
Bachelorarbeit

Herr
Simon Weikert

Abfahren unterschiedlicher Prozessparameter für unterschiedliche Materialien beim Gasnitrieren mit dem Ziel der Erstellung einer Datenbank, die als Grundlage für einen stabilen Nitrierprozess dient und als Simulationsprogramm genutzt werden kann.

Mittweida, 2011

Bachelorarbeit

Abfahren unterschiedlicher Prozessparameter für unterschiedliche Materialien beim Gasnitrieren mit dem Ziel der Erstellung einer Datenbank, die als Grundlage für einen stabilen Nitrierprozess dient und als Simulationsprogramm genutzt werden kann.

Autor:
Herr

Simon Weikert

Studiengang:
Maschinenbau

Seminargruppe:
MB08w2-B

Erstprüfer:
Prof. Dr. Ing. Frank Müller

Zweitprüfer:
Dipl. Ing. Felix Schädlich

Einreichung:
Mittweida, **30.08.2011**

Verteidigung/Bewertung:

Faculty Engineering

Bachelor THESIS

**Set up of different processparameters
for different materials at gas-nitriding-
process with the result of creating a
database, that serves as the basis for a
stable nitration-process and can be
used for a simulationprogram**

author:

Mr.

Simon Weikert

course of studies:

Engineering

seminar group:

MB08w2-B

first examiner:

Prof. Dr. Ing. Frank Müller

second examiner:

Dipl. Ing. Felix Schädlich

submission:

Mittweida, **30.08.2011**

defence/ evaluation:

Bibliografische Beschreibung:

Weikert, Simon:

Abfahren unterschiedlicher Prozessparameter für unterschiedliche Materialien beim Gasnitrieren mit dem Ziel der Erstellung einer Datenbank, die als Grundlage für einen stabilen Nitrierprozess dient und als Simulationsprogramm genutzt werden kann. 2011. 2, 42, 0.

Mittweida, Hochschule Mittweida, Fakultät Maschinenbau, Bachelorarbeit, 2011

Vorwort

Diese Broschüre entstand als Aufgabe meiner Bachelorarbeit und dient zur Schulung von Personal der Härtetechnik Chemnitz GmbH. Sie soll den Nitrierprozeß, insbesondere das Gasnitrieren, die dazugehörigen Bedienung der Öfen und auch den Zusammenhang zu den notwendigen Messungen der Qualitätssicherung und dessen Auswertung verständlich machen.

Das Grundthema wurde formuliert als „Abfahren unterschiedlicher Prozeßparameter für unterschiedlicher Materialien beim Gasnitrieren, mit dem Ziel der Erstellung einer Datenbank, die als Grundlage für einen stabilen Nitrierprozess dient und als Simulationsprogramm genutzt werden kann.“ Diese Aufgabe wird gegen Ende näher erläutert und ausgewertet, sowie ein Ergebnis präsentiert.

Zunächst gehe ich allgemein auf das Nitrieren und die wichtigsten Vorbehandlungen ein, anschließend folgt die genauere Erläuterung des Gasnitrierens, wobei auch die Anlagentechnik eine wichtige Rolle spielt sowie eine Beschreibung der einzelnen Schichten. Gegen Mitte meiner Arbeit wird der Prozessablauf des Gasnitrierens sowie eine genauere Ausführung des Verfahrens eingegangen. Anschließend folgen Erklärungen über verschiedene Nachbearbeitungsverfahren. Das Thema wird fortgesetzt mit den Messungen der Oberflächenhärte, Nitrierhärte tiefe und der Schichtdicke.

Gegen Ende wird der eigentliche Nitrierofentest erläutert, die Messergebnisse preisgegeben und die Auswertung, sowie den davon ausgehenden Nutzen erklärt. Näher wird dabei auf die Erstellung eines Simulationsprogramms eingegangen und deren Wichtigkeit. Es soll sozusagen den Wert meiner Arbeit beweisen und auch der Firma für lange Zeit eine wichtige Testquelle sein, um an Informationen zu gelangen, ohne eine Charge zu riskieren. Ich hoffe mein Werk wird positiv aufgenommen und ist gut verständlich sowie umfangreich genug für alle, die sich mit dem Thema befassen müssen.

Simon Weikert

Inhaltsverzeichnis

1. Nitrieren.....	4
1.1 Allgemeines.....	4
1.2 Gasnitrieren.....	4
1.3 Plasmanitrieren.....	5
1.4 Oxynitrieren.....	5
1.5 Vakuumnitrieren.....	5
1.6 Salzbadnitrocarburierung.....	5
2. Nitrierschicht.....	6
2.1 Allgemeines.....	6
2.2 Verbindungsschicht.....	6
2.3 Diffusionsschicht.....	6
3. Eigenschaften von Nitrierschichten.....	7
3.1 Härte.....	7
3.2 Oberflächenhärte.....	7
3.3 Nitrierhärte tiefe.....	7
4. Werkstückgeometrie.....	8
4.1 Maße und Formen.....	8
4.2 Oberflächenrauheit.....	8
5. Vorbereitung.....	9
5.1 Allgemeines.....	9
5.2 Reinigen.....	9
5.3 Vorbehandeln.....	10
5.4 Vorbereitung für ein örtlich begrenztes Nitrieren/Nitrocarburieren.....	12
6. Gasnitrieren.....	13
6.1 Allgemeines.....	13
6.2 Durchführung.....	15
6.3 Anlagentechnik.....	16
6.3.1 Behandlungsgase.....	16
6.3.2 Anlagen.....	17
6.3.3 Anlagensicherheit.....	19
6.4 Prozessgestaltung.....	20
6.4.1 Zeit-Temperatur-Folge.....	20
6.4.2 Atmosphärenführung.....	21
6.5 Prozessüberwachung.....	22
6.5.1 Beispiele verschiedener nutzbarer Messverfahren.....	22
6.5.2 Prozessregelung.....	23
6.6 Vor- und Nachteile des Gasnitrierens.....	24
7. Nachbehandlung.....	25
7.1 Allgemeines.....	25
7.2 Auslagern.....	25
7.3 Nachoxidieren.....	25
7.4 Diffusionsbehandeln.....	25

7.5 Richten und Kalibrieren.....	26
7.6 Korrosionsschutz.....	26
8. Prüfen von nitrierten Werkstücken.....	26
8.1 Allgemeines.....	26
8.2 Härtemessung.....	27
8.2.1 Oberflächenhärte (OFH).....	27
8.2.2 Nitrierhärte (Nht).....	28
8.3 Metallografisches Messen.....	29
9. Nitrierofentest.....	30
9.1 Allgemeines.....	30
9.2 Messwerte.....	30
9.2.1 Ausgangswerte.....	31
9.2.2 Messwerte nach dem Nitrieren.....	31
9.3 Gefügeänderung anhand des Werkstoffes 31CrMoV9.....	37
9.4 Entwicklung eines Simulationsprogramms.....	40
Quellenangabe.....	42
Eigenständigkeitserklärung.....	43

1. Nitrieren

1.1 Allgemeines

Das Nitrieren ist ein Fertigungsverfahren um Stähle, hauptsächlich in deren Randbereich, zu härten. Bei dem eigentlichen Prozess wird die Oberfläche des Werkstücks mit Stickstoff und Kohlenstoff (Nitrocarburieren) angereichert, welche eindiffundieren. Das heißt die Atome wandern in das Werkstück hinein.

Die Diffusion ist hierbei von der Temperatur und der Zeit abhängig. Je höher die Temperatur (die in der Regel zwischen 480 – 600°C gewählt wird) desto tiefer kann der Stickstoff in der selben Zeit eindringen, jedoch sinkt die Härte der Nitrierschicht mit steigender Temperatur. Die übliche Nitrierdauer liegt zwischen 10 und 160 Stunden und gibt dem Stickstoff mehr Zeit zum eindiffundieren.

Besonders großen Einfluss hat der Stickstoff auf Werkstoffe mit nitridbildenden Elementen, wie zum Beispiel Chrom, Molybdän, Vanadium, Aluminium. Diese Werkstoffe weisen meist eine höhere Nitrierhärte auf, allerdings reduziert sich die mögliche Stickstoffeindringtiefe, was bedeutet die maximale Nitrierschicht wird kleiner.

Für das Nitrieren gibt es die Verfahren Badnitrieren, Gasnitrieren und Plasmanitrieren, wobei Gasnitrieren die am häufigsten angewendete Variante ist. Geprüft werden die bearbeiteten Werkstücke für gewöhnlich in der Oberflächenhärte, der Nitrierhärte und die Schichtdicke.

1.2 Gasnitrieren

Beim Gasnitrieren diffundieren kleine Stickstoffatome in die Oberfläche und sättigen sie, um eine höhere Härte und damit bessere Verschleißigenschaften zu erzeugen. Der Vorteil dieses Verfahrens ist, dass die Werkstoffe anschließend deutlich korrosionsbeständiger sind.

Bei dem eigentlichen Prozess verwendet man eine Ammoniakgasatmosphäre bei einer Temperatur von 500 – 530°C. Abhängig von der Behandlungsdauer und dem verwendeten Werkstoff, werden Nitrierhärte (Nht) von 0,1 – 0,9 mm erzielt. Man versucht damit gezielt die Bauteilfestigkeit, Verschleißfestigkeit, Gleiteigenschaften, Temperaturbeständigkeit und Biegewechselfestigkeit zu erhöhen.

Geeignete Werkstoffe: Stahl-, Guss- und Sinterwerkstoffe, unlegierte, niedriglegierte Stähle, hochlegierte Stähle (> 13% Cr) aufgrund von passivierter Oberfläche nicht ungeeignet

1.3 Plasmanitrieren

Das Plasmanitrieren dient der Einlagerung von Stickstoff in Eisenwerkstoffen. Dabei wird unter einem Vakuum mit Zuhilfenahme eines Plasmas die Oberfläche mit Stickstoff angereichert. Man erreicht damit dieselben Ziele wie beim Gasnitrieren.

Das Verfahren eignet sich besonders für hochlegierte Werkstoffe (> 13% Cr), da es bei diesen Bedingungen zur Carbidbildung kommt. Jedoch kann es passieren, dass die Korrosionsbeständigkeit abnimmt, da sich der Anteil der Chrom-Eisenkarbide verringert. Außerdem sind enge Spalten oder Bohrungen ein Problem und evtl. nicht unbedingt gleichmäßig nitrierbar.

Geeignete Werkstoffe: Stahl-, Guss- und Sinterwerkstoffe, unlegierte, niedrig- bis hochlegierte Stähle

1.4 Oxydieren

Durch eine Abkühlung in einer oxidierenden Atmosphäre kann man die Korrosionsbeständigkeit noch zusätzlich verbessern. Diese Art der Nachbehandlung ist bei allen Verfahren möglich, allerdings partiell nur bei der Gas- oder Plasmanitrierung. Das Oxydieren wird ebenfalls durchgeführt um die gewünschte Verbindungsschicht zu erstellen.

1.5 Vakuumnitrieren

Das Vakuumnitrieren ist ein Sonderverfahren, welches mit Ammoniak und Lachgas bei 450 – 550°C im Unterdruck durchgeführt wird. Es soll damit maximale Härte bei Werkzeugstählen und hochlegierten Werkstoffen erzeugt werden. Die Nht liegt hierbei zwischen 0,05 – 0,2 mm. Der Nachteil des Verfahrens ist, dass es nicht partiell angewendet werden kann, dafür erreicht man aber eine gleichmäßigere Nitrierung im Gegensatz zum Plasmanitrieren.

Geeignete Werkstoffe: Werkzeugstähle, hochlegierte Werkstoffe

1.6 Salzbadnitrocarburierung

Zwischen 570 und 580°C innerhalb eines Gemisches von Stickstoff und Kohlenstoff im gasförmigen Zustand wird dieser Prozeß durchgeführt. Die Dauer liegt bei 60 bis 120 Minuten. Erreichte Nitrierhärteiefen liegen bei 0,1 bis 0,25 mm und sind Werkstoffabhängig. Ebenso hat der Stahl Einfluss auf die Art der Abkühlung. Man verwendet hierbei entweder ein Wasser- oder ein Salzwarmbad. Der Prozess dient hauptsächlich der Erhöhung des Verschleiß und Korrosionsschutzes, wobei für hohe Belastungen sind derartige Schichten weniger geeignet. Außerdem ist auch hier eine partielle Behandlung unmöglich.

Geeignete Werkstoffe: Stahl-, Guss- und Sinterwerkstoffe, unlegierte, niedrig- bis hochlegierte Stähle

2. Nitrierschicht

2.1 Allgemeines

An der Oberfläche entwickelt sich die Schicht aus der Veränderung des Gefüges durch den Stickstoff. Dabei wird im ersten Schritt der Stickstoffspender an die Werkstückoberfläche herangeführt. Als nächstes erfolgt die Adsorption (Anhaften) des Stickstoffspenders und das Freisetzen von Stickstoffatomen an der Werkstückoberfläche. Darauf folgt das Durchdringen (Absorption) der Werkstückoberfläche durch den Stickstoff. Zuletzt folgt die Diffusion der Atome entlang der Korngrenzen und durch die Körner hindurch bis in das Werkstückinnere.

Im Gefüge lagert sich der Stickstoff in den Zwischengitterplätzen ein und wirkt als Legierungselement. Der Platz dafür ist ausreichend vorhanden, da ein Stickstoffatom nur etwa halb so groß ist wie ein Eisenatom.

2.2 Verbindungsschicht

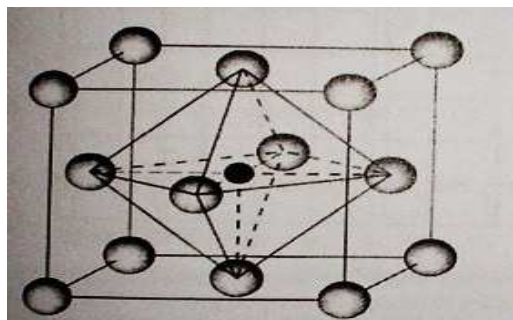
Die Verbindungsschicht ist der äußerste Randbereich des nitrierten Werkstoffes, die hauptsächlich aus Nitriden, bei Kohlenstoffstählen Carbonitride, Nitrocarbide sowie Primärcarbide bei übereutektoiden Stählen besteht und bis zu einigen μm dick ist. Meist ist die Verbindungsschicht deutlich erkennbar, außer bei Vergütungsgefügen.

Sie weist außerdem eine unvermeidbare Porosität auf. Die Poren treten dabei meist an energetisch begünstigten Stellen auf, wie z. B. Korngrenzen innerhalb der Verbindungsschicht. Diese verlaufen in der Regel senkrecht zur Oberfläche.

