

**Detlef Armin Kube**

# Eigenschaften nitrierter/nitrocarburiertes Bauteile und deren Beeinflussung durch Prozessführung

**Studienarbeit**

## **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:**

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek: Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de/> abrufbar.

Dieses Werk sowie alle darin enthaltenen einzelnen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsschutz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlanges. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen, Auswertungen durch Datenbanken und für die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronische Systeme. Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der fotomechanischen Wiedergabe (einschließlich Mikrokopie) sowie der Auswertung durch Datenbanken oder ähnliche Einrichtungen, vorbehalten.

Copyright © 2001 Diplom.de  
ISBN: 9783832474362

**Detlef Armin Kube**

**Eigenschaften nitrierter/nitrocarburiertes Bauteile und deren Beeinflussung durch Prozessführung**

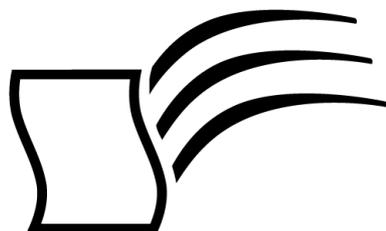


---

Detlef Armin Kube

# **Eigenschaften nitrierter/ nitrocarburiertes Bauteile und deren Beeinflussung durch Prozessführung**

**Studienarbeit  
Universität Bremen  
Fachbereich 4, Produktionstechnik  
Abgabe Dezember 2001**



***Diplom.de***

Diplomica GmbH \_\_\_\_\_  
Hermannstal 119k \_\_\_\_\_  
22119 Hamburg \_\_\_\_\_

Fon: 040 / 655 99 20 \_\_\_\_\_  
Fax: 040 / 655 99 222 \_\_\_\_\_

agentur@diplom.de \_\_\_\_\_  
www.diplom.de \_\_\_\_\_

ID 7436

Kube, Detlef Armin: Eigenschaften nitrierter/nitrocarburiertes Bauteile und deren Beeinflussung durch Prozessführung

Hamburg: Diplomica GmbH, 2003

Zugl.: Universität Bremen, Universität, Studienarbeit, 2001

---

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Die Informationen in diesem Werk wurden mit Sorgfalt erarbeitet. Dennoch können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden, und die Diplomarbeiten Agentur, die Autoren oder Übersetzer übernehmen keine juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für evtl. verbliebene fehlerhafte Angaben und deren Folgen.

Diplomica GmbH

<http://www.diplom.de>, Hamburg 2003

Printed in Germany

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG</b>	<b>1</b>
1.1	NITRIEREN	1
1.2	NITROCARBURIEREN	5
<b>2</b>	<b>RANDSCHICHTMORPHOLOGIE</b>	<b>6</b>
2.1	VERFAHRENSABLÄUFE UND ALLGEMEINE EINFLUßFAKTOREN	8
2.1.1	<i>Stickstoffdiffusion</i>	8
2.1.2	<i>Auf- und Entkohlung</i>	9
2.1.3	<i>Zustandsdiagramme und Dreistoffsysteme</i>	12
2.1.4	<i>Legierungselemente</i>	15
2.1.5	<i>Abkühl- und Auslagerungsbedingungen, Nachbehandlung</i>	16
2.2	VERBINDUNGSSCHICHT	17
2.2.1	<i>Umgebungsatmosphäre</i>	17
2.2.2	<i>Schichtdicke und –wachstum</i>	18
2.2.2.1	Behandlungsdauer und -temperatur	19
2.2.2.2	Umgebungsatmosphäre	22
2.2.2.2.1	Lehrerdiagramm	24
2.2.2.2.2	Zweistufenbehandlung	25
2.2.2.3	Nitrierkennzahl	25
2.2.2.4	Legierungselemente	27
2.2.3	<i>Porensaum</i>	27
2.2.3.1	Porenbildung	27
2.2.3.2	Nitrieratmosphäre	28
2.2.3.3	Nitrierkennzahl	29
2.2.3.4	Legierungselemente	29
2.2.3.5	Phasenzusammensetzung	30
2.2.4	<i>Abkühl- und Auslagerungsbedingungen</i>	30
2.3	DIE DIFFUSIONSSCHICHT	31
2.3.1	<i>Schichtdicke und –wachstum</i>	31
2.3.1.1	Legierungselemente	31
2.3.2	<i>Abkühl- und Auslagerungsbedingungen</i>	31
<b>3</b>	<b>RANDSCHICHTCHARAKTERISIERUNG</b>	<b>35</b>
3.1	ELEMENTVERTEILUNG	35
3.1.1	<i>Glimmentladungsspektroskopie (GDOS-Analyse)</i>	35
3.1.1.1	Chemische Elemente	35
3.1.1.1.1	Einfluß der Legierungselemente	37
3.1.1.1.2	Einfluß des Ausgangswerkstoffzustandes	38
3.2	PHASENVERTEILUNG	39
3.2.1	<i>Röntgenographische Phasenanalyse (Röntgenbeugungsdiagramme)</i>	39
3.2.2	<i>Phasenkonzentrationsbestimmung</i>	41
3.3	EIGENSPANNUNGSVERTEILUNG	42
3.3.1	<i>Makrospannungen</i>	42

