Metallografische Präparation von nitrierten und nitrocarburierten Teilen

Struers
Ensuring Certainty

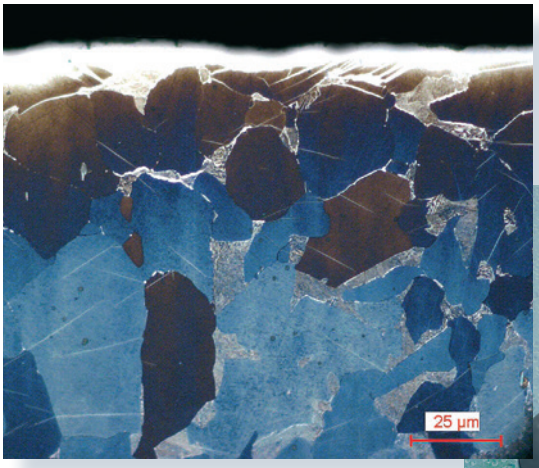
Application Notes

Nitrieren ist ein thermochemischer Prozess bei dem die Oberfläche eines Eisenwerkstoffs mit Stickstoff angereichert wird um das Verschleißverhalten von Bauteilen zu verbessern. Beim **Nitrocarburieren** ist nicht nur Stickstoff sondern auch Kohlenstoff in kleinen Mengen an diesem Prozess beteiligt. Das Ergebnis ist die so genannte Nitrierschicht, beziehungsweise Nitrocarburierschicht, die aus der Verbindungsschicht und einer darunter liegenden Diffusionszone besteht.

Das Nitrieren und Nitrocarburieren im Gas und in der Salzschmelze wurde Anfang des 20. Jahrhunderts in Deutschland und den USA entwickelt. Die Anfänge des Plasmanitrierens gehen zurück auf 1930. Dieses Verfahren konnte aber erst nach 1970 wirtschaftlich genutzt werden. Alle drei Nitriermethoden haben gewisse Vorteile und die Entscheidung für eine bestimmte Methode hängt oft von der spezifischen Verwendung des nitrierten Bauteils ab.

Nitrieren erzeugt eine harte, verschleißfeste Schicht auf Kohlenstoffstählen, niedrig legierten Stählen und Gusseisen. Es verbessert zusätzlich die Dauerfestigkeit erheblich, und in Verbindung mit einer gezielten Oxidation der nitrierten Oberfläche auch die Korrosionsbeständigkeit.

Der Hauptvorteil des Nitrierens und Nitrocarburierens gegenüber anderen Arten der Oberflächenhärtung ist die niedrige Arbeitstemperatur (500 - 650°C), vorzugsweise 580°C. Die Teile können meistens im gehärteten und angelassenen Zustand nitriert werden, ohne dass die Kerneigenschaften des Werkstücks nachteilig beeinflusst werden. Ein zusätzlicher Vorteil der niedrigen Prozesstemperatur ist das geringe Risiko des Verzugs. Dadurch können Werkstücke mechanisch auf das Endmaß bearbeitet werden und eine aufwendige Endbearbeitung wie Schleifen oder Richten kann entfallen.



Nitrierter Stahl, Farbätzung nach Beraha

Nitrieren und Nitrocarburieren werden hauptsächlich für Teile aus Eisenwerkstoffen für den Maschinenbau und die Automobilindustrie eingesetzt, z.B. Ventile, Nockenwellen und Kolbenstangen. Weitere Anwendungen sind Schneidwerkzeuge oder große Presswerkzeuge. Werkstücke aus Gusseisen können ebenfalls nitriert werden, z.B. Pumpen- und Differenzialgehäuse.

Die Metallografie von nitrierten und nitrocarburierten Werkstücken konzentriert sich hauptsächlich auf die Überwachung des Nitriervorgangs durch Beurteilung der Schicht. Dazu werden die Dicke der Verbindungsschicht, der Diffusions- und der Porenzone beurteilt. Zusätzlich werden ursächliche Material-, Oberflächen- oder Prozessfehler bei Schadensfällen untersucht.

Schwierigkeiten während der metallografischen Präparation

- Ausbrüche und Risse in der Schicht

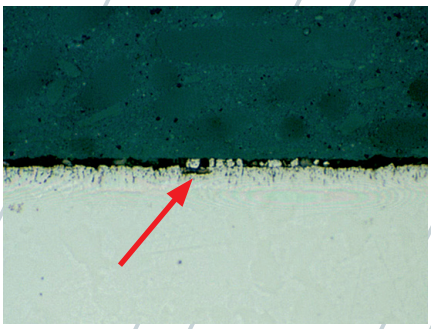


Abb.1: Schrumpfspalt zwischen Probe und Einbettmittel führt zu Ausbrüchen an der Schicht und Verunreinigung durch Schleif/Poliermittel 500x

- Kantenabrundung

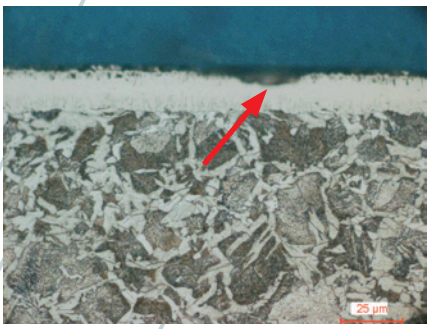


Abb. 2: Bei Kantenabrundung kann die Schicht bei hohen Vergrößerungen nicht scharf abgebildet werden