Die Öffnung der Poren kann bis zur Oberfläche offen sein, wodurch eine Verbindung mit der Nitrier-/Nitrocarburieratmosphäre besteht. Durch diese Kanäle kann Stickstoff nach außen effundieren und Kohlenstoff beim Nitrocarburieren eindiffundieren. Unterhalb der Verbindungsschicht folgt die Diffusionsschicht.

2.3 Diffusionsschicht

Die Diffusionsschicht ist der Randschichtbereich unterhalb der Verbindungsschicht. Sie reicht bis zu einer Tiefe von einigen Zehntel Millimetern. Bei unlegierten Stählen findet man den eindiffundierten Stickstoff auf Zwischengitterplätzen (Oktaederlücken) des Ferritgitters. Die zunächst beim Nitrieren/Nitrocarburieren aufgenommene Menge übersteigt bei Raumtemperatur das Lösungsvermögen des Ferrits. Durch langsames Abkühlen findet sich Zeit, damit sich γ' -Nitride (bei 680°C : 5,88 Masse-%, Fe_4N) ausscheiden können. Diese Nitride können die Länge eines Ferritkorns erreichen.



Gitterstruktur γ' -Nitrid, (Eisenatome weiß, Stickstoffatome schwarz)

Bei einer raschen Abkühlung (z. B. Abschrecken im Wasser) wird der übersättigte Zustand quasi eingefroren und es bleibt ein übersättigter Ferritmischkristall übrig. Anschließend in einem Zeitraum von 8 bis 10 Tage bilden sich bei Raumtemperatur α' -Nitride (2,95 Masse-%, Fe_{16}N_2 bzw. Fe_8N). Diese sind jedoch lichtmikroskopisch nicht sichtbar. Durch Warmauslagern bei Temperaturen über 100°C kann dieser Vorgang beschleunigt werden, allerdings entstehen dann, durch das Lichtmikroskop sichtbare, γ' -Nitride.

Bei legierten Stählen entstehen bereits während des Aufstickens feine Nitridausscheidungen, die jedoch von der Abkühlgeschwindigkeit unabhängig sind. Durch diesen Vorgang werden die Legierungselemente abgebunden und dadurch verringert sich die Korrosionsbeständigkeit.

3. Eigenschaften von Nitrierschichten

3.1 Härte

Durch die Aufnahme von Stickstoff nehmen die Härte und die Festigkeit in der Randschicht zu. Den ausschlaggebenden Mechanismus nennt man Mischkristallverfestigung und Ausscheidungshärtung. Die Art der Härtung unterscheidet sich hierbei von dem gewöhnlichen Härten, wie bei der Gefügeumwandlung in Martensit.

Die Härte nimmt bei nitrierten Werkstoffen von der Oberfläche in Richtung Kern immer weiter ab, da immer weniger Stickstoff beim Nitrieren in das Innere des Werkstoffes vordringen konnte. Außerdem ist eine quantitative Aussage über die Zielgröße des Nitrierens oder Nitrocarburierens, wie beispielsweise die Nitrierschichtdicke, durch die Oberflächenhärte nicht möglich, da sie nicht gezielt, wie beim martensitischen Härten hergestellt werden kann.

3.2 Oberflächenhärte

Bei einer Messung der Oberflächenhärte nach dem Eindringverfahren, muss die Prüfkraft definiert werden, da ansonsten fiktive Messwerte resultieren. Die Prüfkraft ergibt sich aus der Wirtiefe des Eindringkörpers, die dann Schichten mit unterschiedlicher Härte erfasst. Um die Prüfkraft auf die Nitrierschichtdicke abzustimmen, muss man sich nach der Tabelle 1 in der DIN 6773 richten.

Außerdem sollte die Abkühlgeschwindigkeit, sowie die Legierungszusammensetzung berücksichtigt werden. Ein unlegierter Stahl der rasch auf Raumtemperatur abgekühlt wurde, erreicht erst nach ca. 8 bis 10 Tagen einen konstanten Wert. Dieses Phänomen liegt an der Übersättigung des Ferrits, dessen Stickstoff sich nach einigen Tagen allmählich ausscheidet. Bei legierten Stählen tritt dieser Effekt nicht auf, da die Legierungselemente bereits während des Prozesses Nitridausscheidungen erzeugen, welche eine Härtezunahme zur Folge haben.

3.3 Nitrierhärte tiefe

Die Nitrierhärte tiefe ist der Härteverlauf senkrecht gemessen zur Oberfläche bis zu dem Punkt an dem die Härte nur noch 50 HV höher ist als die Kernhärte. Genauer beschrieben ist die Messung in der DIN 50190-3. Die ermittelte Härteverlaufskurve ist allerdings nur bei legierten Stählen sinnvoll, da bei unlegierten Stählen sehr flache Kurven auftreten und dessen Bestimmung zu ungenau wird.

4. Werkstückgeometrie

4.1 Maße und Formen

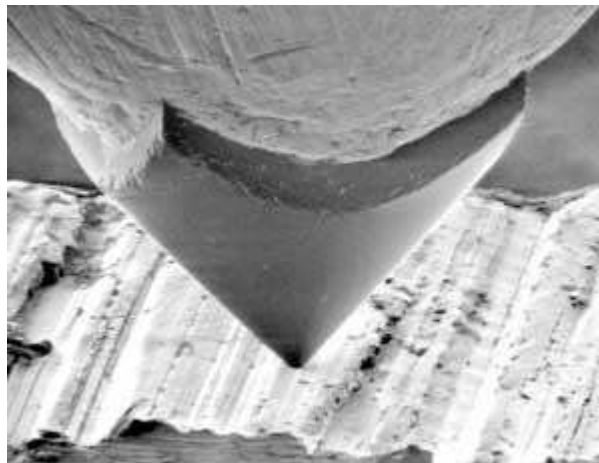
Wie bei allen Wärmebehandlungen ändern sich auch beim Nitrieren die Maße und das Volumen, jedoch weit geringer als bei anderen Härteverfahren. Allerdings können plastische Verformungen auftreten die ausgelöst wurden durch Eigenspannungen. Der Grund hierfür liegt an den relativ niedrigen Prozesstemperaturen beim Nitrieren, in denen eine relativ geringe Festigkeit vorherrscht. Dadurch kann womöglich eine größere Maß und Formänderung auftreten.

Abgesehen davon werden diverse vergütete Teile im Bereich von 500 bis 600°C angelassen. Bei einem nachträglichen Nitrieren hat dieser Prozess keinen Einfluss, allerdings bei einfach gehärteten Teilen unterhalb dieses Temperaturbereichs, wird durch das Nitrieren ein erneutes Anlassen hervorgerufen und das Volumen nimmt ab. Um diesen Einflüssen zu entgehen wird empfohlen ein Spannungsarmglühen oder ein Anlassen bei höheren Temperaturen vor dem Nitrieren/Nitrocarburieren durchzuführen.

4.2 Oberflächenrauheit

Durch das Nitrieren/Nitrocarburieren nimmt die Rauigkeit der Oberfläche zu. Das hat mehrere Gründe. Einerseits wachsen die Nitridkristalle der Verbindungsschicht einige Nanometer aus der Werkstückoberfläche heraus, andererseits ist die Zunahme damit zu erklären, dass mögliche plastische Deformationen zur Auflösung vorangegangener Bearbeitungen des Werkstücks stattfinden.

Die Maßänderung der Oberflächenrauheit hängt von der Rauheit vor dem Nitrieren/Nitrocarburieren ab. Je größer sie ist, desto größer ist die Zunahme. Daher kann es erforderlich sein eine anschließende spanende Bearbeitung durchzuführen, um die Oberflächenrauheit wieder zu verringern.



Beispiel einer Tastspitze beim Abfahren im Querschnitt

5. Vorbereitung

5.1 Allgemeines

Die Voraussetzung für ein erfolgreiches Nitrieren ist eine saubere Oberfläche. Verunreinigungen durch vorherige Bearbeitungen, wie zum Beispiel Kühlschmierstoffe, Oxidschichten, Rückstände von Wasch- und Konservierungsmitteln können die Stickstoffaufnahme vor allem beim Gasnitrieren/-nitrocarburieren beeinflussen. Als ebenfalls problematisch erweisen sich Reste von Nichteisenmetallen, wie Zinn, Blei, Zink oder Kupfer. Meist tauchen derartige Rückstände durch Abrieb oder anhaftende Späne auf.

Zum Reinigen der Oberfläche existieren mehrere Verfahren. Dabei sollte beachtet werden, dass bestimmte Reinigungsmittel und Zusätze die Stickstoffaufnahme negativ beeinflussen können. Daher empfiehlt es sich Siliconöle, Borate, Phosphate und Silicate zu vermeiden. Nach dem Vorgang sollte das Werkstück unbedingt getrocknet werden, um keine Verschleppung zu erzeugen.

Beachte: Bolzen oder Schrauben, die bestimmte Geometrien verschließen, sind unbedingt vor dem Reinigen zu entfernen. Außerdem dürfen Werkstücke mit verschlossenen Hohlräumen nicht nitriert oder nitrocarburiert werden.

Als weiteres Merkmal der Vorbehandlung ist zu sagen, dass der Grundwerkstoff unterhalb der Nitrierschicht keine Gefügeänderung wiederfahren darf. Das setzt ein thermisch stabiles Gefüge voraus, was wiederum bedeutet, dass vergütete Werkstoffe vor dem Nitrieren möglichst 30°C über der Nitrier-/Nitrocarburiertemperatur angelassen werden sollte.

Ebenfalls hinderlich beim Prozess kann eine Kaltverformung sein. Besonders deutlich wird dieser Einfluss bei Werkstücken die durch Umformen hergestellt wurden. Allerdings kann dieser Effekt auch durch ungünstige Bedingungen bei zerspanender Bearbeitung auftreten. Das Resultat ist, dass die Verbindungsschicht deutlich dünner ist. Zur Vermeidung muss ein Rekristallisations- oder Normalglühen erfolgen.

5.2 Reinigen

Das Reinigen muss vor jedem Nitrieren oder Nitrocarburieren durchgeführt werden. Viele verschiedene Verfahren können dabei angewendet werden.

Waschen

Tabelle 1 [1]: Hinweise zur Auswahl geeigneter Reinigungsmittel

Rückstände	Eignung wässriger Reiniger	Lösemittelreiniger	CKW
Öle, Fette (organisch unpolar)	wenig	gut bis sehr gut	sehr gut
Kolophonium, Klebstoffe (organisch unpolar)	mäßig	mäßig bis sehr gut	mäßig bis gut
Späne, Staub (anorganisch unpolar)	gut	mäßig bis gut	wenig
Salze (anorganisch polar)	sehr gut	mäßig bis wenig	wenig

Das Waschen wird mit heißem Wasser durchgeführt, wobei Reiniger-Zusätze mitgegeben werden. Der Prozess kann mit Ultraschall unterstützt oder als Spritzapplikation durchgeführt werden, um die Wirkung zu verbessern. Anschließend muss das behandelte Werkstück ausreichend getrocknet werden.

Strahlen

Durch Strahlen (trocken oder nass) mit geeigneten Mitteln können Grate, Zunder, Walz-, Schmiede- oder Gusshaut, Farb- oder Lötflussmittelreste von der Werkstückoberfläche entfernt werden. Im Anschluss sollte darauf geachtet werden, dass die Rückstände des Strahlmediums entfernt sind.

Beizen

Das Beizen dient zur Aktivierung der Oberfläche bei legierten Stählen. Speziell beim Gasnitrieren ist die chemische Behandlung mit Säuren nützlich. Ein guter Nebeneffekt stellt auch das Entfernen von Rost und Zunderresten, sowie Walz-, Schmiede- oder Gusshaut dar. Nach dem Prozess sollte sofort nitriert/nitrocarburiert werden. Eine Lagerung sollte vermieden werden.

Beachten sollte man, dass die Rückstände der Beize vollständig neutralisiert sind, da sonst Rost am Werkstück entstehen kann und es sollte nicht zu intensiv gebeizt werden, weil Vertiefungen entstehen die als „Beiznarben“ bezeichnet werden.

5.3 Vorbehandeln

„Die Vorbehandlung eines Werkstückes dient dazu, unerwünschte Einflüsse von Eigenspannungen, des Oberflächenzustandes oder des Werkstoffzustandes auf den Endzustand zu beseitigen, den Behandlungsablauf abzusichern und gegebenenfalls das Nitrieren oder Nitrocarburierten örtlich zu begrenzen.“

Entgraten

Grate entstehen durch eine spanende Bearbeitung. Entfernen lassen sie sich durch Strahlen mit Sand oder Stahlkorn, sowie chemisches oder thermisches Entgraten. Bei der Härtetechnik wird mit Stahlkorn gestrahlt, was auch einen Reinigungseffekt zur Folge hat.

Voroxidieren

Gerade beim Gasnitrieren empfiehlt sich dieser Prozessschritt. Das Voroxidieren aktiviert die Oberfläche und verbessert hierbei die Stickstoffaufnahme. Es hat jedoch keine reinigende Wirkung und führt zur Entstehung einer Oxidschicht, deren Dicke nicht mehr als wenige Nanometer betragen sollte. Sichtbar ist diese an einer gelb-blauen Verfärbung an der Oberfläche.

Als Parameter werden Temperaturen von 250 bis 300°C bei unlegierten und niedrig legierten Stählen empfohlen, wogegen 400 bis 450°C bei hochlegierten Stählen anzuwenden sind. Außerdem kann es sein, dass eine spezielle Vorbehandlung bei hochlegierten Stählen Anwendung finden muss, um eine Passivierung der Oberfläche zu überwinden.

Spannungsarmglühen

Spannungsarmglühen wird durchgeführt, wenn damit zu rechnen ist, dass durch vorangegangener Bearbeitungen Eigenspannungen, die Verzugsverhalten während des Nitrierens/Nitrocarburierens nach sich ziehen können, vorhanden sind oder um deutliche Kaltverformungen in der Randschicht als Einflussgröße zu reduzieren, da sie die Stickstoffdiffusion behindert. Als Parameter wird eine Temperatur über 30°C über der Nitriertemperatur empfohlen.

Durch das Spannungsarmglühen entsteht allerdings auch eine Maß- und Formänderung die bereits bei der Konstruktion berücksichtigt werden sollte. Um dem entgegen zu wirken, kann eine sorgfältige anschließende spanende Bearbeitung durchgeführt werden.