3.3.2	<i>Einflußfaktoren</i> .....	44
3.3.2.1	Behandlungsdauer und -temperatur.....	44
3.3.2.2	Abkühlbedingungen.....	44
3.3.2.3	Legierungselemente.....	45
3.3.2.4	Werkstoffausgangszustand.....	46
3.3.2.5	Nitrierkennzahl.....	46
3.3.3	<i>Eigenspannungsverläufe</i> .....	47
3.3.3.1	Röntgenographische Eigenspannungsanalysen.....	48
3.4	HÄRTEVERTEILUNG.....	50
3.4.1	<i>Oberflächenhärte</i> .....	50
3.4.1.1	Werkstoffzusammensetzung.....	51
3.4.1.2	Ausgangswerkstoffzustand.....	53
3.4.1.3	Behandlungsdauer und -temperatur.....	54
3.4.1.4	Abkühl-, Auslagerungsbedingungen und Nachbehandlung.....	56
3.4.1.5	Phasenverteilung.....	58
3.4.1.6	Mikro- und Makrospannungen.....	58
3.4.2	<i>Nitrierhärte</i> .....	59
3.4.2.1	Kohlenstoffgehalt.....	60
3.4.2.2	Legierungselemente.....	60
3.4.2.3	Nitrierkennzahl.....	62
3.4.3	<i>Randschicht-Härteverlauf</i> .....	62
3.4.3.1	Behandlungsdauer und -temperatur.....	62
3.4.3.2	Legierungselemente.....	63
3.4.3.3	Abkühlbedingungen.....	64
3.4.3.4	Ausgangswerkstoffzustand.....	65
3.4.3.5	Dynamische Umlaufbiegebeanspruchung.....	65
3.4.3.6	Globularer Grauguss – GGG.....	66
3.5	MAß- UND FORMÄNDERUNGEN.....	67
3.5.1	<i>Oberflächenrauheit</i> .....	67
3.5.2	<i>Volumenveränderung</i> .....	67
<b>4</b>	<b>EIGENSCHAFTEN NITRIERTER/NITROCARBURIERTER WERKSTÜCKE.....</b>	<b>69</b>
4.1	DIE ZÄHIGKEIT.....	69
4.1.1	<i>Wechselwirkungen</i> .....	69
4.1.1.1	Härte.....	69
4.1.1.2	Festigkeit.....	70
4.1.2	<i>Zähigkeitskennwerte</i> .....	70
4.1.2.1	Kerbschlagzähigkeit.....	70
4.1.2.1.1	Behandlungstemperatur und -dauer.....	70
4.1.2.1.2	Auslagerungs- und Aushärtungsbedingungen.....	70
4.1.3	<i>Ausgangswerkstoffzustand</i> .....	72
4.1.4	<i>Legierungselemente</i> .....	72
4.1.5	<i>Abkühlbedingungen</i> .....	72
4.1.6	<i>Auslagerungsbedingungen</i> .....	73