Lösung:

- Richtiges Einbetten
- Planschleifen mit SiC Papier
- Feinschleifen mit Diamant
- Diamantpolieren auf harten Tüchern

Bildung und Aufbau der Nitrierschicht

Bei Erreichen der Nitriertemperatur diffundiert Stickstoff in die Stahloberfläche ein und reagiert mit Eisen, wobei γ' Eisennitrid (Fe_4N) mit bis zu 6 Gew. % N gebildet wird. Mit steigendem Stickstoffgehalt bildet sich die ε-Phase (Fe_3N), die bis zu 11 Gew. % Stickstoff aufnehmen kann. Diese zwei Eisennitridphasen, $\varepsilon + \gamma'$, bilden die Verbindungsschicht, (auch als VS oder Verbindungszone VZ bezeichnet), die beim Ätzen mit Nital unangeätzt und weiß bleibt. In dieser Verbindungsschicht liegt kein Metall mehr vor, sondern eine nichtmetallische Phase aus Eisen und Stickstoff, eine Art „Nitridkeramik". Im äußeren Bereich der Verbindungsschicht findet man in den meisten Fällen eine so genannte Porenzone (Abb. 3).

Der Anteil von γ' und ε-Nitrid ist abhängig vom Kohlenstoffgehalt des Stahls: ein höherer Kohlenstoffgehalt fördert die Bildung der ε-Phase, dagegen wird bei niedrigem Kohlenstoffgehalt mehr γ' Eisennitrid gebildet.

Die Unterscheidung von γ' und ε Eisennitriden innerhalb der Verbindungsschicht ist lichtmikroskopisch nur nach Kontrastieren mit sehr speziellen, schwierigen Ätzmethoden möglich. Eine korrekte Aussage über die Zusammensetzung kann nur mittels quantitativer Röntgenstrukturanalyse getroffen werden, wobei tief eindringende Röntgenstrahlung eingesetzt werden muss.

Die Verbindungsschicht ist relativ hart und die Härte steigt mit zunehmendem Gehalt an nitridbildenden Legierungselementen. Dagegen nimmt die Schichtdicke mit dem Legierungsgehalt ab. Nitrierte Kohlenstoffstähle haben eine Oberflächenhärte von 300 - 400 HV und legierte Stähle von 700 HV bis über 1000 HV.

An die Verbindungsschicht schließt sich die Diffusionszone an, die Stickstoff in fester Lösung enthält. Daneben befinden sich harte und stabile Metallnitride die mit den verschiedenen

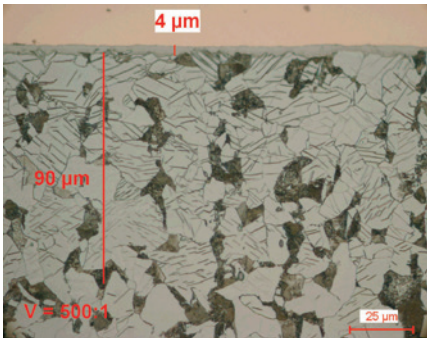


Abb. 4: Nitrocarburierter Kohlenstoffstahl, nach Glühbehand-lung 45 min/300°C, geätzt mit 1%iger Nital, zeigt Nitridnadeln in der Diffusionszone

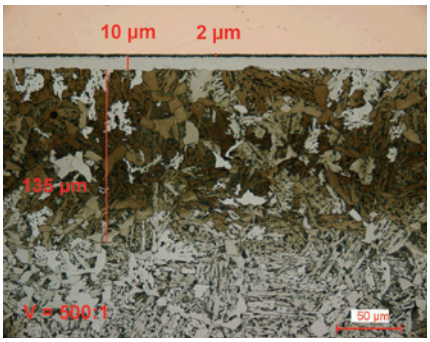


Abb. 5: Legierter Stahl, nitrocarburiert, geätzt mit 1%iger Nital, zeigt dunkle geätzte Diffusionszone, weiße Verbindungsschicht und dunkle Oxdidschicht

Legierungselementen des Stahls, wie Aluminium, Molybdän, Chrom und Wolfram, gebildet werden.

Bei Kohlenstoffstählen sind die Nitride in der Diffusionszone generell nach dem Ätzen des metallografischen Schliffs nicht zu sehen, da sie submikroskopisch fein verteilt sind. Durch ein Erwärmen der Probe bei Anlasstemperatur (200 - 400°C für 15 - 30 min) kann jedoch der in fester Lösung befindliche Stickstoff in Form von γ' Eisennitridnadeln zur Ausscheidung gebracht werden. Diese Nitridnadeln lassen sich anätzen wodurch die Diffusionszone zu erkennen ist und ausgemessen werden kann (Abb. 4). Bei legierten Stählen wird die Diffusionszone durch das Ätzen mit Nital dunkel gefärbt aber die feinen Nitride können mit dem optischen Mikroskop nicht aufgelöst werden (Abb. 5).