Beachte: Die Temperatur sollte nie die Umwandlungstemperatur A_{c1} überschreiten, allerdings dieser möglichst nahe kommen. Bei vergüteten Stählen muss die Temperatur unterhalb der Anlasstemperatur liegen, wenn die Festigkeit erhalten bleiben soll. Außerdem muss das Erwärmen und Abkühlen äußerst langsam von statten gehen, ansonsten können Eigenspannungen auftreten.

Normalglühen

Normalglühen sollte durchgeführt werden, wenn kalt umgeformt wurde und infolge der Rekristallisation eine Grob- oder Mischkornbildung auftreten kann. Der Unterschied zum Spannungsarmglühen ist, dass gleichzeitig der Gefügestand in kritischen Bereichen verbessert werden kann, wogegen beim Spannungsarmglühen das Gefüge nicht verändert wird. Die Parameter für das Normalglühen sind in den Lieferbedingungen der Stähle oder von Datenblättern der Stahlhersteller zu entnehmen.

Vergüten

Das Vergüten sollte vor dem Nitrieren durchgeführt werden, um dem Werkstoff eine bestimmte Grundfestigkeit zu geben. Die Durchführung des Vergütens ist in der DIN 17022-1 und DIN 17022-2 angegeben.

Der Prozess sollte ca. 30°C über der Nitriertemperatur liegen. Dies hat den Grund, dass eine bestimmte thermische Stabilität erreicht werden muss, damit das Nitrieren, hervorgerufen durch die Temperatur, ebenfalls wie ein gleichzeitiges Anlassen wirkt. Das Anlassen hat direkte Auswirkungen auf die erzeugte Härte des Nitrierens. So sind die Temperatur und die Dauer die ausschlaggebenden Parameter.

Beim Vergüten wird ebenfalls die Bildung von Nitriden durch bestimmte Legierungselemente beeinflusst. Das liegt daran, dass diese Stoffe ebenfalls Carbiddbildner sind und je nach Austenitisierungstemperatur, Anlasstemperatur und -dauer teilweise bis vollständig als Carbide abgebunden sein können.

Diese Vorbehandlung hat jedoch auch Nachteile. Es kann vorkommen, dass die Randschicht verändert wurde und beispielsweise eine Randentkohlung oder eine Oxidation zur Folge hatte, daher ist es nicht selten, dass nach dem Vergüten eine spanende Zwischenbearbeitung stattgefunden hat, um eine gute Oberfläche für das Nitrieren/Nitrocarburieren zu erhalten.

Allerdings ist zu sagen, dass bei mehrstündigem Nitrieren/Nitrocarburieren ohnehin auch ein Abfall der Härte im Kernbereich zu erwarten. Dieser richtet sich allerdings nach der Anlassbeständigkeit des Werkstoffs. Die einzige Lösung ist eine geeignete Wahl eines anlassbeständigen Stahls.

5.4 Vorbereitungen für ein örtlich begrenztes Nitrieren/Nitrocarburieren

Falls nur ein Teil des Werkstücks nitriert werden soll, so müssen die anderen Bereiche gegen die Stickstoffaufnahme geschützt werden. Hierfür gibt es verschiedene Methoden:

1. Bei der Konstruktion kann bereits ein Aufmaß vorgegeben werden, welches nach dem Nitrieren/Nitrocarburieren durch eine spanende Bearbeitung abgearbeitet wird.
2. Es kann ein Überzug aufgebracht werden. Entweder als Paste oder durch Galvanik aus den Elementen Kupfer, Nickel oder Zinn. Dies eignet sich jedoch nur beim Gas- und Pulvernitrieren. In Salzschnmelzen darf nur Nickel verwendet werden.
3. Die Benutzung eines Schutzkörpers, z. B. eine Kappe kann Anwendung finden. Ein guter Schutz ist jedoch nur beim Plasmanitrieren/-nitrocarburieren gewährleistet. Das Einbringen von Stiften in Bohrungen oder Schrauben in Gewindelöchern hat wegen des Risikos der Wasserdampfbildung zu unterbleiben.

Bei der Härtetechnik Chemnitz findet der Auftrag von Kupferpaste Anwendung. Nach dieser Vorbereitung können in den geschützten Bereichen nur noch thermisch bedingte Veränderungen auftreten.

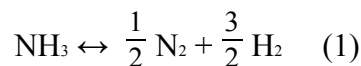
6. Gasnitrieren

6.1 Allgemeines

Ammoniakreaktionen

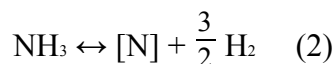
Da das Gasnitrieren bei der Härtetechnik Chemnitz benutzt wird, folgt eine ausführlichere Beschreibung dieses Prozesses. Als Grundlage für die Erzeugung von Stickstoff aus Ammoniak gibt es 2 Reaktionen.

Die erste Gleichung (1) tritt im Temperaturbereich des Nitrierens/Nitrocarburierens (450 bis 590°C) auf. Je größer die Zunahme der Temperatur, desto intensiver wird die Reaktion durchgeführt.



Unterstützt wird diese Gleichung durch die katalytische Wirkung der Ofenauskleidung, des Chargiergestells und der Eisenoberfläche des Behandlungsgutes. Sie ist jedoch von geringer Bedeutung zum Aufsticken, da der thermische Zerfall des atomaren Stickstoffs schnell zu molekularem Stickstoff rekombiniert und damit keine weiteren Reaktionen mehr durchführbar sind.

Zur Aufstückung der Oberfläche nutzt man die Freiwerdung von diffusionsfähigem Stickstoff an der Oberfläche des Werkstücks. Dieser Vorgang wird mit der Gleichung (2) angegeben.



Betrachtet man beide Reaktionen so sind sie sich sehr ähnlich. Die erste findet jedoch unter Idealbedingungen statt und hätte zur Folge, dass kein atomarer Stickstoff zur Diffusion zur Verfügung stehen kann. Unter technischen Bedingungen ist aber eine ideale Reaktion unmöglich und daher kann eine Aufstückung überhaupt erst erfolgen. Unterstützt wird Gleichung (2) durch den ständigen Fluss von Ammoniak im Ofen (=Begasungsrate). Während ein großer Teil thermisch zerfällt, ist immer noch genügend Ammoniak vorhanden zum eindiffundieren an der Oberfläche des Werkstücks.

Nitrierkennzahl K_N

Ein wichtiger Kennwert für die Kennzeichnung der Nitrierfähigkeit der Atmosphäre ist die Nitrierkennzahl. Das gezielte Absenken von K_N durch Verringern der Ammoniakbegasungsrate ist technisch begrenzt. Will man sie verändern, so kann man Stickstoff oder Wasserstoff hinzugeben.

Bei der Erhöhung der Stickstoffkonzentration sollte man beachten, dass automatisch die Ammoniakkonzentration fällt. Das hat zur Folge, dass bei der Zersetzung des NH_3 der entstandene Wasserstoffgehalt verringert wird, was in einem Anstieg von K_N resultiert. Abgesehen davon tritt dabei der Nebeneffekt auf, welcher eine Verringerung der Wachstumsgeschwindigkeit der Verbindungsschicht nach sich zieht. Daher sollte diese Möglichkeit mit großen Mengen Stickstoff vermieden werden.

Bei der Zuführung von Wasserstoff wiederum fällt die Nitrierkennzahl. Dabei wird vorher in einem sogenannten Spalter das Ammoniak vollständig zersetzt. Anschließend wird das Werkstück mit dem Spaltgas begast.

Die Berechnung der Nitrierkennzahl erfolgt mit der Formel:

$$K_N = \frac{\varphi_R(NH_3)}{\varphi_R(H_2)^{\frac{3}{2}}} \quad (3)$$

φ_R ...Volumenkonzentration der einzelnen Atmosphärenbestandteile

Oxidationskennzahl K_o

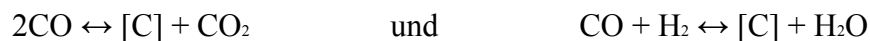
Die Oxidationskennzahl K_o gibt an, wie viel Sauerstoff, meist als Luft, dem Stickstoffspender im Ammoniak beigemischt wird. Dies wird Oxinitrieren genannt. Die Berechnung der Oxidationskennzahl erfolgt mit der Formel:

$$K_o = \frac{\varphi_R(H_2O)}{\varphi_R(H_2)} \quad (4)$$

Dies gilt vorwiegend für den Bereich von Fe_3O_4 (bei Temperaturen bis $570^\circ C$). Man sollte allerdings das Abbinden durch den Sauerstoff in der Luft und die Verdünnung des Stickstoffes berücksichtigen.

Kohlenstoffreaktionen

Beim Nitrocarburieren wird neben dem Zuführen von Ammoniak, ebenfalls Kohlenstoff hinzugefügt. Hierzu verwendet man die Gase Kohlenmonoxid (CO) und Kohlendioxid (CO_2) in reiner Form oder als Gasgemische. Zur Diffusion laufen folgende 2 Reaktionen ab:



Für die linke Gleichung wird dabei allerdings die Einstellung eines homogenen Wassergasgleichgewichts vorausgesetzt, welche nach folgender Reaktion eintritt:



Kohlungskennzahlen K_c

Aus den Kohlenstoffreaktionen können die Kohluskennzahlen K_c über folgende Gleichungen ermittelt werden:

$$K_c^B = \frac{\varphi_R^2(CO)}{\varphi_R(CO_2)} \quad (5) \quad \text{und} \quad K_c^W = \frac{\varphi_R(CO) \cdot \varphi_R(H_2)}{\varphi_R(H_2O)} \quad (6)$$

Dabei wird das Wassergleichgewicht auch bei Temperaturen des Nitrierens ausreichend schnell erreicht. Das zeigt folgende Gleichung:

$$K_w = \frac{K_c^W}{K_c^B} \quad (7)$$

Es ist allerdings darauf hinzuweisen, dass deshalb beim Zusatz von Kohlendioxid CO_2 Wasserstoff abgebaut wird, was wiederum die Nitrierkennzahl K_N erhöht.

6.2 Durchführung

Behandlungsmittel

Tabelle 2 [2]: Übersicht über die für die Herstellung von Gasatmosphären zum Nitrieren und Nitrocarburieren benutzten Stoffe

Diffusionselement	Verfahren	Einsatzstoffe
N	Nitrieren	Ammoniak, Ammoniak + Wasserstoff Ammoniak + Stickstoff Ammoniak + Stickstoff + Wasserstoff
N, C, O	Nitrocarburieren	Ammoniak + Endogas („Nitrieren“) Ammoniak + Exogas („Nitroc“-Verfahren) Ammoniak + Stickstoff + Kohlendioxid Ammoniak + Kohlendioxid („Nitroc“-V.) Ammoniak + Kohlenwasserstoff Ammoniak + Wasserstoff + Stickstoff + Kohlenwasserstoff
N, O	Oxinitrieren	Ammoniak + Luft Ammoniak + Wasser Ammoniak + Lachgas
N, S	Sulfonitrieren	Ammoniak + Schwefelwasserstoff Ammoniak + Schwefel

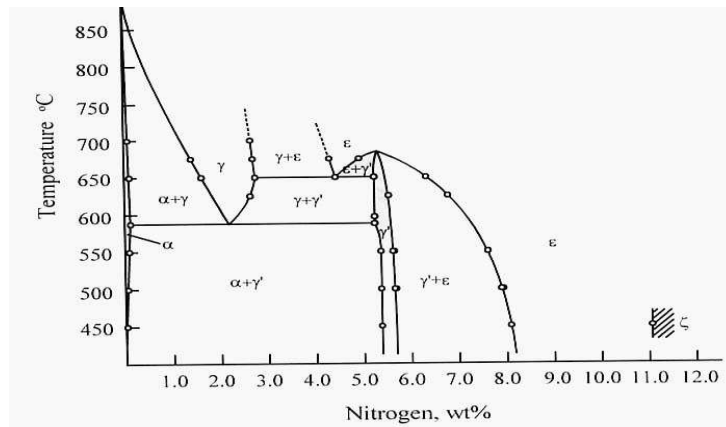
Endogas (20 Vol-% CO, 40 Vol-% H₂, 40 Vol-% N₂) und Exogas (7-12 Vol-% CO, 2-6 Vol-% CO₂, 8-16 Vol-% H₂, 0,5-1% CH₄, 0,8-7 Vol-% H₂O, Rest N₂) bezeichnen spezielle gasförmige Stoffgemische. Sollte kein Exogasgenerator zur Verfügung stehen, wird eine synthetische Gasmischung aus Ammoniak und einem Zusatz von 5 bis 10 Vol-% CO₂ eingesetzt. Wogegen beim Oxinitrieren der Sauerstoff meist aus der Luft zugesetzt wird. Dabei ist der Einsatz aus Gründen der Sicherheit begrenzt.

Beim Verfahren Sulfonitrieren wird Schwefel eingesetzt, um das Verschleißverhalten der Verbindungsschicht zu verbessern. Allerdings findet dies in der deutschen Industrie kaum Anwendung und hat sich bisher nicht durchgesetzt.

Nitriertemperatur

Die Nitriertemperatur ist einer der wichtigsten Parameter überhaupt. Sie beeinflusst die Stickstoffanreicherung, wobei 590°C bei unlegierten Stählen die Obergrenze darstellt. Entnommen werden können diese Daten aus dem Eisen-Stickstoffdiagramm (Bild XXX). Bei legierten Stählen liegt die Temperatur um etwa 15 bis 20°C höher. Wird die Grenze überschritten, so entsteht Stickstoff-Austenit.

Die untere Grenze für die Behandlung stellt die Diffusionsfähigkeit, sowie die Verfügbarkeit des Stickstoffs dar. Sie liegt bei 350°C.



Beispiel eines Eisen-Stickstoff-Diagramms

Nitrierdauer

Die Nitrierdauer ist ein weiter äußerst wichtiger Parameter für den Prozess. Er stellt die Wirtschaftlichkeit der Wärmebehandlung dar, weil sich daraus die Kapazitäten der Anlagen beeinflussen lassen. Um die Nitrierdauer möglichst effizient zu wählen, sollten detaillierte Kenntnisse der Zusammenhänge zwischen Nitrierdauer und den Wachstumsraten der Verbindungsschichtdicke und Nitriertiefe sowie die erreichbaren Werte aus Rand- und Oberflächenhärte für die verschiedenen Werkstoffe und deren Ausgangszustände vorhanden sein. Um derartige Kenntnisse zu gewinnen kann ein Nitrierofentest mit verschiedenen Werkstoffen und deren Untersuchung durchgeführt werden, wie im Kapitel 9 beschrieben.