4.1.7	Kohlenstoffangebot .....	73
4.1.8	Verbindungsschichtmorphologie.....	74
4.2	DAS VERSCHLEIBVERHALTEN .....	75
4.2.1	Gleitverschleiß .....	76
4.2.1.1	Adhäsion .....	76
4.2.1.2	Tribooxidation.....	78
4.2.1.3	Abrasion .....	78
4.2.1.4	Wälzverschleiß / Oberflächenzerrüttung .....	79
4.2.2	Mischreibung.....	79
4.2.3	mechanischer Abrieb.....	79
4.2.3.1	Umgebungsatmosphäre .....	80
4.2.3.2	Phasenbestandteile.....	81
4.2.3.3	Elementgehalt.....	82
4.2.4	Temperaturabhängigkeit .....	83
4.2.5	Flächenpressung .....	83
4.2.6	Porensaum.....	84
4.2.7	Abkühlbedingungen / Nitrierkennzahl.....	84
4.3	DAS ERMÜDUNGSVERHALTEN .....	84
4.3.1	Dauerfestigkeit .....	85
4.3.1.1	Konzept der örtlichen Dauerfestigkeit.....	85
4.3.1.2	Schichtdicke und Phasenzusammensetzung .....	86
4.3.1.3	Probengeometrie.....	86
4.3.1.4	Ausgangswerkstoffzustand.....	86
4.3.1.5	Legierungselemente.....	87
4.3.1.6	Abkühl- und Nachbehandlungsbedingungen .....	87
4.3.2	Statisches Festigkeitsverhalten.....	89
4.3.2.1	Biegefestigkeit.....	89
4.3.2.2	Zugfestigkeit.....	89
4.3.2.3	Torsionsfestigkeit .....	92
4.3.3	Dynamisches Festigkeitsverhalten (Schwingfestigkeitsuntersuchungen).....	92
4.3.3.1	Spannungsverlauf und -relaxation .....	92
4.3.3.2	Schwingfestigkeit .....	94
4.3.3.3	Dauerschwingfestigkeit .....	95
4.3.3.3.1	Ausgangswerkstoffzustand.....	95
4.3.3.3.2	Legierungselemente .....	95
4.3.3.3.3	Zwischen- und Nachbehandlung .....	96
4.3.3.3.4	Behandlungsdauer .....	96
4.3.3.3.5	Anlassbedingungen .....	97
4.3.3.3.6	Probengeometrie .....	97
4.3.3.3.7	Anwendungsfall: Zahnräder.....	98
4.3.3.4	Biegewechselfestigkeit .....	99
4.3.3.4.1	Legierungselemente .....	100
4.3.3.5	Torsionswechselfestigkeit .....	101
4.3.3.6	Umlaufbiegewechselfestigkeit.....	101