Die Dicke der Verbindungsschicht und der Diffusionszone hängt von verschiedenen Parametern ab; die wichtigsten sind Zeit, Temperatur und Stahlzusammensetzung. Die Verbindungsschicht kann je nach den Anforderungen der Verwendung zwischen 0 - 20 µm dick sein und die Diffusionszone bis zu 0,8 mm.

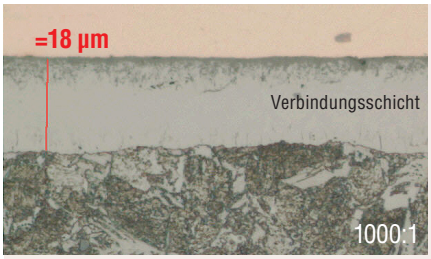
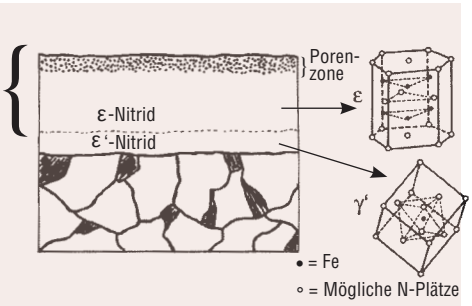


Abb. 3: Aufbau der Verbindungsschicht

Nachvergrößert

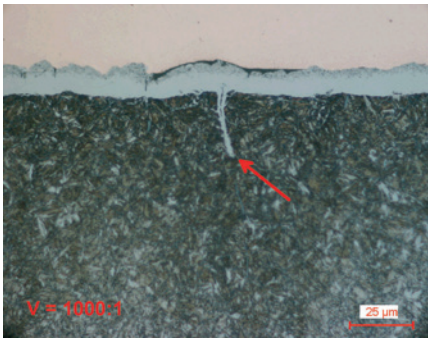


Nitriervorgang und Anwendung der nitrierten Teile

Vor dem Nitrieren müssen die Teile gründlich gereinigt und entfettet werden. Jede Oberflächenverunreinigung durch Schleifkörner, Öl oder Metallspäne, ergibt eine unregelmäßige Schichtbildung. Dadurch können Risse in der Schicht entstehen die zu Absplittern und Korrosion führen (Abb. 6 und 7). Nach dem Reinigen werden die Teile getrocknet, vorgewärmt und dann in den Nitrierprozess eingebracht.

Die verschiedenen Nitriermethoden unterscheiden sich hauptsächlich durch die Art der Stickstoff- und Energiezufuhr. Salzbad -, Gas- und Plasmanitrieren haben verschiedene Vorteile betreffs Investitionskosten, Prozesszeit, Umweltverträglichkeit, Sicherheit und Qualität. Die Eigenschaften der resultierenden nitrierten oder nitrocarburierten Oberfläche sind dagegen in vielen Fällen unabhängig vom Herstellungsverfahren. Die gewünschte Schichtdicke wird bestimmt durch die Anwendung des nitrierten Teils, und kann durch die Nitriertemperatur und -zeit reguliert werden.

Im Folgenden werden die verschiedenen Nitriermethoden kurz beschrieben und einige Anwendungsbereiche der nitrierten Teile erwähnt.



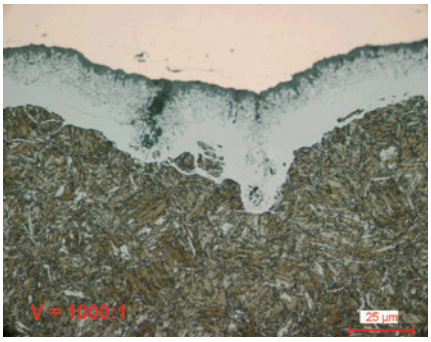


Abb. 6 und 7: Verunreinigungen im Stahl und an der Oberfläche verursachen Fehlstellen in der Nitrierschicht, die zu Rissen und/oder Korrosion führen können

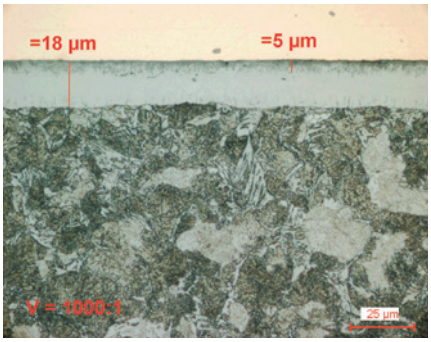


Abb. 8: Legierter Stahl(16MnCr5) im Salzbad nitrocarburiert, geätzt mit 1%iger Nital, zeigt die dunkel angeätzte Diffusionszone und die weiße Verbindungsschicht mit der Porenzone

Nitrocarburieren in der Salzschmelze
Das Salzbadnitrocarburiern wird in gas- oder elektrisch beheizten Tiegelöfen durchgeführt. Als Tiegelwerkstoff wird vorzugsweise Titan verwendet. Nach Vorwärmen auf 350°C werden die Bauteile in Chargiergestellen hängend oder liegend, oder als Schüttgut in Körben aus Inconel oder Chrom-Nickel Stahl in die Salzschmelze eingetaucht. Die Schmelze besteht aus Alkalicyanat und Alkalicarbonat. Durch Oxidation und thermische Reaktion mit der Oberfläche des eingetauchten Teils werden bei der Nitriertemperatur Stickstoff und Kohlenstoff frei und diffundieren in die Oberfläche des Teils ein. Übliche Behandlungsparameter sind 90 Minuten bei 580°C. Ein reines Nitrieren ist in der Salzschmelze nicht möglich, da immer kleine Mengen Kohlenstoff mit an das Bauteil abgegeben werden.