6.3 Anlagentechnik

6.3.1 Behandlungsgase

Ammoniak

Ammoniak ist das Basismedium für das Gasnitrieren. Im Anlieferungszustand befindet er sich im flüssigen Zustand, eingeschlossen in Stahlbehältern oder -containern. Bei der Verwendung ist es wichtig die Größe der zu nitrierenden Oberfläche und die stündlich bereitzustellende Gasmenge zu kennen. Je nachdem kann dann der Ammoniak im bereits verdampften Zustand verwendet werden oder muss flüssig entnommen werden, um anschließend separat verdampft zu werden. Danach folgt eine Bereitstellung in einem beheizten Aggregat.

Zusatzgase

Unter Zusatzgase versteht man die Gase, welche für die gesonderten Verfahren zum Einsatz kommen. Dazu zählen kohlenstoffhaltige Gase oder Gasgemische beim Nitrocarburieren, Luft beim Gasoxinitrieren und schwefelhaltige Gase beim Gassulfonitrieren, sowie Stickstoff als Verdünnungsgas. Siehe hierzu auch Tabelle 2 im Kapitel 6.2 Behandlungsmittel.

Zum Bereitstellen der Zusatzgase verwendet man, bei geringen Mengen (bis ca. 10% der Ammoniakmenge), Flaschen. Bei größeren Anteilen werden die Gase in eigenen Anlagen erzeugt und bereitgestellt, wie zum Beispiel das Nitrocarburieren mit Endogas.

Beim Oxinitrieren wird wie bereits erwähnt Luft eingesetzt. Wogegen man Stickstoff hinzu mischen darf, um den Gasverbrauch zu senken. Dabei sollte aber weiterhin beachtet werden, dass dadurch die Nitrierkennzahl K_N und die Wachstumsgeschwindigkeit der Verbindungsschicht beeinflusst wird.

Die weitere Beimischung von Stickstoff hat allerdings noch wichtigere Gründe. Er eignet sich hervorragend als Spül- und Sicherheitsgas. Für das Spülen müssen bestimmte Normen eingehalten werden. Wohingegen als Schutzgas muss der Stickstoff ständig bereitstehen. Außerdem muss im Notfall der gesamte Ofenraum damit geflutet werden können, unabhängig von der Stromversorgung.

6.3.2 Anlagen

Hat man verschiedene Öfen zur Verfügung, so muss eine geeignete Anlage ausgewählt werden. Dabei haben einige Parameter einen Einfluss: [3],

- Spektrum der zu behandelnden Werkstücke
- Werkstückgeometrie
- Maße der Werkstücke
- Prozessverlauf
- Stückzahl
- Dicke und struktureller Aufbau der Verbindungsschicht
- Forderungen an die Anordnung der Werkstücke in der Charge
- Aufstellungsort der Anlagentechnik
- Anlagenart und erforderliche Peripherie (Vorbehandlung, Hebezeuge, Chargier Vorrichtungen)
- Entsorgung der Abfallstoffe (z. B. Abgase)
- Kosten “[3]

Nach diesen Faktoren wählt man einen geeigneten Ofen. Dabei stehen verschiedene Retortenöfen und mehre ausgekleidete Öfen zur Verfügung. Bei der Härtetechnik Chemnitz gibt es nur die Öfen XXX und es liegt im Ermessen der Auftragsplanung, ob die geforderte Behandlung durchzuführen ist.

Retortenöfen

Wie der Name es bereits erklärt, verwendet man als Ofenraum eine hermetisch abtrennende Retorte aus hitze- und zunderbeständigem Stahl (z.B. Stahl 1.4841, Inconel). Diese Öfen werden auch in der Härtetechnik Chemnitz verwendet. Es handelt sich hierbei um evakuierbare Kammeröfen des Typs RH 1299 Rvg der Firma IVA. Seine Chargenabmessungen betragen 1200*900*900 (Tiefe*Breite*Höhe in mm). Die Abmessungen des Ofens sind 4500*3500*3500 und er kann mit bis zu 1250 mm Höhe beschickt werden. Weiterhin verwendet der RH 1299 Rvg 6 Brenner, hat einen Gasanschlußwert von 24 m³/h und seine Nenntemperatur beträgt 750°C.

[4], Vorteile:

- Begrenzung des Ofenraumes auf den Innenraum der Retorte
- Definierte Verhältnisse beim Gaswechsel
- Schutz des Behandlungsgutes vor direkter Wärmestrahlung
- Problemloses Erzeugen eines Über- und Unterdruckes bei gasdichter Ausführung
- Möglichkeit einer beschl. Abkühlung durch Luft an der Außenseite der Retorte
- Aus Verzugsgründen hängende Behandlung, auch langer Teile

Nachteile:

- Begrenzte Lebensdauer der Retorte
- Katalytische Wirkung der Retorteninnenwand auf den Ammoniakzerfall
- Bei senkrechter Anordnung der Retorte keine Möglichkeit zur Integration in einen automatisierten Prozessablauf“



Bild eines Einkammerretortenofens der Firma IVA in der Härtetechnik Chemnitz GmbH

Ausgekleidete Öfen

Diese Bauart von Öfen erkennt man an der gasdichten Ausführung der Stahlkonstruktion und eine isolierende, anorganische und hitzebeständige Innenauskleidung mit nichtmetallischen Werkstoffen.

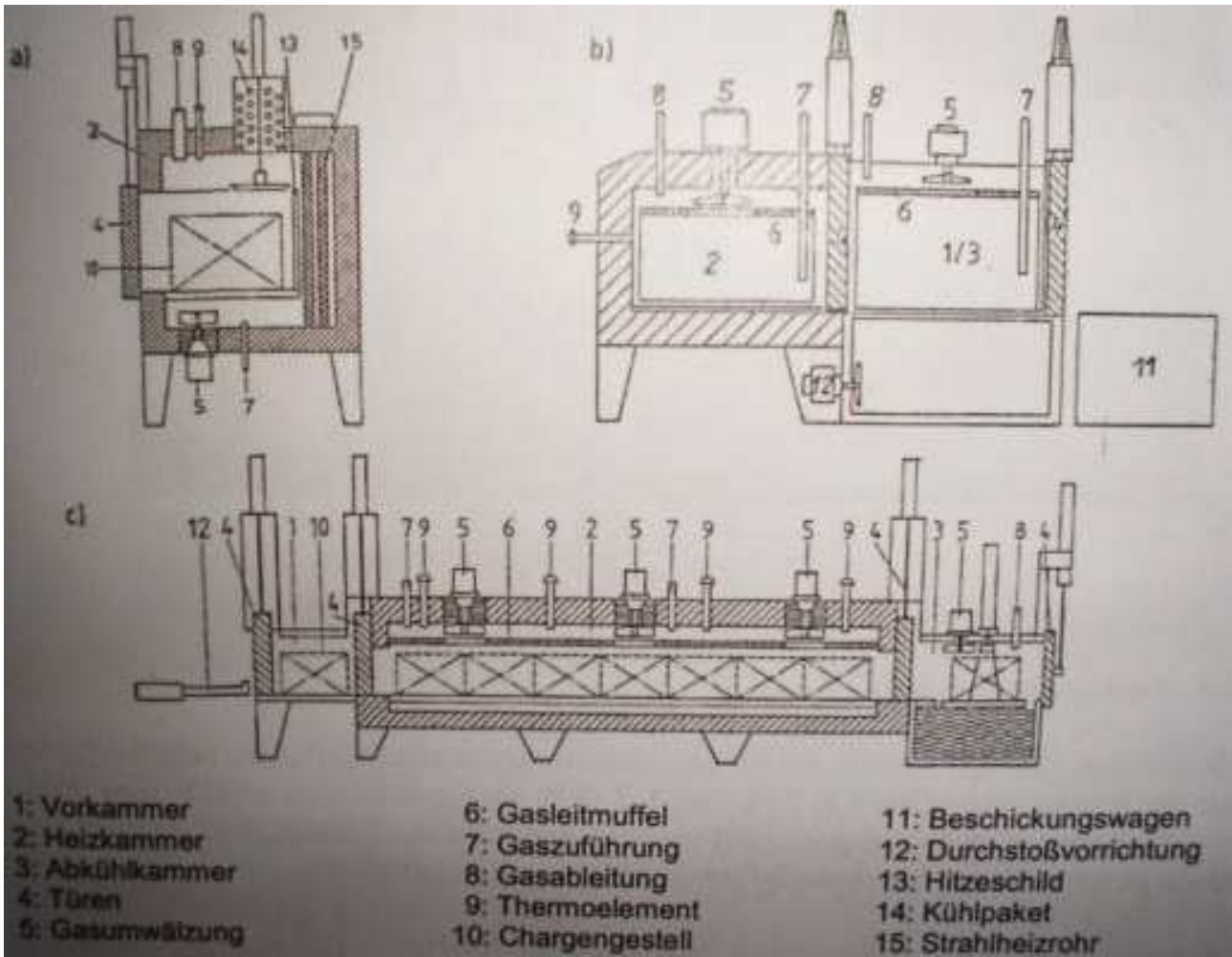
[5],, Vorteile:

- Lange Lebensdauer der Auskleidung
- Geringe katalytische Wirkung der Auskleidung auf den Ammoniakzerfall
- Einfache Erweiterung der verfahrenstechnischen Möglichkeiten durch die Anordnung von vor- und nachgeschalteten Kammern
- Günstige Voraussetzungen für eine Integration in einen automatisierten Produktionsablauf

Nachteile:

- Gasdichte Ofenkonstruktion
- Gasspeicherung in der Auskleidung und damit längere Zeiten zur Konditionierung“

Die ausgekleideten Öfen haben meist eine Kühleinrichtung zur Abkühlung der Werkstoffe. Dies ist eine gesonderte Kammer, welche separat betrieben werden kann. Man verwendet dabei Öle oder Emulsionen um die Werkstücke herunter zu kühlen. Dies geschieht nach dem Nitrieren, wobei die Besonderheit besteht, dass während eine Charge abgekühlt wird, bereits eine neue in der Nitrierkammer behandelt werden kann.



(a) Einkammer-, (b) Mehrkammer- und (c) Durchstoßofen zum Nitrieren/Nitrocarburieren

6.3.3 Anlagensicherheit

Die zu beachtenden Sicherheitsmaßnahmen zu Nitrier-/Nitrocarburieranlagen sind in der DIN EN 746 Teil1-3 verankert. Abgesehen davon gibt es noch Herstellerempfehlungen und Richtlinien: „[6]

- das sichere und umweltgerechte Betreiben der Anlage
- die Warn- und Sicherheitseinrichtungen an der Anlage für Störfälle
- die Schulung des Bedienungspersonals und sein Verhalten in Störfällen (Antihavarietraining)“

6.4 Prozessgestaltung

Die Prozessgestaltung dient als Vorüberlegung über die Durchführung, um die erforderlichen Ergebnisse beim Nitrieren/Nitrocarburieren zu erhalten. Hierzu werden nachstehend Hinweise und Vermerke gegeben, um einen reibungslosen Prozess zu garantieren und die technischen Anforderungen an das Werkstück zu erreichen. Man zieht dabei auch Simulationen zu rate, wobei ausreichende Tests, wie im Kapitel 9 „Nitrierofentest“ beschrieben, als Grundlage dienen.

6. 4. 1 Zeit-Temperatur-Folge

Die Zeit-Temperatur-Folge ist eine diagrammhafte Darstellung des Prozesses. Dabei kann man herauslesen, wie lange der Ofen aufgewärmt wird, eine bestimmte Temperatur gehalten wird und auch die Dauer der Abkühlung.

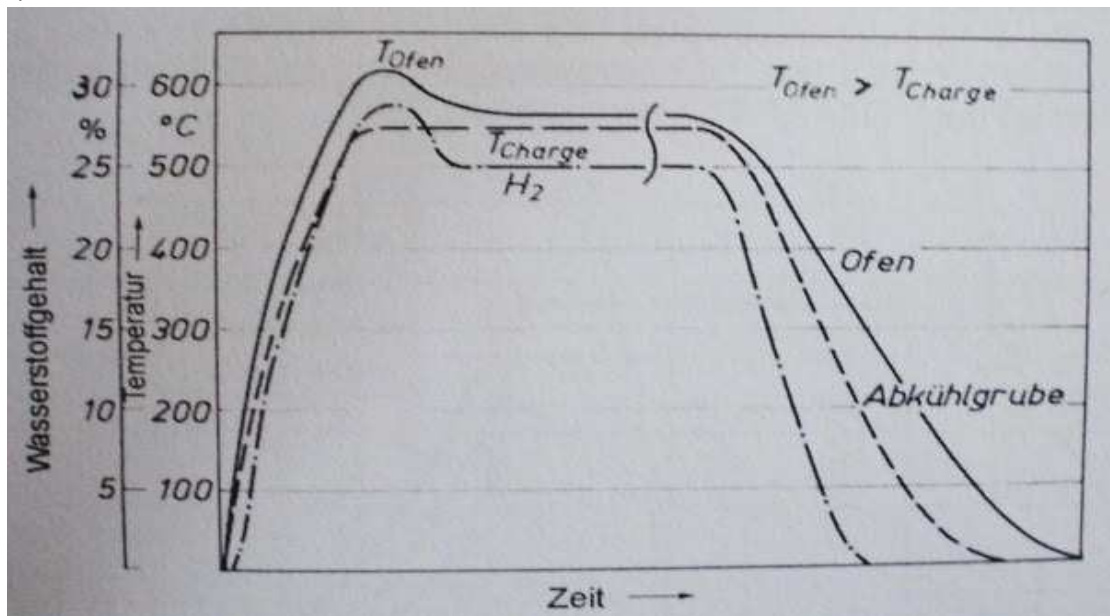
Bei der Erwärmungsgeschwindigkeit gibt es meist keinerlei Vorgaben. Sie hängt lediglich von der Chargenmasse ab und wird von der Anlagentechnik (Gasumwälzung, Anordnung der Heizelemente, etc.) bestimmt. Wesentliche Unterschiede tauchen nur in der betriebsweise der Anlage auf, wie z. B. Zwischen diskontinuierlichen, halbkontinuierlichen und kontinuierlichen Öfen. (Zur Betriebsweise: Kapitel 6.2.2 Anlagen)

Bei dickwandigen Werkstücken gibt es problematische Temperaturdifferenzen beim Erwärmen, als auch beim Abkühlen, zwischen Rand und Kern. Das Selbe gilt für Chargenpackungen bei Außenbereichen und der Chargenmitte. Um thermische Spannungen zu vermeiden, empfiehlt sich eine stufenweise Erwärmung/Abkühlung. Dabei wird die Temperatur zeitweise auf ein Niveau gehalten bis sich das gesamte Werkstück/Charge auf diese Temperatur erwärmt/abgekühlt hat.