4.3.3.6.1	Behandlungstemperatur.....	101
4.3.3.6.2	Spannungsabbau.....	102
4.3.3.6.3	Auslagerungsbedingungen.....	103
4.3.3.6.4	Probengeometrie.....	104
4.3.3.6.5	Legierungselemente.....	105
4.3.4	<i>Bruchflächen - Anrissorte</i> .....	105
4.3.4.1	Anrissbildung.....	106
4.3.4.1.1	Erscheinungsformen.....	106
4.3.4.1.2	Ausgangswerkstoffzustand.....	107
4.3.4.2	Verbindungsschichtaufbau und -entfernung.....	108
4.3.4.3	Abkühl- und Nachbehandlungsbedingungen.....	108
4.3.4.4	Dauerfestigkeit, Lastspannung und Anrissortverlagerung.....	109
4.4	DAS FORMÄNDERUNGSVERHALTEN.....	111
4.4.1	<i>Ausgangswerkstoffzustand</i> .....	111
4.4.2	<i>Auslagerung</i> .....	111
4.5	DAS KORROSIONSVRHALTEN.....	112
4.5.1	<i>Ebenmäßige Korrosion</i> .....	112
4.5.1.1	Behandlungstemperaturen, -dauer.....	112
4.5.1.2	Legierungselemente.....	112
4.5.1.3	Phasenzusammensetzung.....	113
4.5.1.4	Nachbehandlung.....	114
4.5.2	<i>Lochkorrosion</i> .....	114
4.5.2.1	Strom-Dichte-Potentialkurven.....	115
4.5.2.2	Phasenzusammensetzung.....	116
4.5.2.2.1	Pilling-Bedworth-Regel.....	118
4.5.2.3	Nachbehandlung.....	119
4.6	DAS KORROSIONSERMÜDUNGSVERHALTEN.....	120
4.6.1	<i>Bruchflächen – Anrissorte</i> .....	120
4.6.2	<i>Potentialmessungen</i> .....	122
4.6.3	<i>Statisches Festigkeitsverhalten</i> .....	122
4.6.3.1	Torsionsfestigkeit.....	122
4.6.4	<i>Dynamisches Festigkeitsverhalten</i> .....	123
4.6.4.1	Zugschwellfestigkeit.....	123
4.6.4.2	Schwingfestigkeit.....	123
4.6.4.3	Biegewechselfestigkeit.....	126
4.6.4.4	Umlaufbiegewechselfestigkeit.....	126
4.6.5	<i>Zusammenfassung der Übergangs- und Zeitfestigkeitsgebiete</i> .....	127
4.6.6	<i>Nachoxidation</i> .....	128
<b>5</b>	<b>AUSTENITISCHES NITRIEREN/NITROCARBURIEREN.....</b>	<b>129</b>
5.1	ZWISCHENSCHICHTBILDUNG.....	130
5.1.1	<i>Behandlungsdauer, -temperatur</i> .....	133
5.1.2	<i>Nitrierkennzahl</i> .....	134
5.2	ELEMENTVERTEILUNG.....	134

5.3	NACHBEHANDLUNG.....	135
5.3.1	<i>Abkühlbedingungen</i> .....	135
5.3.2	<i>Auslagerungsbedingungen</i> .....	136
5.3.3	<i>Oxidationsbehandlung</i> .....	136
5.4	EIGENSCHAFTEN AUSTENITISCH NITRIERTER/NITROCARBURIERTER WERKSTOFFE.....	137
5.4.1	<i>Härte</i> .....	137
5.4.2	<i>Porensaum</i> .....	141
5.5	VERSCHLEIBVERHALTEN.....	141
5.5.1	<i>Behandlungstemperatur, -dauer</i> .....	141
5.6	DAS ERMÜDUNGSVERHALTEN.....	142
5.6.1	<i>Dauerfestigkeit</i> .....	142
5.6.2	<i>Zeitfestigkeit</i> .....	142
5.6.3	<i>Umlaufbiegefestigkeit</i> .....	143
5.6.4	<i>Abkühl- und Nachbehandlungsbedingungen</i> .....	144
5.7	DAS KORROSIONSVRHALTEN.....	144
5.7.1	<i>Phasenverteilung</i> .....	145
5.7.2	<i>Porensaum</i> .....	145
5.7.3	<i>Nachbehandlung</i> .....	145
5.8	KERBSCHLAGZÄHIGKEIT.....	146
<b>6</b>	<b>VERFAHRENSKOMBINATION AUSTENITISCHES UND FERRITISCHES NITRIEREN/NITROCARBURIEREN – ZWEISTUFIGE BEHANDLUNG.....</b>	<b>147</b>
<b>7</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS.....</b>	<b>148</b>
<b>8</b>	<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....</b>	<b>164</b>

# 1 Einleitung

Es gibt verschiedene Verfahren zum Härten oberflächennaher Schichten. Eingeteilt werden können die Verfahren in die zwei Hauptgruppen:

- Randschichthärten  
Verfahren ohne Veränderung der chemischen Zusammensetzung der Randschicht
- Thermochemische Diffusions-Behandlungsverfahren  
mit Änderung der chemischen Zusammensetzung der Randschicht

Die Verfahren Nitrieren und Nitrocarburieren werden der zweiten Hauptgruppe, d.h. mit Änderungen in der chemischen Zusammensetzung der Randschicht, zugeordnet. An beide Verfahren schließt sich normalerweise keine weitere Wärmebehandlung an. (/120/, S.177)

