöfen
        - 4.3.1.3.2 Ausgekleidete Öfen
      - 4.3.1.4 Anlagensicherheit
    - 4.4 Die Prozessgestaltung
      - 4.4.1 Die Zeit-Temperatur-Folge
      - 4.4.2 Die Atmosphärenführung
      - 4.4.3 Anwendungsbeispiele
    - 4.5 Prozessüberwachung und -regelung
      - 4.5.1 Allgemeines
      - 4.5.2 Auswahl der Messverfahren
      - 4.5.3 Prozessregelung

4.6	Vor- und Nachteile des Gasnitrierens	165
4.6.1	Vorteile	165
4.6.2	Nachteile	165
4.7	Literatur Kapitel 4	166
<b>5</b>	<b>Plasmanitrieren und -nitrocarburieren</b>	<b>171</b>
	<b>U. Huchel</b>	
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 Salzbadnitrocarburierens	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>Sonden/erfahren zum Nitrieren/Nitrocarburieren</b>		<b>231</b>
	D. Liedtke	) v	
7.1	Pulvernitrocarburieren		231
7.2	Nitrieren in wässriger Ar	niaklösung	232
7.3	Nitrieren und Nitrocarbu	n in Wirbelbetтанlagen	232
7.4	Literatur Kapitel 7		233
<b>o</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	i	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	s	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

## 10 Nitrierte und nitrocarburierte Werkstücke Darstellung und Angaben in Zeichnungen und anderen Fertigungsunterlagen 281

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/Nitrocarburiere n	285
10.3.7	Wärmebehandlungsbild	286
10.4	Ausführungsbeispiele	286
10.5	Angaben in Fertigungsunterlagen	287
10.6	Literatur Kapitel 10	288

## 11 Prüfen nitrierter/nitrocarburierte r Werkstücke 289

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 Prüfmethoden	296
11.4.1	Lichtmikroskopie-der Schliff	296
11.4.2	Rasterelektronenmikroskopie (REM)	303
11.4.3	Transmissionselektronenmikroskop	305
11.5	Physikalisch-chemische Prüfmethoden	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	Eigenspannungsmessungen mit Röntgenstrahlung	315
11.5.5	Weitere Untersuchungsmethoden	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
	-, Sachregister	J	329
	Dissertationen 1975 bis 2004	,	335