Ein weiteres Problem das auftreten kann das große Schwanken der Temperatur. Dies kann dazu führen, das bestimmte Werkstücke die geforderten technischen Werte nicht erfüllen. Daher ist eine Temperaturschwankung von nicht mehr als 5 °C zu empfehlen.

Nach dem eigentlichen Nitrieren wird in der Regel langsam abgekühlt. Entweder in nachgeschalteten Abkühlkammern oder im Behandlungsraum unter Gas. Wobei die Kühlkammern den Vorteil bieten, dass bereits wieder nitriert werden kann, während eine andere Charge abgekühlt wird. Dies erhöht die mögliche Auslastung des Ofens. Man kann allerdings auch die Effizienz erhöhen indem ein extern angeordneter Kühler für das Ofengas installiert wird. Dies verkürzt die Chargendauer ebenfalls.

Zuletzt sollte noch die Besonderheit beachtet werden, dass unlegierte Stähle, bei denen eine hohe Dauerschwingfestigkeit beibehalten werden soll, in Öl oder in Emulsion abgeschreckt werden müssen.



Schematische Darstellung des Zeit-Temperatur- und Atmosphärenzyklus eines Kammerretortenofens

6. 4. 2 Die Amtosphärenführung

Eine Atmosphärenführung ist notwendig, da die verwendeten Gase beim Nitrieren brennbar und explosiv sind. Es dürfen daher keine explosiven Gasgemische entstehen, wie beispielsweise beim wechselseitigen Austausch mit Luft. Um das zu verhindern, muss der Behandlungsraum mit Stickstoff gespült werden. Dieser Vorgang muss abgestimmt auf die Dichte der auszutauschenden Gase beim ein- und ableiten sein. Die Änderung des Sauerstoffgehaltes in Abhängigkeit von der Spüldauer und der Spülmenge kann wie folgt berechnet werden:

$$V_{O_2} = 21 \cdot e^{-\frac{V_{sG}}{V_{sR}} \cdot t}$$

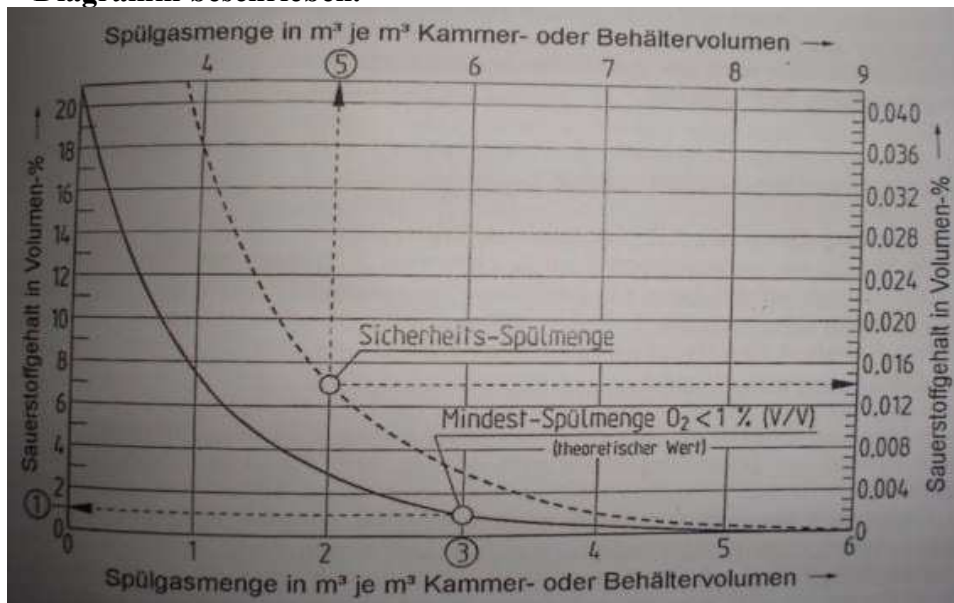
V_{O_2} ... Masseanteil Sauerstoff in %

V_{sG} ... zugeführte Spülgasmenge in m^3/h

V_{sR} ... Volumen des Spülraumes in m^3

t ... Zeit in h

Beachte: Beim Einleiten des Spülgases beträgt die Temperatur meist 20°C und steigt im Ofenraum an, wodurch sich das Volumen erhöht. Das hat zur Folge, dass sich die erforderliche Spülgasmenge reduziert. Der Umfang ist im nachfolgenden Diagramm beschrieben.



Sauerstoffkonzentration in Abhängigkeit vom Spülgasvolumen

Grenzwerte bis denen das Spülen durchzuführen ist:

- für den Sauerstoffgehalt: $< 1 \text{ Vol-\%}$
- für brennbare Gase: $< 5 \text{ Vol-\%}$

Beim Voroxidieren kann in Retortenöfen ebenfalls ein Teil der Spülgasmenge gespart werden. Hierzu wird die Charge zunächst ohne Gaszufuhr im geschlossenen Ofen erwärmt. Einerseits hat das zur Folge dass die absolute Sauerstoffmenge durch die Ausdehnung der Ofenatmosphäre sinkt und andererseits wird Sauerstoff bei Temperaturen von 250 bis 450°C durch Oxidation zur Werkstückoberfläche abgebunden.

Bei gasdichten Retortenöfen kann bei einem schnellen Gaswechsel ein Evakuieren erfolgen. Dies geht schneller als das Spülen, wobei der Behandlungsraum auf einen Druck von weniger als 50 mbar evakuiert werden, was in der Praxis ziemlich schnell erreicht ist, um den Grenzwert von weniger als 1 Vol-\% Sauerstoff einzustellen. Ein beschleunigender Effekt tritt dann auch beim

Aufbau der Ofenatmosphäre auf. Das Evakuieren kann außerdem auch am Prozessende erfolgen, um die Reste des ammoniakhaltigen Gases aus dem Ofen zu entfernen.

Hat man brennbare Gase, wie beispielsweise Endogas zur Verfügung, kann man diese ebenfalls zum Ausbrennen einsetzen. Hierzu wird beim Öffnen des Ofenraumes per Zündbrenner gezielt ausgebrannt. Diese Praktik kann auch an Schachtofen eingesetzt werden. Dabei müssen lediglich beim Anheben des Retortendeckels die Zündquellen aktiv sein.

Beim Spülen von Öfen ohne Retorte mit poröser Auskleidung muss besonders intensiv bei einem Wechsel begast werden. Da sich in der Wandauskleidung weitere Restgase befinden, sollte in ausreichend langer Zeit mit ausreichender Gasmenge gespült werden. Sollte dieser Vorgang zu kurz oder zu wenig durchgeführt werden, so hat dies negative Auswirkungen. Daher sollte man ein wenig mehr Zeit beim Spülen ansetzen.

Ein weiterer wichtiger Faktor ist die Nitrierkennzahl K_N . Sie sollte unbedingt geregelt werden, um eine ausreichende Nitrierwirkung zu erreichen. Wird dies nicht durchgeführt, so ist ein weit deutlicher Gasaustausch notwendig.

Ebenfalls sollte sie niedrig gehalten werden bei der Aufrechterhaltung eines ausreichenden Gasdurchsatzes. Dafür hat sich ein Gasgemisch aus Stickstoff und Wasserstoff, hergestellt durch einen Ammoniakspalter, bewährt. Dies einzusetzen wird besonders empfohlen, wenn die Begasungsrate nicht beliebig gesenkt werden kann, da sonst der Gasdruck zu niedrig wäre. Beim **Nitrocarburieren** ist darauf zu achten, dass beim Einleiten der Prozessgase die Zuführung von Ammoniak und der Kohlenstoffgase getrennt erfolgt, denn ansonsten wird durch Kohlendioxid die Bildung und Abscheidung von Ammoniumhydrogencarbonat hervorgerufen.

Ebenfalls wichtig für das Nitrieren/Nitrocarburieren, abgesehen von der Begasungsrate, ist das effektive Umwälzen der Ofenatmosphäre. Der Gasstrom sollte möglichst sinnvoll durch die gesamte Ofencharge geführt werden. Dies kann nur erreicht werden, indem man die Zuführung der Behandlungsgase und ihres Auslasses richtig anordnet.

Das **Abkühlen** der Werkstücke kann bis ungefähr 200°C in der Behandlungsatmosphäre der benutzten Gase oder in Stickstoff durchgeführt werden. Weitere Maßnahmen zur Verringerung der Temperatur werden dann im Stickstoff ausgeführt. Damit werden auch die brennbaren Behandlungsgase ausgespült. Während dieses Vorgangs darf keine Luft in den Abkühlraum gelangen, denn sonst hat das eine Verfärbung der Oberfläche durch Oxidation zur Folge. Diese Oxidation hat jedoch keinerlei Auswirkungen auf die erzeugten Eigenschaften des Werkstücks.

6. 5 Prozessüberwachung

In der DIN EN ISO 9000 ff werden hohe Qualitätsanforderungen an wärmebehandelte Werkstücke gestellt. Um diesen Anforderungen überhaupt gerecht zu werden, muss eine intensive Überwachung des Nitrier-/Nitrocarburierprozesses erfolgen. Hierzu verwendet man verschiedene Mess- und Regelverfahren, die bestimmte Vor- und Nachteile aufweisen.

6. 5. 1 Beispiele verschiedener nutzbarer Messverfahren

Indirekte Messmethoden:

Diese Messmethoden werden außerhalb des Ofenraumes im Abgas durchgeführt. Allerdings sind damit auch Probleme verbunden, wie beispielsweise ist die Messung von kohlenstoffhaltigen Gasen nicht möglich oder die kristalline Ausscheidung von Ammoniumhydrogencarbonat, welche die Messung beeinträchtigen und sind somit beim Nitrocarburieren ungeeignet.

Beim Nitrieren ist es wichtig den Restammoniakgehalt und auch den Restwasserstoffgehalt zu messen, um die Nitrierkennzahl zu bestimmen. Hierfür ist die einfachste Variante die Messung mit der Bürette. Diese besteht aus einer mit Ofengas gefüllten Messbürette, in die Wasser geleitet wird. Da sich Ammoniak im Wasser gut löst, entspricht der in Messstellung abzulesende Wasseranteil dem Ammoniakvolumen im Nitriergas. Die Messung ist jedoch nur diskontinuierlich möglich.

Ein weiteres Messverfahren besteht daraus, die im geschlossenen Ofen auftretende Zersetzung von Ammoniak zu messen. Dies erfolgt über einen Druckanstieg. Darüber kann man ebenfalls die Nitrierwirkung der Atmosphäre einschätzen und er gibt eine Aussage über die Reproduzierbarkeit des Prozesses.

Für eine kontinuierliche Messung des Ammoniakgehalts in der Ofenatmosphäre eignet sich die Infrarot-Absorptions-Analyse. Sie hat jedoch einen hohen Wartungs- und Kalibrierungsaufwand.

Ebenfalls für eine kontinuierliche Messung eignet sich die Messung des Wasserstoffanteils im Abgas. Dies wird durch die Änderung der Wärmeleitfähigkeit bewerkstelligt. Durchführbar ist dies nur, weil Ammoniak und Stickstoff eine fast gleiche Wärmeleitfähigkeit besitzen.

Direkte Messmethoden:

Da Probleme bei den indirekten Messmethoden auftauchten und sie für das Nitrocarburieren ungeeignet waren, entwickelte man direkte Alternativen. Eine dieser Alternativen wird mit einem ZrO_2 -Festelektrolyten durchgeführt, der innerhalb des Ofens angebracht ist.

Eine weitere direkte Messmethode wird mit einem „HydroNit-Sensor“ durchgeführt. Dieser spezielle Sensor misst den Wasserstoffgehalt im Ofenraum. Dieses Verfahren funktioniert über eine Evakuierung des wasserstoffdurchlässigen Messrohrs, wodurch ein Druckausgleich für den Wasserstoffpartialdruck erfolgt. Dieser kann dann mit einem Druckaufnehmer gemessen werden und entspricht unter Berücksichtigung des Drucks im Ofenraum der Volumenkonzentration des Wasserstoffs. Mit diesem Kennwert kann die Zusammensetzung der Atmosphäre berechnet werden.

Zur Messkontrolle eignet sich noch ein weiteres Verfahren. Dies wird allerdings nicht gasanalytisch durchgeführt, sondern beruht auf der Messung der Änderung der magnetischen Eigenschaften der sich bildenden Nitrierschicht. Da die Geschwindigkeit der Schichtbildung, kontrolliert über Kalibrierkurven, zum kennzeichnenden Kriterium wird, ist die Messanordnung als KINIT-Sensor bekannt.

6. 5. 2 Prozessregelung

Die Prozessregelung ist notwendig zum Erfassen und reproduzierbaren Einstellen der Zusammensetzung des Reaktionsgases im Ofenraum. Dies dient als ein weiterer wichtiger Parameter, abgesehen von Temperatur und Zeit, zum Erreichen eines bestimmten Aufbaus der Nitrierschicht. Dadurch werden Unterschiede in der Art und Menge der Begasung, der Zersetzung des Ammoniaks sowie die Beschaffenheit der Charge (z. B. Oberfläche, Gewicht usw.) erfasst und ausgeglichen. Die Prozessregelung ist ein Zusammenspiel von Messtechnik, welche die Kennzahlen K_N , K_C und K_O erfasst, und Regelungstechnik, die diese Werte wieder normalisiert, bzw. konstant hält.

Beim Nitrieren ist die Prozessregelung nicht sonderlich aufwendig. Sie kann sogar manuell durchgeführt werden. Man misst den Wasserstoff- oder Ammoniakgehalt und dosiert dann nach. Bei einer Automatisierung wird dies ebenfalls gemessen, allerdings erfolgt die Berechnung der

Nitrierkennzahl K_N nach Gleichung (3). Ist der Wert zu gering, dann wird die Ammoniakgasmenge erhöht. Ist er zu hoch, wird Spaltgas nachdosiert.

Beim Nitrocarburieren ist die Prozessregelung schwieriger. Durch das anwenden von Kohlenstoff und Kohlenstoff spendender Gase, ist es schwerer das Wassergasgleichgewicht in der Ofenatmosphäre zu berücksichtigen, wenn man die Kennzahlen K_N , K_C , K_O ermittelt. Es müssen dazu folgende Parameter bekannt sein: die zeitlichen Volumenströme, die Temperatur, die Volumenanteile einer Gaskomponente oder die Zellspannung einer Sauerstoffsonde, die Einstellung des homogenen Wassergasgleichgewichts bei der Behandlungstemperatur.

Es empfiehlt sich zum langzeitigen Nitrieren oder Nitrocarburieren eine zentrale Prozesseinheit, welche die Aufgaben Messwerte erfassen, Rechnen, Programmieren und Regeln durchführen bzw. an ihr durchgeführt werden kann.