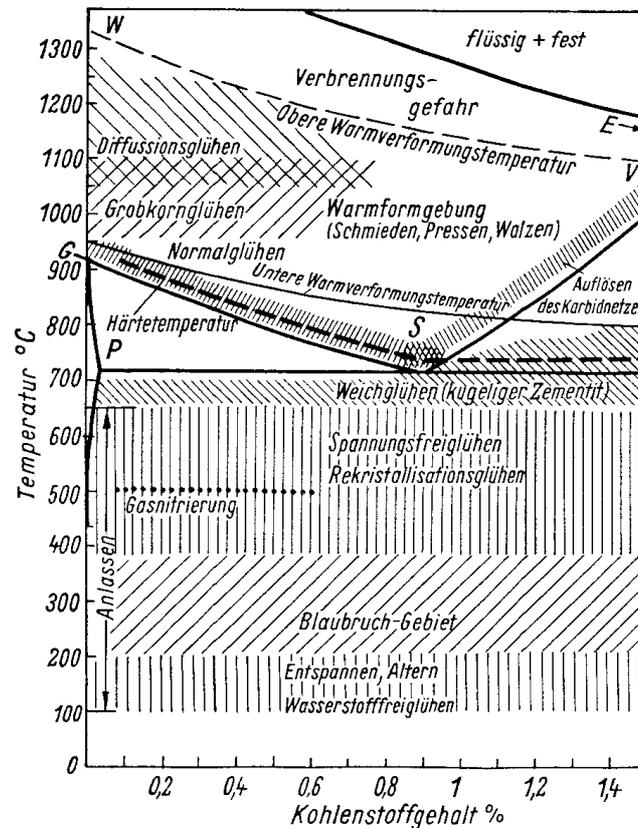
## 1.1 Nitrieren

Nitrieren ist nach DIN 17014 das thermochemische Behandeln zum Anreichern der Randschicht eines Werkstückes mit Stickstoff. (/33/, S.10)

*Merkel* definiert das Nitrieren als chemisch-thermische Behandlung zur Diffusionssättigung der Oberflächenschicht des Stahls mit Stickstoff beim Erwärmen im entsprechenden Medium. (/8/, S.233)

Eine Definition der Nitrierbarkeit formuliert *Spies*: „Nitrierbarkeit ist das Ansprechen eines Eisenwerkstoffes auf das Nitrieren, gekennzeichnet durch die Veränderung des stofflichen und strukturellen Aufbaus der Randschicht in Abhängigkeit von den Nitrierbedingungen“. (/107/, S.2)

Die Einordnung des Gasnitrierens in allgemeine Wärmebehandlungstemperaturen und weitere Wärmebehandlungsverfahren verdeutlicht die folgende Abbildung:



Quelle: (/26/, S.158)

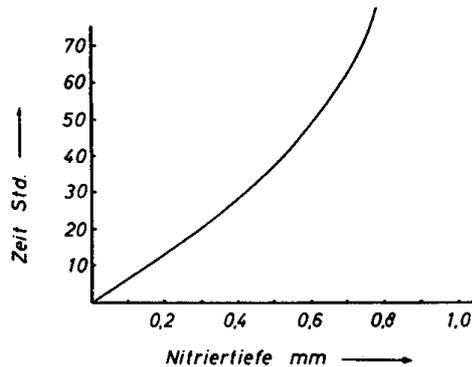
Abbildung 1: Temperaturbereiche für die Wärmebehandlung unlegierter Stähle

Eine alleinige Anreicherung mit Stickstoff während des Nitriervorgangs kann nur im Plasma oder Gas erfolgen. Im Salzbad oder Pulver findet immer auch eine Kohlenstoffanreicherung statt. Es wird demnach ein Nitrocarburierungsvorgang durchgeführt. (/33/, S.13)

Man unterscheidet grundsätzlich zwei Temperaturbereiche beim Nitrieren/Nitrocarburieren, nämlich ober- und unterhalb der Umwandlungstemperatur  $A_{C1}$ . Oberhalb der Temperatur  $A_{C1}$  findet in der Randschicht eine Ferrit-Austenit-Umwandlung statt. Dieser Vorgang wird austenitisches Nitrieren/Nitrocarburieren genannt. Unterhalb  $A_{C1}$  findet dementsprechend ferritisches Nitrieren/Nitrocarburieren statt. (/23/, S.27)