Der nitrieraktive Bestandteil der Salzschmelze ist das Alkalicyanat. Durch die Reaktion der Cyanationen erhöht sich der Anteil des Alkalicarbonats in der Schmelze. Die Schmelze wird regeneriert indem durch Zugabe eines organischen Polymers der optimale Cyanatgehalt immer wieder hergestellt wird.

Nach dem Nitriocarburieren erzeugt ein anschließendes Abschrecken in einem oxidierenden Salzbad (380-420°C) eine schwarze Eisenoxidschicht (Fe_3O_4). Das Eisenoxid füllt die Poren der Verbindungszone und verstärkt den Korrosionsschutz. Nach Abkühlung auf Raumtemperatur können die Teile je nach Verwendung poliert und nochmals oxidiert werden.

Nitrocarburierte Schichten sind besonders beständig gegen Abrieb, Fressen, Gleitreibung und Korrosion. Die poröse Oberfläche kann Schmiermittel binden die die Laufeigenschaften verbessern, z.B. bei Nockenwellen. (Abb. 8)

Das Nitrieren in der Salzschmelze ist ein schnelles, flexibles und wirtschaftliches Verfahren. Ein typisches Anwendungsgebiet sind Teile für die Automobilindustrie, Kolbenstangen, Kurbel- und Nockenwellen, Ventile und Zahnräder, sowie Anwendungen in der Flugzeug- und Erdölindustrie und im Maschinenbau.

Gasnitrieren und Gasnitrocarburieren wird im Allgemeinen in einer geschlossenen Retorte durchgeführt die einen guten Gasumlauf gewährleistet. Der Prozess wird im Wesentlichen durch den Zersetzungsgrad von Ammoniak kontrolliert. Das Ammoniakgas reagiert bei 500-520°C mit der Stahloberfläche und zerfällt. Dabei wird Stickstoff abgegeben der in die Stahloberfläche diffundiert. Da die Nitriertemperatur beim Gasnitrieren niedriger ist liegen die Prozesszeiten bei 40-80 Stunden. Durch Zusatz kohlenstoffhaltiger Gase kann auch im Gas nitrocarburiert werden, dabei verkürzen sich die Prozesszeiten (Abb. 9 und 10).
Die Bildung von Verbindungsschicht und Diffusionszone und ihre Eigenschaften sind ähnlich der durch das Salzbad erzeugten Schicht. Die Dicke der Verbindungsschicht kann jedoch beim Gasnitrieren genauer kontrolliert oder sogar vollkommen unterdrückt werden. Dadurch wird die Stahloberfläche sehr hart aber nicht spröde. Es können tiefe Diffusionszonen erzeugt werden die sich vorteilhaft auf mechanische Belastung durch Vibration und Torsion auswirken.
Bauteile mit Bohrlöchern, Hinterschneidungen

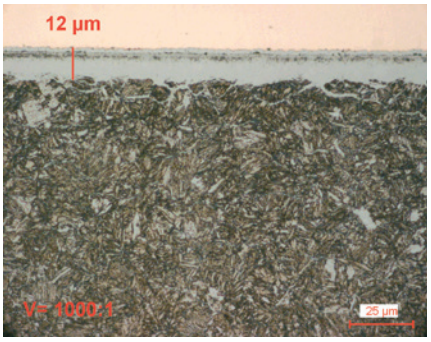


Abb. 9: Legierter Stahl (42CrMo4), gasnitriert bei 510°C/36 Std., geätzt mit 1%iger Nital, zeigt die dunkel angeätzte Diffusionszone und die weiße Verbindungsschicht mit der Porenzone.

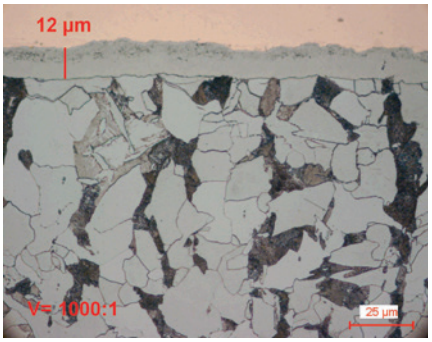


Abb.10: Kohlenstoffstahl, gas nitrocarburiert, 580°C/1.5 Std

und Aushöhlungen (z.B. pulvermetallurgischer Stahl) eignen sich zum Gasnitrieren, da das Gas leicht überall eindringen und in der Retorte zirkulieren kann. Kupferplattierung oder spezielle Abdeckmittel können zum Abdecken von Flächen verwendet werden die nicht nitriert werden sollen.

Gasnitrierte Bauteile sind typischerweise Maschinenspindeln, Pumpengehäuse aus Sphäroguss, Verschlussmechanismen für Türen, Teile für Wasserpumpen und Gasdruckkolben.