6. 6 Vor- und Nachteile des Gasnitrierens/-nitrocarburierens [7]

„Vorteile:

- Verfahrenstechnische Vielfalt zur Erzeugung eines beanspruchungsgerechten Nitrierschichtaufbaus (Struktur und Dicke von VS sowie Nht)
- Qualitätssicherung im Sinne der Erfüllung von Vorgaben für den Schichtaufbau durch einen prozessüberachten Verfahrensablauf
- Gestaltungsmöglichkeiten für spezielle Verfahrensabläufe (beispielsweise das Oxi-Nitrocarburieren zur Behandlung passivierter Oberflächen)
- Integration von Prozessabschnitten (Vor- und Nachbehandlung) in den Verfahrensablauf (z. B. Voroxidation, Nachoxidation)
- Anlagentechnische Breite zur Behandlung von Bauteilen und Werkzeugen mit unterschiedlichster Geometrie und Masse (Großteile/Kleinteile)
- Wahlweise Beheizung der Öfen mit Gas oder Elektroenergie
- Integrationsfähigkeit der Anlagen mit vorzugsweise horizontaler Chargierweise in automatisierte Behandlungslinien
- Anpassung der Begasungsart an die vor Ort gegebenen Voraussetzungen für die Medienbereitstellung (Generator, Endexoretorte, synthetische Gasmischungen, Stickstofftank)
- Umweltgerechte Medienentsorgung mit thermischer Nachverbrennung
- Nutzung einer Vielzahl von Möglichkeiten für einen an die Bauteilform angepassten Chargenaufbau des Nitrierguts
- Vorteil zur Behandlung von Schüttgut
- Lokales Nitrieren/Nitrocarburieren durch das teilweise Aufbringen von Abdeckmitteln
- Nur geringfügige Erhöhung der Oberflächenrauheit

Nachteile:

- Erforderlicher Medienverbrauch (min. zweifacher Gasdurchsatz)
- Durch die Verwendung von brennbaren Gasen sind die erforderlichen Maßnahmen für einen sicheren Ofenbetrieb einzuhalten
- Bereitstellung von gut gereinigten Teilen
- Beachtung von Passivitätserscheinungen an der Teileoberfläche infolge der Art der mechanischen Bearbeitung
- Vermeidung der Austritts von Ammoniak aus Sicherheits- und Gesundheitsgründen“

7. Nachbehandlung

7.1 Allgemeines

Nachbehandlungen können durchaus angebracht sein, um nachträglich die Eigenschaften des Werkstücks anzupassen oder um einen Qualitätsstandard zu erfüllen. Außerdem kann eine dekorative Anforderung bestehen. In diesem Kapitel wird nur auf relevante Verfahren eingegangen. Reinigen ist beispielsweise beim Gasnitrieren/-nitrocarburieren nicht notwendig. Ebenfalls ist es kaum notwendig anschließend spanend zu bearbeiten, da sich die Oberflächenrauheit unwesentlich verändert.

7.2 Auslagern

Bei unlegierten Stählen kann durch diese Nachbehandlung die Zähigkeit erhöht werden. Allerdings muss dazu nach dem Nitrocarburieren schnell abgeschreckt worden sein. Dies ist bei einer Abkühlung im Wasser der Fall. Zum Durchführen werden Temperaturen von 120 bis 300 °C empfohlen, die maximal eine Stunde gehalten wird. Dabei lagert sich zwangsgelöster Stickstoff aus dem Ferrit aus.

7.3 Nachoxidieren

Durch das Nachoxidieren kann man den Korrosionswiderstand noch weiter erhöhen. Dabei behandelt man die Werkstücke in Wasserdampf, Luft oder oxidativen Salzschnmelzen bei Temperaturen von 350 bis 550°C. Dabei werden die Poren der Verbindungsschicht mit Oxid gefüllt. Es wird allerdings eine Schichtdicke von maximal 1 µm angestrebt. Sollte sie größer sein, kann es vorkommen, dass mangels Haftung die Schicht abbricht. Außerdem zieht das Verfahren eine schwarze, dekorative Färbung nach sich.

7.4 Diffusionsbehandeln

Hochlegierte Stähle weisen nach dem Nitrieren/Nitrocarburieren eine hohe Oberflächen- und Randhärte auf, das allerdings eine spröde Nebenwirkung hat. Bei der Diffusionsbehandlung senkt man diese Härte, allerdings auch die Sprödigkeit, indem das Stickstoffprofil verändert wird. Gleichzeitig erhöht sich die Zähigkeit. Die notwendige Temperatur sollte mindestens der Nitrier-/Nitrocarburieretemperatur entsprechen oder am besten etwas höher sein. Die Haltedauer wiederum richtet sich nach der Härteverlaufskurve. Allerdings sollte beachtet werden, dass bei diesem Verfahren, je nach Temperatur und Haltedauer, der Aufbau der Verbindungsschicht beeinflusst wird, was Auswirkungen auf das Verschleißverhalten hat.

7.5 Richten oder Kalibrieren

In wenigen Fällen kann es sein, dass sich Achsen oder Wellen beim Nitrieren/Nitrocarburieren verzogen haben. Um sie wieder zu Richten kann man bei unlegierten Stählen diese wieder gerade biegen. Ebenfalls ist es möglich ein behutsames Glattwalzen oder Bördeln anzuwenden. Ein Vorteil ist dabei, wenn rasch abgekühlt und anschließend Ausgelagert wurde. Bei legierten Werkstoffen ist dies aber nicht möglich, da die hohe Härte in der Diffusions- und Verbindungsschicht auch mit hoher Wahrscheinlichkeit zu Anrissen führt.

7.6 Korrosionsschutz

Dies muss nur durchgeführt werden bei örtlich begrenztem Nitrieren/Nitrocarburieren. Da gewisse Teile nicht geschützt sind und beim Prozess durch ein Isoliermittel oder eine galvanische Schicht abgeschirmt wurden, ist es notwendig nach dem Entfernen dieses Schutzes ein temporäres Korrosionsmittel gegen Rosten aufzubringen.

8. Prüfen von nitrierten Werkstücken

8.1 Allgemeines

Um einen gleichbleibenden Qualitätsstandard zu sichern, prüft man Proben die den Chargen beigelegt wurden oder bestimmte Bauteile einer Charge. Außerdem werden mit den ermittelten Messwerten auch Zusammenhänge zwischen Randschichten und technologischen Eigenschaften. Daraus lässt sich auch eine Datenbank entwickeln, um verschiedene Programme zu entwickeln, welche zum Abfahren des Ofens verwendet werden, wie im Abschnitt 9 Nitrierofentest beschrieben.

Man setzt dabei verschiedene Kontrollmöglichkeiten ein und unterteilt diese in: [8],

- visuelle Kontrolle
 - Sichtkontrolle
 - Tüpfelprobe
- metallographische Methoden
 - **Härtemessung**
 - **Quer-, Längsschliff (LiMi, REM)**
- physikalisch chemische Methoden
 - Elementverlauf/-verteilung (GDOS, EDX, Mikrosonde, ESCA)
 - Phasen und Eigenspannungen (XRD)
- technologische Methoden
 - Korrosionsprüfung
 - Verschleißprüfung
 - Festigkeitsprüfung
 - Zähigkeitsprüfung

- zerstörungsfreie Prüfung
 - elektromagnetische Methoden
 - röntgenographische Methoden
 - weitere Verfahren“

Allerdings werden bei der Härtetechnik Chemnitz nur die dick hervorgehobenen Methoden genutzt, um die Nitrierhärte (Nht), die Oberflächenhärte (OFH) und die Schichtdicke zu messen. Auf diese Verfahren wird nun näher eingegangen.

8.2 Härtemessung

Als Härte versteht man den Widerstand eines Stoffes gegen das Eindringen eines härteren Körpers. Um eine Messung durchzuführen gibt es verschiedene Verfahren:

- Härtemessung nach Vickers (DIN EN ISO 6507)
- Härtemessung nach Rockwell (DIN EN ISO 6508)
- Härtemessung nach Knoop (ISO 4545, DIN ISO 4516)
- Martensithärtemessung (EN ISO 14577-1)



Verwendetes HV-Messgerät zur Ermittlung der Oberflächenhärte

8.2.1 Oberflächenhärte (OFH)

Die Messung der Oberflächenhärte ist eine einfache und schnelle Prüfmethode um die Qualität des bearbeiteten Werkstückes zu prüfen. Der Prüfling wird allerdings immer zerstört. Es wird dabei verglichen, ob der geforderte Härtewert erreicht wird. Dabei wird immer ein Prüfkörper (meist aus Diamant) in die Probe eingelassen und die Eindringtiefe über die Breite bzw. die Durchschnittsbreite des hinterlassenen Eindrucks ermittelt. Anschließend kann man diesen Eindruck entweder mit entsprechenden Faktoren umrechnen in eine Härteangabe oder man liest ihn aus Tabellen ab. Manche computergestützten Maschinen geben auch direkt den Härtewert an.

Meist wird nach Vickers gemessen. Um den Nitrierhärte auszuwerten, wurde ebenfalls dieses Verfahren angewendet. Dabei wurde zunächst die Oberfläche nur leicht gesäubert, evtl. auch minimal angeschliffen, um einen Kontrast der Oberfläche zur Messung zu erhalten, und anschließend 3 Eindrücke in ausreichendem Abstand gesetzt. Aus den 3 Eindrücken wurden 3 Messwerte ermittelt und daraus wiederum ein Mittelwert der in einer Tabelle zu einer Härteangabe genutzt wurde.

Beachte: Das Anschleifen sollte nur minimal sein, um die Schicht nicht zu entfernen. Außerdem sollten dabei möglichst keine thermische Einwirkung oder Eigenspannungen entstehen, da diese die Messwerte verfälschen können. Des Weiteren sollte die Oberfläche sauber sein, damit die Prüfkörper nicht auf Fremdmaterial (Schmutz) einwirkt.

8. 2. 2 Nitrierhärte tiefe (Nht)

Unter der Nitrierhärte tiefe versteht man den senkrechten Abstand von der Oberfläche eines nitrierten Werkstückes bis zu dem Punkt, an dem die Härte einem zweckentsprechenden Grenzwert entspricht. Dieser Grenzwert wird Grenzhärte genannt. Sie soll im Regelfall als Vickershärte HV 0,5 nach DIN EN ISO 6508 festgelegt werden und 50 HV über die Ist-Kernhärte liegen. Dabei wird immer auf 10 HV gerundet.

Zum Ermitteln der Kernhärte werden in einem Schliff des Kerns mindestens 3 Härteeindrücke gemacht, aus denen dann ein Mittelwert berechnet wird. Dieser Wert gilt dann als Kernhärte. Die Härteeindrücke müssen allerdings mindestens den dreifachen Abstand der Nitrierhärte tiefe vom Rand in HV 0,5 aufweisen.

Nachdem die Voraussetzungen zum Messen der Nitrierhärte gegeben sind, kann nun an einem polierten Querschliff eines nitrierten Werkstücks senkrecht zur Oberfläche in HV 0,5 gemessen werden. Die unterschiedlichen Abstände sind in der DIN 50190-3 beschrieben. Zwischen Mitte eines jeden Härteeindrucks und dem Rand des nächsten Eindrucks muss ein Abstand von mindestens 2,5 mal der mittleren Länge der beiden Eindruckdiagonalen eingehalten werden. Dieser Abstand wird auch zum Rand empfohlen.

Bei der Härte technik Chemnitz wird mit dem Messgerät KL-4 gemessen. Dabei wird im Computer die Anzahl der Eindrücke sowie die Grenzhärte eingegeben. Anschließend wird der äußerste Rand eingestellt, dann beginnt die Maschine automatisch. Nach diesem Prozess müssen am Computer die Ränder der Eindrücke ausgewählt werden. Das Programm ermittelt daraufhin den Abstand und einen Mittelwert, der als Nitrierhärte tiefe dient.



Messung der Nitrierhärte tiefe am Computer über das Messgerät KL-4

8.3 Metallographisches Messen

Bei der Härtetechnik Chemnitz wird das metallographische Messen für die Schichtdicke genutzt. Außerdem wird das Gefüge kontrolliert und dabei entschieden, ob der Prozess positiv oder negativ Einfluss auf das Werkstück genommen wird. Abgesehen vom Messen kann man damit auch den Anlieferungszustand feststellen. Dies wird empfohlen, um den Nitrier-/Nitrocarburierprozess besser auf den Werkstoff abzustimmen.



Auflichtmikroskop Neophot 32 der Härtetechnik Chemnitz GmbH

Probenpräparation

Die Proben/Werkstücke werden getrennt. Dabei sollte ein Längs- und Querschliff an der zu untersuchenden Stelle entstehen. Anschließend folgt das Entgraten und Einzwängen in Schraubzwingen oder das Einbetten. Erst dann wird das übliche Schleifen mit der Körnung von 220, 320, 600, 1200 durchgeführt. Dabei wird mit der größten Körnung begonnen. Danach wird poliert und als letzter Schritt eine Ätzung mit 5% Salpetersäure unternommen.

Schichtdickenmessung

Bei der Messung verwendet man eine ausreichende Vergrößerung, welche sich nach der Breite der Nitrierung richtet. Die Schichtdicke setzt sich aus der Dicke der Verbindungsschicht und der Diffusionsschicht zusammen, wobei die Verbindungsschicht äußerst dünn ist. Um die komplette Nitrierschichtdicke auszumessen, wählt man in der Software Messung und richtet die Messstrecke senkrecht und beginnend vom Rand aus bis zu einem Punkt an dem die Schicht deutlich endet. Diese Messung ist mindestens 3 mal durchzuführen und daraus der Mittelwert zu bestimmen, was dann als Schichtdicke angegeben werden kann.

9. Nitrierofentest

9.1 Allgemeines

Der Test besteht darin zylindrische Proben aus 12 verschiedenen Werkstoffen mit der Länge und Durchmesser von 3cm zu nitrieren und anschließend auszumessen. Dabei werden die Parameter Temperatur und Nitrierzeit verändert, um daraus Rückschlüsse ziehen zu können zur Bestimmung dessen Einflusses.

Zunächst wurde der Anlieferungszustand metallografisch überprüft. Es wurde von jedem Werkstoff eine Probe getrennt, geschliffen, poliert und geätzt, um sie unter einem Auflichtmikroskop zu prüfen. Dies diente der Feststellung ob die Werkstoffe bereits vorbehandelt waren, jedoch war dies nicht der Fall. Als nächstes mussten die Proben beschlagen werden, um sie zu kennzeichnen und sie weiter, nach jeder Wärmebehandlung, zuordnen zu können.