Für den Ablauf der Diffusion während der Behandlungsdauer muss die Konzentration im Spendermittel (Gas, Salzschnelzen oder Pulver) höher sein als im Bauteil und ein bestimmter Temperatur-Zeit-Verlauf eingehalten werden. (/31/, S.143)

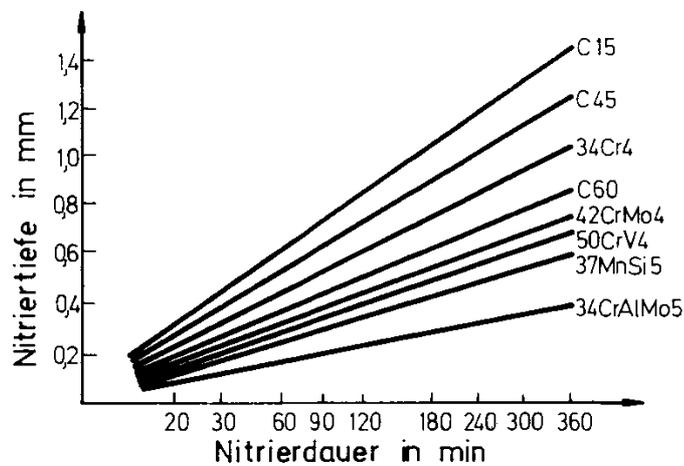
Die Diffusion ist ein temperaturabhängiger Vorgang ist. Niedrige Nitriertemperaturen führen zu längeren Behandlungsdauern, wenn die gleiche Nitriertiefe erreicht werden soll. (/25/, S.192)



Quelle: (/25/, S.193)

Abbildung 2: Abhängigkeit zwischen Nitrierdauer und Nitriertiefe bei 500°C Nitriertemperatur

Eine erste Übersicht zur Abhängigkeit zwischen Nitriertiefe und –dauer bei verschiedenen Werkstoffen zeigt Abbildung 3.



Quelle: (/32/, S.181)

Abbildung 3: Richtwerte zur Erzielung bestimmter Nitriertiefen

Katalysatoren beschleunigen die Nitrierdauer. Es kann beim Salzbadnitrieren z.B. ein über dem Glühgut platziertes aus Kupfer bestehendes Netz eingesetzt werden. Gaszusätze wie z.B. Stickoxyd oder organische, stickstoffhaltige Dämpfe haben eine verkürzte Behandlungsdauer beim Gasnitriervorgang zur Folge. (/25/, S.193)

Die Nitrierdauern beim Salzbadnitrieren sind kürzer als beim Gasnitrieren, weil das Aufheizen im Salzbad wesentlich schneller erfolgt als das Erwärmen in der Gasatmosphäre. Ein weiterer Vorteil des Salzbadnitrierens ist das relativ einfache Wechseln der Werkstücke. (/25/, S.195)

Während *Lüpfert* (/26/) noch davon ausgeht, dass nur legierte Stähle nitriert werden können, (/26/, S.168), werden heute neben Nitrierstählen nach DIN 17211 auch Einsatz-, Vergütungs- und Werkzeugstähle, unlegierte Stähle sowie Eisen-Gusswerkstoffe nitriert. (/33/, S.9) (/8/, S.236)

Bei Warmarbeitsstählen ist Nitrieren das am häufigsten eingesetzte Oberflächenbehandlungsverfahren. Eine mehrmalige Nachnitrierung ist möglich. (/30/, S.140) Eine Vorbehandlung der zu nitrierenden Teile besteht i.a. aus Vergüten (zur Erzeugung einer Stützwirkung für die einzelnen Schichten) und das Spannungsarmglühen für Verzugsfreiheit und Reinigung. (/31/, S.150)

Ein besonderes Badnitrierverfahren ist das Tenifer-Verfahren. Dabei wird unter Belüftung im Salzbad nitriert. Es bedingt 580 °C in Alkalicyanat- sowie Alkalicarbonat-Salzschnmelzen. (/24/, S.25) Durch Sauerstoffzufuhr wird die Stickstoffaufnahme des Werkstücks verbessert, d.h. die Oberflächenaktivität steigt. Die Nitrierdauern reduzieren sich erheblich. (/31/, S.152)

Die Abkühlung von der Nitriertemperatur kann in Wasser, in Öl, im Salzbad, an Luft oder temperaturgesteuert im Ofen erfolgen.