Plasmanitrieren und Plasmanitrocarburieren findet bei 400-600°C im Druckbereich von ca. 50 bis 500 Pa in einer Stickstoff - Wasserstoff - Atmosphäre statt. Zum Nitrocarburieren werden kohlenstoff-haltige Gase (z.B. Methan) zugegeben. Das Plasma wird in einem Vakuumbehälter erzeugt; dazu wird zwischen den Bauteilen (Kathode) und dem Behälter (Anode) eine Spannung von mehreren hundert Volt angelegt. Da Stickstoff und Wasserstoff getrennt in die Vakuumkammer eingeleitet werden, kann das Mischungsverhältnis kontrolliert, und dadurch die Dicke und Zusammensetzung der Verbindungsschicht variiert werden. Es können nicht nur Kohlenstoffstähle sondern auch austenitische und pulvermetallurgisch hergestellte Stähle und hitzebeständige Metalle plasmanitriert werden.

Schwierigkeiten während der Präparation von Nitrierschichten

Abb.11: Legierter Stahl, (16MnCr5N), plasma nitrocarburiert, 570°C/ 6 Std.

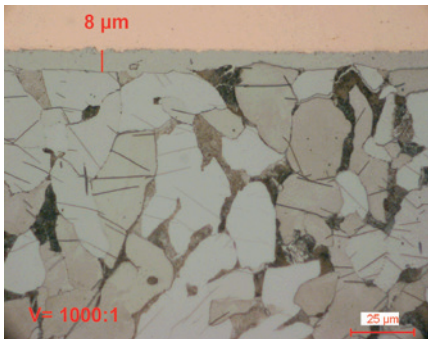


Abb.12: Kohlenstoffstahl, plasma nitrocarburiert, 570°C/ 6 Std. Beide Nitrierschichten haben keine Porenzone und zeigen eine sehr glatte Oberfläche

Plasmanitrieren ergibt eine sehr feine und wenig poröse Oberfläche die sich gut zum Polieren eignet (Abb.11 und 12). Auf Grund des geringen Porenanteiles werden z.B. plasmanitrierte und -nitrocarburierte Kurbel- oder Nockenwellen besonders für Hochleistungsmotoren eingesetzt. Da das Plasmanitrieren eine große Variationsbreite von Nitrierschichten ermöglicht, gibt es viele verschiedene Anwendungsgebiete, z.B. Oberflächenbehandlung von großen Werkzeugen zum Strangpressen von Kunststoffen, oder von Stanz- und Presswerkzeugen für Autokarosserien, und von Werkzeugen zum Tiefziehen, Gießen, Heißschmieden und Strangpressen von Edelstahl. Andere spezifische Anwendungen sind gegen Korrosion beständige Motorventile, Schneidwerkzeuge aus Schnellarbeitsstahl und eine Vielzahl von Maschinenbauteilen.

Das Hauptproblem bei der Präparation von nitrierten Teilen liegt im Abplatzen der Porenzone und der Verursachung von Rissen in der Verbindungsschicht (Abb.1, 2 und 13). Diese Schäden entstehen meistens in der ersten Schleifstufe. Unsachgemäßes Einbetten und zu langes Polieren auf weichen Tüchern, führt zu Kantenabrundung. Da die Beurteilung bei 1000x Vergrößerung durchgeführt wird, behindert eine Kantenabrundung die richtige Schichtdickenmessung.

Empfehlungen für die Präparation von Nitrierschichten

Um Schäden an der Nitrierschicht zu vermeiden, sollte das **Trennen** sehr sorgfältig mit einer für metallografische Zwecke geeigneten Nasstrennmaschine durchgeführt werden. Zum Trennen wählt man eine Aluminiumoxidtrennscheibe die der Härte des zu trennenden nitrierten Bauteils angepasst ist. Dafür kommen meistens mittelharte bis weich gebundene Trennscheiben in Frage.

Einbetten: Um die Bildung eines Schrumpfspalts zu vermeiden wird Warmeinbetten mit

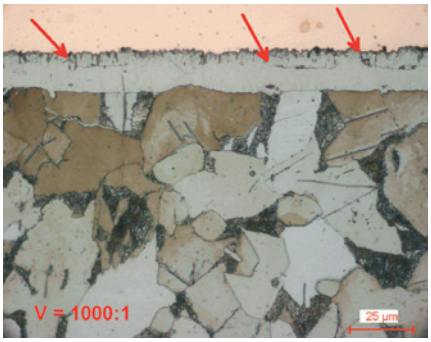


Abb.13: Risse in der Schicht die durch die Präparation verursacht wurden.

faserverstärkten Einbettmitteln empfohlen (IsoFast, DuroFast). Zusätzlich verbessert das Umwickeln des Schliffs mit einer dünnen Folie aus Reinstkupfer (0,05 mm) vor dem Einbetten die Randschärfe.* Die Farbe des Kupfers verstärkt auch den Kontrast der Nitrierschicht gegenüber dem Einbettmittel, was

*Mit dem Rücken einer Schere dehnt man die Folie wie ein Band und klebt sie mit einem winzigen Tropfen Schnellkleber an der Probe fest. Dann wickelt man sie einmal um die Probe und klebt das Ende wieder fest. Die überstehende Folie biegt man mit dem Finger über die Probenoberfläche und drückt sie an den Kanten mit dem Fingernagel fest. Die überstehende Folie wird durch das nachfolgende Planschleifen abgeschliffen.