Um auch den Einfluss einer vorherigen Wärmebehandlung vor dem Nitrieren mit einzubeziehen, wurde die Hälfte aller Proben jedes Werkstoffes vergütet. Auch dieses Verfahren wurde ausgewertet indem man die Oberflächenhärte prüfte und eine Gefügaufnahme machte. Dies ist zum Vergleich zwischen den Zuständen nicht nitriert und nitriert. Aufgrund der chemischen Zusammensetzung (z. B. zu niedriger Kohlenstoffgehalt) hat diese Wärmebehandlung bei manchen Werkstoffen, z. B. C15, keinen oder einen sehr geringen Einfluss, denn aus Zeitgründen konnten beim Vergüten nur alle Proben zusammen behandelt werden und die Parameter nicht den Werkstoffen angepasst werden. Vergütet wurde bei 800°C.

Die Messwerte werden in einer Datenbank aller Chargen zusammengefasst und sollen als Grundlage für ein Simulationsprogramm dienen. Für gute Simulationen ist es wichtig möglichst praxisnahe Grundwerte zu haben, um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten. Die Simulation mancher vergüteter Proben ist daher mit Vorsicht zu genießen. Allerdings soll das fertige Programm zeigen, ob mit dem Nitrierofen die gewünschten Parameter erreicht werden oder ob sie verändert werden müssen, um die Anforderungen des Auftraggebers zu erfüllen bzw. welche Parameter notwendig wären.

9.2 Messwerte

Die Messwerte wurden tabellarisch nach Chargen erfasst. Dabei wurde die Nitrierhärte (Nht), die Verbindungsschichtdicke und die Oberflächenhärte (OFH) gemessen. Man verwendete zur Härtemessung stets das Vickersverfahren. Für die Oberflächenhärte wurde mit HV 30 gemessen und für die Nitrierhärte mit HV1.

Für ein Simulationsprogramm mussten die Tabellen umgewandelt bzw. zusammengefasst werden zu Werkstofftabellen. Sie zeigen die Messwerte zugehörig eines Werkstoffes in Abhängigkeit der einzelnen Chargenparameter. Auf den nachfolgenden Seiten sind die Ergebnisse dieser Arbeit, geordnet nach Probennummern, zu sehen.

9.2.1 Ausgangswerte

Härte im Anlieferungszustand:

Probennr.	Werkstoff	Oberflächenhärte (HV 30)
1	100Cr6	174
19	18CrNiMo7-6	202
37	30CrNiMo8	213
55	42CrMo4	205
73	34CrNiMo6	155
91	9SMnPb28	228
109	20MnCr5	225
127	C15	197
145	C45	188
163	St52-3	208
181	16MnCr5	359
199	31CrMoV9	203

Härte im vergüteten Zustand:

Probennr.	Werkstoff	Oberflächenhärte (HV 30)
10	100Cr6	506
28	18CrNiMo7-6	436
46	30CrNiMo8	443
65	42CrMo4	448
82	34CrNiMo6	449
100	9SMnPb28	191
119	20MnCr5	386
136	C15	208
153	C45	282
173	St52-3	299
190	16MnCr5	329
208	31CrMoV9	509

9.2.2 Messwerte nach dem Nitrieren

100Cr6:

Probennr.	Nitrierzeit in h	Nitriertemperatur	OFH [HV 30]	Nitriertiefe [mm]	Verbindungsschichtdicke [µm]
1	12	510	664	0,16	4-6
2	12	540	236	0,2	4-6
3	12	570	268	0,55	12-14
4	23	510	256	0,45	6-8
5	23	540	259	0,75	6-8
6	23	570	465	0,37	20-22
7	50	510	252	0,74	12-14
8	50	540	266	0,95	16-18
9	50	570	282	1,27	16-18

100Cr6 vergütet:

Probennr.	Nitrierzeit in h	Nitriertemperatur	OFH [HV 30]	Nitriertiefe [mm]	Verbindungsschichtdicke [µm]
10	12	510	664	0,16	4-6
11	12	540	565	0,29	4-6
12	12	570	533	0,37	12-14
13	23	510	662	0,38	6-8
14	23	540	580	0,38	6-8
15	23	570	502	0,46	20-22
16	50	510	646	0,35	12-14
17	50	540	567	0,51	16-18
18	50	570	451	0,47	16-18

18CrNiMo7-6:

Probennr.	Nitrierzeit in h	Nitriertemperatur	OFH [HV 30]	Nitriertiefe [mm]	Verbindungsschichtdicke [µm]
19	12	510	575	0,3	6-8
20	12	540	631	0,39	4-6
21	12	570	628	0,51	10-12
22	23	510	702	0,44	4-6
23	23	540	676	0,53	6-8
24	23	570	593	0,62	8-10
25	50	510	746	0,63	6-8
26	50	540	718	0,71	6-8
27	50	570	591	0,81	10-12

18CrNiMo7-8 vergütet:

Probennr.	Nitrierzeit in h	Nitriertemperatur	OFH [HV 30]	Nitriertiefe [mm]	Verbindungsschichtdicke [µm]
28	12	510	732	0,29	4-6
29	12	540	600	0,28	4-6
30	12	570	580	0,39	10-12
31	23	510	754	0,43	4-6
32	23	540	529	0,41	6-8
33	23	570	606	0,59	8-10
34	50	510	715	0,39	6-8
35	50	540	715	0,63	6-8
36	50	570	602	0,75	10-12

30CrNiMo8:

Probennr.	Nitrierzeit in h	Nitriertemperatur	OFH [HV 30]	Nitriertiefe [mm]	Verbindungsschichtdicke [µm]
37	12	510	467	0,28	6-8
38	12	540	534	0,3	6-8
39	12	570	529	0,4	6-8
40	23	510	537	0,37	6-8
41	23	540	599	0,42	8-10
42	23	570	513	0,5	8-10
43	50	510	645	0,41	6-8
44	50	540	627	0,6	10-12
45	50	570	523	0,69	16-18

30CrNiMo8 vergütet:

Probennr.	Nitrierzeit in h	Nitriertemperatur	OFH [HV 30]	Nitriertiefe [mm]	Verbindungsschichtdicke [µm]
46	12	510	727	0,27	4-6
47	12	540	657	0,29	4-6
48	12	570	603	0,4	6-8
49	23	510	798	0,35	6-8
50	23	540	738	0,4	6-8
51	23	570	629	0,55	8-10
52	50	510	731	0,4	6-8
53	50	540	715	0,57	10-12
54	50	570	592	0,67	16-18

42CrMo4:

Probennr.	Nitrierzeit in h	Nitriertemperatur	OFH [HV 30]	Nitriertiefe [mm]	Verbindungsschichtdicke [µm]
55	12	510	436	0,37	4-6
56	12	540	458	0,46	4-6
57	12	570	452	0,58	8-10
58	23	510	509	0,57	8-10
59	23	540	479	0,55	6-8
60	23	570	441	0,72	10-12
61	50	510	537	0,72	12-14
62	50	540	547	0,83	6-8
63	50	570	435	0,81	16-18

42CrMo4 vergütet:

Probennr.	Nitrierzeit in h	Nitriertemperatur	OFH [HV 30]	Nitriertiefe [mm]	Verbindungsschichtdicke [µm]
64	12	510	644	0,31	4-6
65	12	540	510	0,3	4-6
66	12	570	557	0,42	6-8
67	23	510	738	0,38	8-10
68	23	540	597	0,48	6-8
69	23	570	574	0,62	10-12
70	50	510	680	0,45	10-12
71	50	540	677	0,64	6-8
72	50	570	517	0,74	16-18

34CrNiMo6:

Probennr.	Nitrierzeit in h	Nitriertemperatur	OFH [HV 30]	Nitriertiefe [mm]	Verbindungsschichtdicke [µm]
73	12	510	456	0,27	8-10
74	12	540	503	0,35	4-6
75	12	570	488	0,46	8-10
76	23	510	554	0,45	6-8
77	23	540	538	0,47	8-10
78	23	570	468	0,6	8-10
79	50	510	568	0,52	8-10
80	50	540	566	0,7	14-16
81	50	570	483	0,78	10-12

34CrNiMo6 vergütet:

Probennr.	Nitrierzeit in h	Nitriertemperatur	OFH [HV 30]	Nitriertiefe [mm]	Verbindungsschichtdicke [µm]
82	12	510	680	0,28	6-8
83	12	540	582	0,26	2-4
84	12	570	554	0,39	6-8
85	23	510	778	0,39	6-8
86	23	540	678	0,44	6-8
87	23	570	579	0,57	8-10
88	50	510	715	0,45	8-10
89	50	540	700	0,61	14-16
90	50	570	563	0,64	10-12

9SMnPb28:

Probennr.	Nitrierzeit in h	Nitriertemperatur	OFH [HV 30]	Nitriertiefe [mm]	Verbindungsschichtdicke [µm]
91	12	510	194	0,33	6-8
92	12	540	218	0,49	4-6
93	12	570	238	0,7	8-10
94	23	510	209	0,26	6-8
95	23	540	232	0,67	6-8
96	23	570	239	1,23	8-10
97	50	510	216	0,6	6-8
98	50	540	250	0,98	10-12
99	50	570	244	1,08	8-10

9SMnPb28 vergütet:

Probennr.	Nitrierzeit in h	Nitriertemperatur	OFH [HV 30]	Nitriertiefe [mm]	Verbindungsschichtdicke [µm]
100	12	510	225	0	6-8
101	12	540	213	0,22	2-4
102	12	570	247	0,27	6-8
103	23	510	193	0,23	6-8
104	23	540	225	0,54	6-8
105	23	570	243	0,4	8-10
106	50	510	212	0,29	6-8
107	50	540	252	0,78	10-12
108	50	570	246	0,89	8-10

20MnCr5:

Probennr.	Nitrierzeit in h	Nitriertemperatur	OFH [HV 30]	Nitriertiefe [mm]	Verbindungsschichtdicke [µm]
109	12	510	575	0,31	2-4
110	12	540	679	0,4	4-6
111	12	570	638	0,52	8-10
112	23	510	776	0,48	6-8
113	23	540	700	0,5	8-10
114	23	570	620	0,65	10-12
115	50	510	715	0,48	8-10
116	50	540	710	0,7	8-10
117	50	570	606	0,93	14-16

20MnCr5 vergütet:

Probennr.	Nitrierzeit in h	Nitriertemperatur	OFH [HV 30]	Nitriertiefe [mm]	Verbindungsschichtdicke [µm]
118	12	510	580	0,36	2-4
119	12	540	331	0,17	4-6
120	12	570	554	0,52	6-8
121	23	510	648	0,5	6-8
122	23	540	326	0,22	6-8
123	23	570	559	0,63	10-12
124	50	510	450	0,37	8-10
125	50	540	629	0,67	8-10
126	50	570	566	0,85	14-16

C15:

Probennr.	Nitrierzeit in h	Nitriertemperatur	OFH [HV 30]	Nitriertiefe [mm]	Verbindungsschichtdicke [µm]
127	12	510	278	0,42	6-8
128	12	540	302	0,57	6-8
130	12	570	340	0,83	6-8
131	23	510	308	0,43	8-10
132	23	540	324	0,71	6-8
133	23	570	326	1	6-8
134	50	510	333	0,72	4-6
135	50	540	336	0,99	8-10
136	50	570	330	1,28	18-20

C15 vergütet:

Probennr.	Nitrierzeit in h	Nitriertemperatur	OFH [HV 30]	Nitriertiefe [mm]	Verbindungsschichtdicke [µm]
136	12	510	222	0,57	4-6
137	12	540	214	0,35	4-6
138	12	570	256	0,78	6-8
139	23	510	208	0,4	8-10
140	23	540	230	0,67	6-8
141	23	570	279	0,93	6-8
142	50	510	220	0,74	4-6
143	50	540	271	1,37	8-10
144	50	570	271	1,03	18-20

C45:

Probennr.	Nitrierzeit in h	Nitriertemperatur	OFH [HV 30]	Nitriertiefe [mm]	Verbindungsschichtdicke [µm]
145	12	510	326	0,37	4-6
146	12	540	339	0,71	4-6
147	12	570	356	0,44	6-8
148	23	510	360	0,38	8-10
149	23	540	378	0,5	8-10
150	23	570	360	0,66	8-10
151	50	510	393	0,44	6-8
152	50	540	401	0,88	8-10
153	50	570	371	0,86	14-16

C45 vergütet:

Probennr.	Nitrierzeit in h	Nitriertemperatur	OFH [HV 30]	Nitriertiefe [mm]	Verbindungsschichtdicke [µm]
154	12	510	334	0,38	4-6
155	12	540	277	0,67	4-6
156	12	570	362	0,61	8-10
157	23	510	405	0,45	8-10
158	23	540	352	0,5	8-10
159	23	570	346	0,7	8-10
160	50	510	388	0,38	6-8
161	50	540	389	0,66	8-10
162	50	570	343	0,66	14-16

St52-3:

Probennr.	Nitrierzeit in h	Nitriertemperatur	OFH [HV 30]	Nitriertiefe [mm]	Verbindungsschichtdicke [μm]
163	12	510	388	0,79	4-6
164	12	540	422	0,48	6-8
165	12	570	413	0,33	8-10
166	23	510	461	0,56	6-8
167	23	540	468	0,67	8-10
168	23	570	437	0,73	6-8
169	50	510	479	0,74	4-6
170	50	540	468	0,86	6-8
171	50	570	415	0,88	14-16

St52-3 vergütet:

Probennr.	Nitrierzeit in h	Nitriertemperatur	OFH [HV 30]	Nitriertiefe [mm]	Verbindungsschichtdicke [μm]
172	12	510	326	0,39	4-6
173	12	540	235	0,58	4-6
174	12	570	392	0,6	10-12
175	23	510	398	0,47	6-8
176	23	540	265	0,29	8-10
177	23	570	395	0,7	6-8
178	50	510	269	0,36	4-6
179	50	540	404	0,79	6-8
180	50	570	391	0,96	14-16

16MnCr5:

Probennr.	Nitrierzeit in h	Nitriertemperatur	OFH [HV 30]	Nitriertiefe [mm]	Verbindungsschichtdicke [μm]
181	12	510	563	0,37	4-6
182	12	540	652	0,44	4-6
183	12	570	580	0,54	8-10
184	23	510	701	0,5	6-8
185	23	540	688	0,57	6-8
186	23	570	578	0,71	8-10
187	50	510	703	0,67	10-12
188	50	540	715	0,84	12-14
189	50	570	575	0,91	12-14

16MnCr5 vergütet:

Probennr.	Nitrierzeit in h	Nitriertemperatur	OFH [HV 30]	Nitriertiefe [mm]	Verbindungsschichtdicke [μm]
190	12	510	594	0,37	4-6
191	12	540	311	0,21	4-6
192	12	570	595	0,64	8-10
193	23	510	662	0,52	6-8
194	23	540	481	0,39	6-8
195	23	570	581	0,72	8-10
196	50	510	664	0,52	10-12
197	50	540	637	0,78	12-14
198	50	570	538	0,91	12-14

31CrMoV9:

Probennr.	Nitrierzeit in h	Nitriertemperatur	OFH [HV 30]	Nitriertiefe [mm]	Verbindungsschichtdicke [µm]
199	12	510	779	0,28	4-6
200	12	540	794	0,33	6-8
201	12	570	723	0,42	8-10
202	23	510	841	0,36	4-6
203	23	540	794	0,4	8-10
204	23	570	683	0,53	8-10
205	50	510	811	0,43	8-10
206	50	540	801	0,6	10-12
207	50	570	630	0,72	10-12

31CrMoV9 vergütet:

Probennr.	Nitrierzeit in h	Nitriertemperatur	OFH [HV 30]	Nitriertiefe [mm]	Verbindungsschichtdicke [µm]
208	12	510	711	0,2	4-6
209	12	540	483	0,13	4-6
210	12	570	457	0,18	6-8
211	23	510	877	0,31	4-6
212	23	540	462	0,14	8-10
213	23	570	704	0,44	8-10
214	50	510	673	0,22	8-10
215	50	540	782	0,54	10-12
216	50	570	543	0,43	10-12

Aus diesen Tabellen lässt sich bereits die Tendenz ablesen, dass mit steigender Nitriertemperatur auch die Oberflächenhärte abnimmt, wohingegen die Nitrierhärte tiefe zunimmt. Nur beim vergüteten Zustand ist es anders. Das kann daran liegen, dass das Nitrieren als ein hohes Anlassen wirkt und damit die Härte sinkt oder die chemische Zusammensetzung nachteilig verändert wird bzw. neu strukturiert.