Bei legierten Stählen reicht Luftabkühlung für die maximale Härte. Ein Abkühlsalzbad ist einzuordnen zwischen Wasser- und Luftabkühlung. Es bewirkt eine Oxidation der Werkstückoberfläche. Dadurch wird der Korrosionswiderstand verbessert. (/23/, S.18)

Während des Abkühlens im Salzbad werden restliche am Werkstück haftende Cyanide und Cyanate in Carbonat umgesetzt. (/24/, S.26)

Die Umsetzung in Carbonat ist stark zeit- und temperaturabhängig. Betriebstemperaturen um 300°C sind üblich. (/33/, S.14)

Durch eine oxidierende Nachbehandlung lassen sich die Korrosionsbeständigkeit, die Verschleißfestigkeit und die Zeitfestigkeit zusätzlich verbessern. (/24/, S.26)

Die Entgiftungsproblematik bei Abwässern und Salzurückständen ist stets zu berücksichtigen. (/30/, S.126)

## 1.2 Nitrocarburieren

Nitrocarburieren bezeichnet das Verfahren, bei dem eine Anreicherung der Randschicht mit Stickstoff und Kohlenstoff erfolgt. Es entstehen zusätzlich zu den Nitriden auch Carbonitride durch den in der Randschicht aufgenommenen Kohlenstoff. (/120/, S.180)

Durch Kohlenstoffzugabe zum Spendermedium werden nicht nur die Prozesse beschleunigt, sondern auch die Bildung der  $\epsilon$ -Fe<sub>2-3</sub>(C<sub>x</sub>N<sub>x</sub>)-Carbonitridphase verstärkt. Diese führen zur Steigerung der Verschleiß- und Korrosionsschutzeigenschaften. (/35/, S.18)

Einen weiteren Aspekt der Kohlenstoffaufnahme nennt *Burger* (/35/). Danach findet eine Aufkohlung der Verbindungsschicht häufig durch den Kohlenstoffgehalt der Diffusionsschicht bzw. des Grundwerkstoffes statt, weniger durch Kohlenstoffaufnahme aus dem Spendermedium. (/35/, S.19)

## 2 Randschichtmorphologie

Als Resultat des Nitrierens bilden sich in der Randschicht des Werkstücks zwei Zonen aus:

1. die Verbindungszone und
2. die Diffusionszone.

Die Verbindungszone – auch Verbindungsschicht (VS) genannt – ist die äußere Zone mit meist 5-15  $\mu\text{m}$  Schichtdicke, die aus den intermediären Phasen  $\text{Fe}_2\text{N}$ ,  $\text{Fe}_4\text{N}$  und  $\text{Fe}_3\text{C}$  besteht.

Die Diffusionszone – auch als Diffusionsschicht (DS) bezeichnet – hat eine Dicke von 0,5-1 mm. Sie enthält mit Stickstoff angereicherte  $\alpha$ -MK (N-Gehalt der  $\alpha$ -MK < 0,1%) (/8/, S.236-237) und Nitridausscheidungen. (/22/, E39)