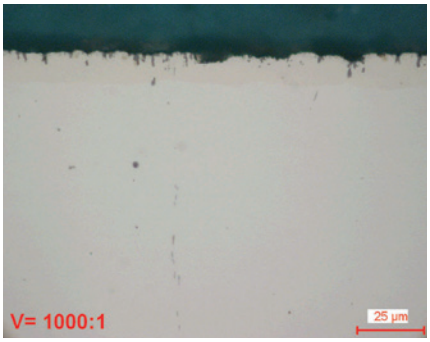


Abb.14: Legierter Stahl (16MnCr5N), im Salzbad nitrocarburiert, ohne Kupferfolie eingebettet. Ausbrüche sind zu sehen, die Oxidschicht ist nicht vom Einbettmittel zu unterscheiden.

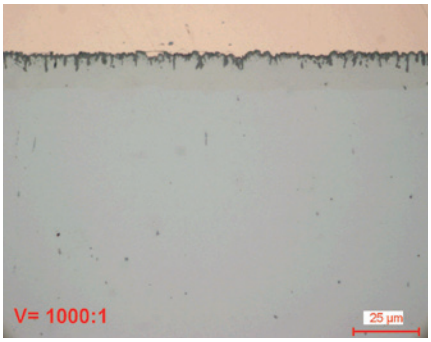


Abb.15: Gleiche Probe wie Abb.14, eingebettet mit Kupferfolie. Die dunkle Oxidschicht hebt sich klar gegen die Kupferfolie ab und die Schicht ist unbeschädigt.

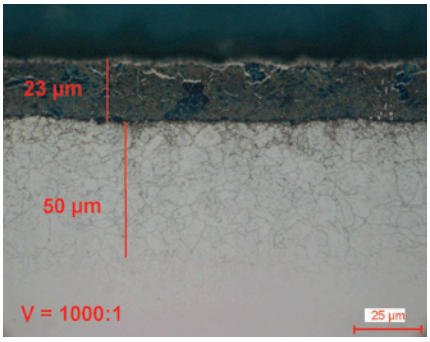


Abb.16: Hochlegierter Stahl (X45CrSi9V), im Salzbad nitrocarburiert, oxidiert, geätzt mit 1%iger Nital, Diffusionszone ist dunkel angeätzt, die Verbindungsschicht hebt sich nicht vom Einbettmittel ab.

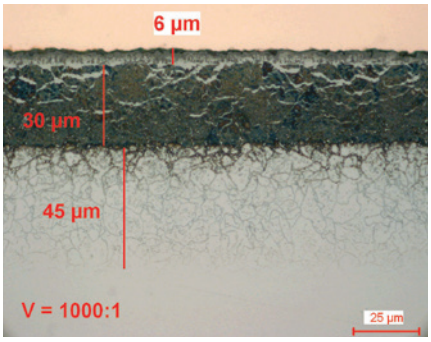


Abb.17: Gleiche Probe wie in Abb.16, eingebettet mit Kupferfolie, die Verbindungsschicht ist gut zu sehen und kann ausgemessen werden.

besonders bei oxidierten Bauteilen hilfreich ist (siehe Abb.14 und 15, 16 und 17).

Schleifen und Polieren: Das Planschleifen erfolgt mit Siliziumkarbidpapier Körnung 180 und/oder 220. Um Kantenschärfe zu garantieren ist es wichtig das anschließende Feinschleifen mit Diamant auf einer Feinschleifscheibe durchzuführen (MD-Largo). Das Diamantpolieren erfolgt auf einem synthetischen Seidentuch (MD-Dac), und für ein kurzes Endpolieren kann man 1 µm Diamant oder Siliziumoxid verwenden.

Die nebenstehende Präparationsmethode ergibt gute, reproduzierbare Ergebnisse für nitrierte Stähle. Die Angaben gelten für 6 eingebettete Proben, 30 mm Durchmesser, in einem Halter eingespannt. Die Polierzeiten können je nach Größe der Probe und Art der Schicht geringfügig geändert werden.

Ätzen: Die Nitrierschicht wird zunächst ungeätzt untersucht um die Porenzone, die Form und Größe der Poren zu beurteilen. Nach dem Ätzen mit 1-3%iger alkoholischer Salpetersäure wird die weiße Verbindungsschicht und bei legierten Stählen die dunkle Diffusionszone sichtbar.
Für eine gute Nitrierschicht ist ein einwandfreier Grundwerkstoff erforderlich. Risse, Einschlüsse, Zeiligkeit sowie Verformungen der Ausgangsoberfläche beeinträchtigen die Qualität der Nitrierschicht entscheidend. Darum ist es wichtig auch das Grundgefüge mit zu beurteilen.
Bei Stählen mit niedrigem Kohlenstoffgehalt kann man die Diffusionszone sichtbar machen indem man die Probe für 45 Minuten bei 300°C erwärmt und anschließend mit 1%iger alkoholischer Salpetersäure ätzt (Abb.4).