9.3 Gefügeänderung anhand des Werkstoffes 31CrMoV9

Um die Veränderung des Gefüges zu verdeutlichen wurde als Beispiel der Werkstoff 31CrMoV9 gewählt und Aufnahmen im Querschliff gemacht mit 500facher Vergrößerung. Auch werden 2 vergütete Proben untersucht und verglichen. Die dritte Aufnahme zeigt dann nur, dass es irgendwo Grenzen gibt und das Nitrieren bei zu hohen Temperaturen die Vergütung negativ beeinflusst. Die unten stehenden Bilder zeigen das Ausgangsgefüge (links) und das Vergütungsgefüge (rechts) des Werkstoffes bei 500facher Vergrößerung.



Zur Verdeutlichung der Veränderung im Gefüge und als Beispiel für ein nitriertes Bauteil wurden 5 Proben ausgewählt. Zunächst werden Probe 199 und 207 gegenüber gestellt. Beide wurden nicht vorvergütet.

Probe 199, 510°C, 12h:



Vergrößerung: 100x



Vergrößerung: 500x

Probe 207, 570°C, 50h:



Vergrößerung: 100x



Vergrößerung: 500x

Die dunkle Randzone ist die eigentliche Nitrierschicht. Besonders gut ist diese bei Probe 199 bei der 100fachen Vergrößerung sichtbar. Bei Probe 207 zieht sich die Nitrierschicht deutlich weiter in das Innere der Probe. Die äußerste weisse Schicht ist die Verbindungsschicht. Die Strukturen beider Proben sehen sich sehr ähnlich, jedoch ist der äußerste Randbereich bei Probe 207 deutlich ausgeprägter. Bezieht man die Messwerte mit ein, so merkt man, dass Oberflächenhärte der Probe die bei 570°C gefahren wurde, geringer ist. Das liegt daran, dass der Stickstoff besser in den Werkstoff durch die höhere Temperatur hinein diffundieren konnte. Man merkt jedoch auch, dass die Verbindungsschicht mit zunehmender Nitrierdauer wächst.

Als nächstes betrachtet man die vergüteten Proben nach dem Nitrieren. Es wurden hierzu 3 Proben ausgewählt, davon 2 aus Langzeitchargen um zu verdeutlichen, wie unterschiedlich ihre Messwerte sind, obwohl sich nur die Temperatur um 30°C verändert hat.

Probe 209, 540°C, 12h:



Vergrößerung: 100x



Vergrößerung: 500x

Probe 215, 540°C, 50h:



Vergrößerung: 100x

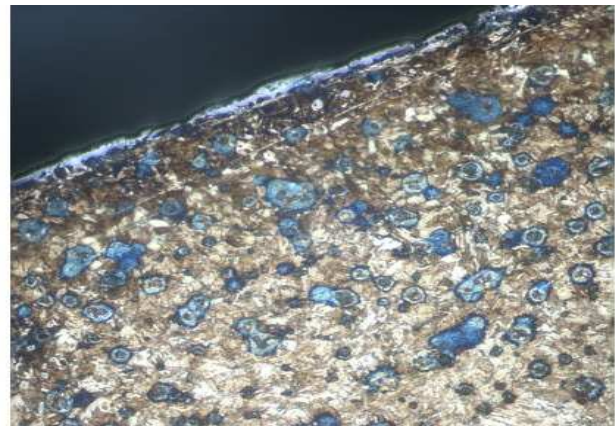


Vergrößerung: 500x

Probe 216, 570°C, 50h:



Vergrößerung: 100x



Vergrößerung: 500x

Wie bereits erwähnt findet man bei deutlich längeren Nitrierzeiten auch deutlich größere Nitrierhärte-tiefen. Durch das Vergüten bleibt das Vergütungsgefüge, welches nicht im nitrierten Bereich liegt, größtenteils erhalten. Somit ist der Werkstoff durchgehend härter als beim alleinigen nitrieren.

Die vorangegangene Wärmebehandlung lässt sich jedoch in ihrer Struktur weiterhin bei Probe 214 erkennen. Diese Probe hat ebenfalls von den Messwerten die besten Ergebnisse bei der Nht und der Härte. Probe 215 ist bereits deutlich weicher und die Nht hat wieder abgenommen. Daraus schließt man, dass die Temperatur von 570°C keinesfalls optimal ist, um eine hohe Härte und Nht zu erreichen.

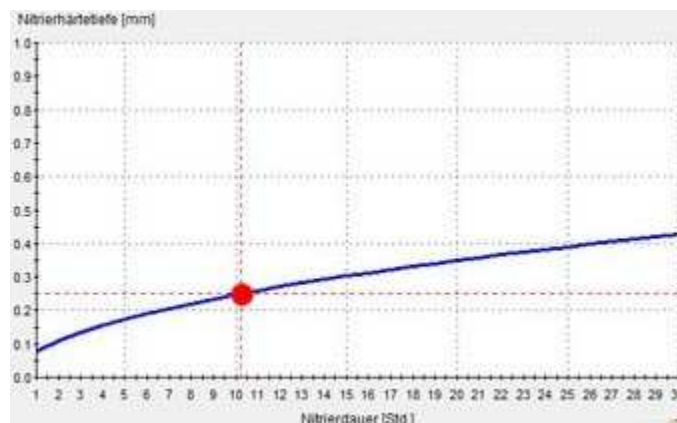
Ebenfalls schlechte Werte erhält die Probe 209. Obwohl die Temperatur die Selbe ist wie die von Probe 214 (540°C), weist sie sehr geringe Härte- und Nitrierhärte-tiefenwerte auf. Nimmt bei der Betrachtung noch Probe 208 hinzu, erkennt man, dass es sogar wirtschaftlicher gewesen wäre, sie bei 510°C bei ebenfalls 12 Stunden zu fahren, um eine gute Härte und Nitrierhärte-tiefe zu erreichen.

Die Schlussfolgerung ist, dass das Vergüten behutsam erfolgen muss und dann keine großen Fehler bei der Auswahl der Nitrierparameter gemacht werden sollten, um möglichst gute Werte zu erreichen. Es folgt nicht dem typischen Verhältnis der Temperatur zur Oberflächenhärte sowie der Nitrierzeit zur Nitrierhärte-tiefe. Trotzdem ist das Vergüten wichtig, falls man eine gewisse Härte und Zähigkeit im Kern des Werkstücks erreichen will.

9.4 Entwicklung eines Simulationsprogramms

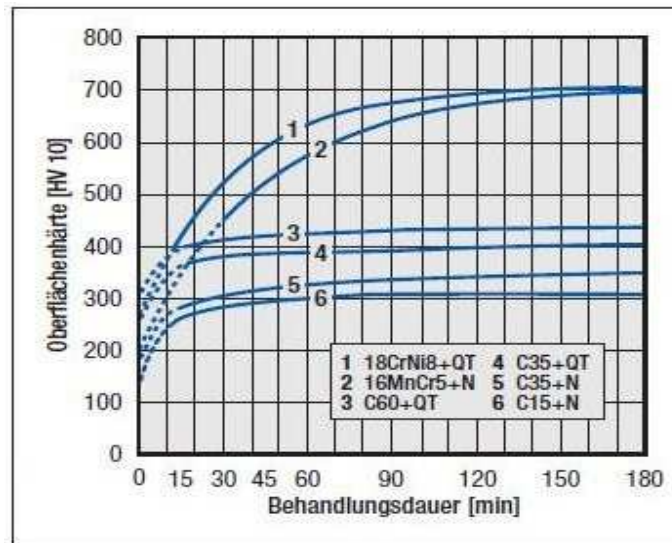
Der hauptsächliche Verwendungszweck für das Abfahren verschiedener Parameter mit unterschiedlichen Werkstoff und dessen Ausmessen, ist die Entwicklung eines Simulationsprogramms. Es ist nicht nur wichtig, falls Kunden eine Anfrage stellen, ob es überhaupt möglich ist ihre geforderten Werte zu erreichen, sondern wird selbstständig über eine mathematisch interpolierte Kurve die passenden Parameter ausgeben mit denen die geforderte Härte und/oder Nitrierhärte-tiefe auch erreicht wird.

Das gesamte System beruht auf den oben, in Tabellen zusammengefassten Messwerten. Die Anordnung nach Werkstoffen zeigt bereits eine Grundtendenz. Daraus lassen sich jeweils 3 verschiedene Kurven ermitteln. Diese Kurven zeigen eine Grundform und Zwischenwerte können interpoliert werden. Dies geschieht über eine mathematische Formel, welche die Chargenanordnung, die Werkstückgeometrie als Faktoren mit einbezieht. Hier ein Beispiel einer solchen Kurve:



Auf dieser Kurve lässt sich die erforderliche Dauer ablesen oder berechnen, um die angezielte Nht zu erreichen. Führt man das Diagramm nach links weiter, so wird die Kurve immer flacher, d. h. Es dauert immer länger um eine höhere Nht zu erhalten. Nach dem selben Prinzip funktioniert der Zusammenhang zwischen Oberflächenhärte und Temperatur. Allerdings sinkt i. d. R. die

Oberflächenhärte mit steigender Temperatur. Um die maximale Oberflächenhärte durch das Nitrieren zu erreichen ist eine gewisse Nitrierdauer notwendig, welche vom Werkstoff abhängt, wie das folgende Diagramm veranschaulicht.



Diese Erkenntnisse sollten in einem guten Simulationsprogramm verdeutlicht werden. Praxisnahe Werte müssen ausgegeben werden und dazu sind genaue Messwerte in Form einer Datenbank notwendig. Als Basis zur Entwicklung empfiehlt es sich Microsoft Excel oder OpenOffice.org Calc zu verwenden, da dort eine derartige Programmierung schnell und einfach, über deren internen Programmiersprachen, entwickelt werden kann. In einer fertigen Version wird man nichts weiter als den Werkstoff, die Geometrie, den Chargenaufbau und die geforderten Werte auswählen und als Ergebnis erhält man sogar die passenden Parameter. Weiterführend soll die Simulation mit den passenden Programmen verknüpft werden, welche dann ebenfalls angezeigt werden und zur Auswahl stehen, um sie dann nur noch am Ofen einstellen zu müssen. Diese Programme zeigen dann Temperatur, Dauer und Haltezeiten an.

Somit ist der größte Vorteil einer funktionierenden Simulation eine Zeitersparnis. Vor allem durch wenige Mausklicks entsteht eine sofort einsetzbare Vorgehensweise, um Werkstücke zu nitrieren, bzw. eine Aussage wie mit ihnen zu verfahren ist. Außerdem gibt es nachträglich weniger Korrekturen, da die geforderten Werte deutlich öfters erfüllt werden und nicht nur auf Abschätzungen eines Bedieners des Ofens beruhen. Weiterhin wird Auskunft gegeben, ob man den Kunden zufrieden stellen kann und sich eine Annahme des Auftrages lohnt, da man ebenfalls die Kosten aufgrund der Nitrierdauer abschätzen kann. Es ist eine lohnende Investition, welche auf Dauer viel Arbeit erspart.

Quellenangabe

Lektüre/Literatur:

Broschüre IVA Industrieöfen, Verfahren, Anlagen

Wärmebehandlung von Eisenwerkstoffen II – Nitrieren und Nitrocarburieren 5. Auflage
expert verlag, ISBN: 978-3-8169-2902-4

Hefter Werkstofftechnik I & II / Vorlesungsunterlagen Prof. Hahn

Internet:

<http://www.efd-haertereie.de/pdf/HH-R01-D03-Nitrieren.pdf>

http://www.ptb.de/cms/uploads/RTEmagicC_web-tastspitze_09.jpg.jpg

http://www.stahl-info.de/schriftenverzeichnis/pdfs/MB447_Waermebehandlung_von_Stahl.pdf

<http://www.stange-elektronik.com/deutsch/produkte/software/nht-berechnung/index.html>

http://emrtk.uni-miskolc.hu/surface_fr/objects/Fe-N.JPG

Zitate

Wärmebehandlung von Eisenwerkstoffen II – Nitrieren und Nitrocarburieren 5. Auflage
expert verlag, ISBN: 978-3-8169-2902-4:

S. 11 [1] S. 116 Tab. 3-1

S. 16 [1] S. 129 Tab. 4-1

S. 18 [1] S. 135 4.3.1.3

S. 18 [4] S. 137

S. 19 [5] S. 140

S. 20 [6] S. 143

S. 25 [7] S. 165 4.6

S. 27 [8] S. 289

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, Simon Weikert, Student der Hochschule Mittweida, Matrikel MB08w2-B, Matrikelnr. 19853, das ich die vorliegende Bachelorarbeit ohne fremde Hilfe komplett selbstständig verfasst habe und alle verwendeten Hilfsmittel gekennzeichnet und angegeben habe.