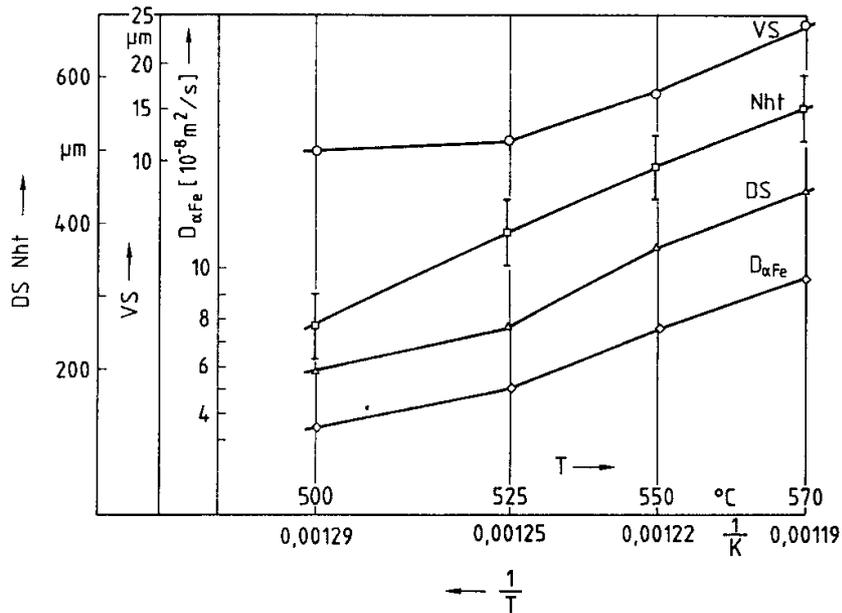
Grundsätzlich steigert die Verbindungszone die Verschleißfestigkeit und die Diffusionszone die Dauerfestigkeit des nitrierten/nitrocarburierten Werkstücks.

(/8/, S.237)

Beim Nitrocarburierten kann die Verbindungsschichtdicke bis zu 30  $\mu\text{m}$  betragen, sie besteht überwiegend aus  $\varepsilon$ - $\text{Fe}_x\text{N}$ . Daran anschließend befindet sich eine  $\gamma'$ - $\text{Fe}_4\text{N}$  Schicht. Ins Werkstückinnere schließt sich die Diffusionsschicht an.

Eine Eigenschaft der  $\varepsilon$ - $\text{Fe}_x\text{N}$ -Schicht ist die Widerstandserhöhung gegen adhäsiven Verschleiß. Nach *Gräfen* wird sie deshalb nicht abgeschliffen. (/27/, S.701)

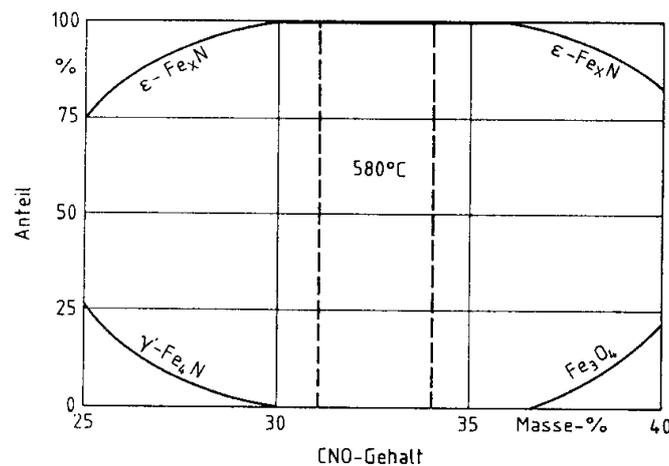
Die Temperaturabhängigkeit des Schichtwachstums verläuft parallel zur Vergrößerung des Diffusionskoeffizienten. (/107/, S.4)



Quelle: (/107/, S.4)

Abbildung 4: Einfluß der Nitriertemperatur auf das Schichtwachstum eines 3%igen Chromstahles; Nitrierdauer 32h, ε-Variante

Den Zusammenhang zwischen dem Cyanatgehalt einer Salzschieme und den sich ausbildenden Phasen gibt Abbildung 5 wieder. Bei einem Cyanatgehalt <30° nimmt die Nitrierfähigkeit ab, es tritt γ'-Nitrid auf. Ein Cyanatgehalt über 36% führt zu Oxidation und verstärkter Porenbildung. (/98/, S.36)



Quelle: (/99/ in /98/, S.36)

Abbildung 5: Bereich der verschiedenen Phasen einer Verbindungsschicht in Abhängigkeit von Cyanatgehalt. Empfohlener Bereich für 580 °C.