Zusammenfassung
Nitrieren ist ein thermochemischer Prozess bei welchem die Oberfläche eines Eisenwerkstoffs mit Stickstoff angereichert wird um das Verschleißverhalten und die Korrosionsbeständigkeit von Bauteilen zu verbessern. Es kommen drei verschiedene Methoden des Nitrierens zur Anwendung: Nitrocarburieren in der Salzschmelze, Nitrieren und Nitrocarburieren im Gas oder im Plasma. Beim Nitrieren und Nitrocarburieren bildet sich eine sehr harte Oberfläche, die aus einer Verbindungsschicht und einer Diffusionszone besteht. Die metallografische Untersuchung dieser Schicht wird hauptsächlich zur Qualitätskontrolle und zur Überwachung des Nitriervorgangs eingesetzt und zur Beurteilung von Schadensfällen.

Hauptprobleme bei der Präparation von Nitrierschichten sind die Kantenabrundung und Rissbildung in der Schicht, oder Abplatzen der Schicht, während des Schleif- und Poliervorgangs. Durch sorgfältiges Umwickeln der Probe mit einer dünnen Kupferfolie vor dem Warmeinbetten kann diesen Problemen vorgebeugt werden. Zum Feinschleifen kann Siliziumkarbidpapier oder Diamant auf einer Feinschleifscheibe verwendet werden. Letzteres ergibt die beste Kantenschärfe. Das nachfolgende Diamantpolieren muss so lange durchgeführt werden bis eventuelle Schädigungen der Schicht durch die Präparation behoben sind.

Tabelle 1: Präparationsmethode für nitrierte Stähle

Schleifen

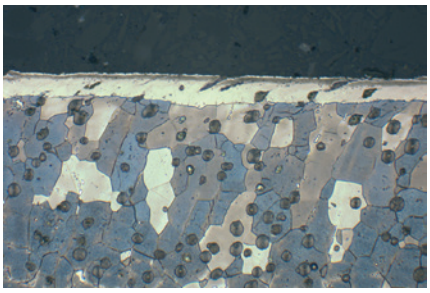
Stufe		PG	FG
Unterlage		SiC-Papier 220#	MD-Largo
Schleifmittel	Typ	SiC	Diamond
	Große	#220	9 µm
Suspension / Lubrikant		Wasser	DiaPro Allegro/Largo 9
UpM		300	150
Kraft [N]		25	25
Zeit		Bis plan	5 Min.

Polieren

Stufe		DP 1	DP 2	OP*
Unterlage		MD-Dac	MD-Nap	MD-Chem
Schleifmittel	Typ	Diamond	Diamond	Alumina/Silica
	Große	3 µm	1 µm	0.02 / 0.04 µm
Suspension / Lubrikant		DiaPro Dac 3	DiaPro Nap B1	OP-A or OP-U NonDry
UpM		150	150	150
Kraft [N]		30	25	15
Zeit		6 Min.	1 Min.	1 Min.

**Wahlweise*

Als Alternative zu DiaPro kann polykristalline Diamantsuspension P, 9 µm, 3 µm und 1 µm zusammen mit blauem Schmiermittel verwendet werden.



Ferritischer Sphäroguss, gasnitriert, geätzt mit 3% Nital. 500x

Struers ApS
Pederstrupvej 84
DK-2750 Ballerup, Denmark
Phone +45 44 600 800
Fax +45 44 600 801
struers@struers.dk
www.struers.com

Autorinnen

Elisabeth Weidmann, Anne Guesnier,
Struers A/S, Copenhagen, Denmark

Danksagung

Wir danken der **Fa. Durferrit GmbH**, Mannheim für die Erlaubnis zur Wiedergabe von Bildmaterial.
Unser Dank gilt Dr. Ulrich Baudis für seine fachliche Unterstützung. Wir bedanken uns besonders bei Frau Sabine Riesbeck für die Schliffpräparation und die großzügige Überlassung der Farbaufnahme auf Seite 1 und der Abb. 2-17.

Wir danken der Fa. **Eltro GmbH**, Baesweiler, für die Überlassung von plasmanitriertem Probenmaterial, und wir danken der Fa. **Carl Gommann KG**, Remscheid, für die Bereitstellung von gasnitriertem Probenmaterial.

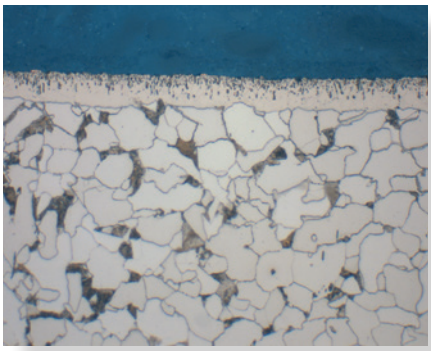
Bibliographie

Practical nitriding and ferritic mitrocarburizing, David Pye, ASM International, 2003

ASM Handbook, Vol. 9, Metallography and Microstructure, ASM, 2004

Wärmebehandlung von Eisenwerkstoffen, Nitrieren und Nitrocarburieren, D. Liedtke u.a., expert verlag, Renningen, 2006

Technologie der Salzschmelzen, Ulrich Baudis und Michael Kreutz, Die Bibliothek der Technik, Band 224, verlag moderne industrie, 2001



Nitrocarburierter Stahl mit niedrigem Kohlenstoffgehalt, Verbindungsschicht mit Porenzone *500x*

AUSTRALIA & NEW ZEALAND
Struers Australia
27 Mayneview Street
Milton QLD 4064
Australia
Tel.: +61 7 3512 9600
Fax: +61 7 3369 8200
info.au@struers.dk

BELGIUM (Wallonie)
Struers S.A.S.
370, rue du Marché Rollay
F- 94507 Champigny
sur Marne Cedex
Tel.: +33 1 5509 1430
Fax: +33 1 5509 1449
struers@struers.fr

BELGIUM (Flanders)
Struers GmbH Nederland
Zomerdijk 34 A
3143 CT Maassluis
Tel.: +31 (10) 599 7209
Fax: +31 (10) 5997201
netherlands@struers.de

CANADA
Struers Ltd.
7275 West Credit Avenue
Mississauga, Ontario L5N 5M9
Tel.: +1 905-814-8855
Fax: +1 905-814-1440
info@struers.com

CHINA
Struers Ltd.
No. 1696 Zhang Heng Road
Zhang Jiang Hi-Tech Park
Shanghai 201203, P.R. China
Tel.: +86 (21) 6035 3900
Fax: +86 (21) 6035 3999
struers@struers.cn

CZECH REPUBLIC & SLOVAKIA
Struers GmbH Organizační složka
vědeckotechnický park
Přílepská 1920,
CZ-252 63 Roztoky u Prahy
Tel.: +420 233 312 625
Fax: +420 233 312 640
czechrepublic@struers.de
slovakia@struers.de

GERMANY
Struers GmbH
Carl-Friedrich-Benz-Straße 5
D- 47877 Willich
Tel.: +49 (0) 2154 486-0
Fax: +49 (0) 2154 486-222
infoservice@struers.de

FRANCE
Struers S.A.S.
370, rue du Marché Rollay
F-94507 Champigny
sur Marne Cedex
Tel.: +33 1 5509 1430
Fax: +33 1 5509 1449
struers@struers.fr

HUNGARY
Struers GmbH
Magyarországi Fióktelep
2040 Budaörs
Szabadság utca 117
Phone +36 (23) 80 60 90
Fax +36 (23) 80 90 91
hungary@struers.de

IRELAND
Struers Ltd.
Unit 11 Evolution@ AMP
Whittle Way, Catcliffe
Rotherham S60 5BL
Tel.: +44 0845 604 6664
Fax: +44 0845 604 6651
info@struers.co.uk

ITALY
Struers Italia
Via Monte Grappa 80/4
20020 Arese (MI)
Tel.: +39-02/38236281
Fax: +39-02/38236274
struers.it@struers.it

JAPAN
Struers K.K
Takanawa Muse Bldg. 1F
3-14-13 Higashi-Gotanda,
Shinagawa
Tokyo
141-0022 Japan
Tel.: +81 3 5488 6207
Fax: +81 3 5488 6237
struers@struers.co.jp

NETHERLANDS
Struers GmbH Nederland
Zomerdijk 34 A
3143 CT Maassluis
Tel.: +31 (10) 599 7209
Fax: +31 (10) 5997201
netherlands@struers.de

NORWAY
Struers ApS, Norge
Sjøskogenveien 44C
1407 Vinterbro
Tel.: +47 970 94 285
info@struers.no

AUSTRIA
Struers GmbH
Zweigniederlassung Österreich
Betriebsgebiet Puch Nord 7
5412 Puch
Tel.: +43 6245 70567
austria@struers.de

POLAND
Struers Sp. z o.o.
Oddział w Polsce
ul. Jasnogórska 44
31-358 Kraków
Tel.: +48 12 661 20 60
Fax: +48 12 626 01 46
poland@struers.de

ROMANIA
Struers GmbH, Sucursala Bucuresti
Str. Preciziei nr. 6R
062203 sector 6, Bucuresti
Tel.: +40 (31) 101 9548
Fax: +40 (31) 101 9549
romania@struers.de

SWITZERLAND
Struers GmbH
Zweigniederlassung Schweiz
Weissenbrunnenstraße 41
CH-8903 Birmensdorf
Tel.: +41 44 777 63 07
Fax: +41 44 777 63 09
switzerland@struers.de

SINGAPORE
Struers Singapore
627A Aljunied Road,
#07-08 BizTech Centre
Singapore 389842
Tel.: +65 6299 2268
Fax: +65 6299 2661
struers.sg@struers.dk

SPAIN
Struers España
Camino Cerro de los Gamos 1
Building 1 - Pozuelo de Alarcón
CP 28224 Madrid
Tel.: +34 917 901 204
Fax: +34 917 901 112
struers.es@struers.es

FINLAND
Struers ApS Suomi
Sahaajankatu 20-22 A6
00880 Helsinki
Tel.: +358 (0)207 919 430
finland@struers.fi

SWEDEN
Struers Sverige
Box 20038
161 02 Bromma
Tel.: +46 (0)8 447 53 90
Fax: +46 (0)8 447 53 99
info@struers.se

UNITED KINGDOM
Struers Ltd.
Unit 11 Evolution @ AMP
Whittle Way, Catcliffe
Rotherham S60 5BL
Tel.: +44 0845 604 6664
Fax: +44 0845 604 6651
info@struers.co.uk

USA
Struers Inc.
24766 Detroit Road
Westlake, OH 44145-1598
Tel.: +1 440 871 0071
Fax: +1 440 871 8188
info@struers.com

28.01.2020 / 62240406