

Der ELTROPULS-Versuch - eine einfache und kostengünstige Methode zur Vorhersage von Nitrierergebnissen

U.Huchel, S.Strämke, F.Koch, U.Koch
ELTRO GmbH

1. Einleitung

Eine Vielzahl von Bauteilen wird hauptsächlich im oberflächennahen Bereich beansprucht. Für die Lebensdauersteigerung ist deshalb die Auswahl eines wirksamen Oberflächen- oder Randschichtveredelungsverfahrens entscheidend. Der Versagensmechanismus des Bauteils sowie die Beanspruchungstiefe sind wesentliche Auswahlkriterien für ein geeignetes Verfahren. Durch ein Nitrieren oder Nitrocarburieren lassen sich Randschichten mit einer Schichtdicke von einigen wenigen μm bis zu ca. 0,8 mm wirtschaftlich erzeugen. Eine Nitrierschicht besteht aus einer Verbindungsschicht und einer Diffusionszone. In Tabelle 1 sind die jeweiligen Eigenschaften zusammengefasst. Bedingt durch niedrige Behandlungstemperaturen treten beim Nitrieren keine Phasenumwandlungen im Grundgefüge auf, was die Grundvoraussetzung für eine verzugsarme Wärmebehandlung ist. Speziell mit dem umweltfreundlichen Pulsplasmanitrieren lassen sich Schichten in sehr engen Toleranzgrenzen erzeugen. /2/ Daraus resultiert ein kontrolliertes Maßänderungsverhalten und auf eine Nacharbeit kann verzichtet werden.

Bei unsachgemäßer Vorbehandlung oder fehlender Abstimmung zwischen Hersteller und Wärmebehandler können nach dem Nitrieren unerwünschte Effekte auftreten. In der industriellen Praxis treten insbesondere Effekte wie eine unzureichende Härte oder Einhärtetiefe, eine unerwartete (unvermeidbare) Volumenzunahme, eine Zunahme der Rauheit, Maßänderungen durch im Werkstoff ablaufende Vorgänge, Verzug und unerwünschte Veränderungen der Kernhärte auf.

Die ELTRO GmbH hat in einem *ELTROPULSVERSUCH* Bedingungen festgeschrieben, unter den bereits in der Entwicklungs- oder Herstellungsphase anhand einer definierten Probe getestet werden kann, ob oben aufgeführte unerwünschte Effekte auftreten oder nicht. Im folgenden soll zunächst gezeigt werden, welche Randbedingungen für eine problemlose Nitrierbehandlung erfüllt sein müssen.

2. Anforderungen an das Nitriergut

Die wesentliche Grundvoraussetzung ist ein sauberes Teil mit einer metallisch blanken Oberfläche. Darüber hinaus ergeben sich weitere Anforderungen zur Erzielung eines anspruchsvollen Nitrierergebnisses:

A - Ein geeigneter Werkstoff.

Werkstoffauswahl ist abhängig von:

- Geforderten Gebrauchseigenschaften
- Bearbeitungseigenschaften
- Kosten

Prinzipiell sind alle Stähle (zumindest im Plasma) nitrierbar. Gut geeignet für das Nitrieren sind die sogenannten „Nitrierstähle“, die ursprünglich eigens für das Nitrieren entwickelt wurden, aber auch Cr – legierte und mikrolegierte Stähle erreichen beim Nitrieren ansprechende Oberflächenhärten und Nitrierhärteiefen. Die mikrolegierten Baustähle mit geringen Gehalten an Legierungselementen erzielen wegen der relativ hohen Diffusionsgeschwindigkeit des Stickstoffs meist höhere Nitriergeschwindigkeiten als die „Nitrierstähle“. Cr – legierte Stähle sind für das Nitrieren besonders gut geeignet, wenn sie wenig Kohlenstoff und mindestens 0,02% metallisches (gelöstes) Aluminium enthalten. Die Chromgehalte (gelöstes Chrom vor dem Nitrieren!) müssen auf die erforderlichen Oberflächenhärten abgestimmt werden. Außer für die Stähle, deren Härte durch Nitrieren und Aushärtung und /oder Kaltverfestigung erhöht werden soll, gilt, dass sie sich im Hinblick auf die thermische Behandlung beim Nitrieren in einem thermisch stabilen Zustand befinden sollten.

Der für das Nitrieren optimale Werkstoff ist der kostengünstigste, gut zu bearbeitende Werkstoff, der die erforderliche Oberflächenhärte und Nitrierhärteiefe in der kürzesten Zeit erreicht.

B – Eine richtige Wärmebehandlung

Nitrierte Stähle werden oft im vergüteten Zustand eingesetzt. Eine weitgehende Auflösung von Sonderkarbiden während des Austenitisierens, das Einstellen eines thermisch stabilen Zustandes und der Abbau von Spannungen beim Anlassen sind von besonderem Interesse für das gewünschte Nitrierergebnis.

C – Eine auf das Nitrieren abgestimmte Bearbeitung

In diesem Zusammenhang wichtig ist die Abstimmung der verwendeten Fertigungshilfsstoffe und Reinigungsmittel in der Weise, dass die Fertigungshilfsstoffe rückstandsfrei entfernt werden und das Konservierungsmittel der Reiniger den Nitrierprozess nicht stören. Eine Kaltverfestigung der Oberfläche durch die mechanische Bearbeitung sind genau so zu vermeiden wie Phasenumwandlungen durch Schleifprozesse.

Es lässt sich somit ein nitriergerechter Zustand definieren, der sich wie folgt charakterisieren lässt:

Saubere, rückstandsfreie, metallisch blanke Oberflächen.

Geeigneter Werkstoff mit den notwendigen Gehalten an gelösten Sondernitridbildnern.

Thermisch stabiler Zustand des Werkstoffs. (beim Nitrieren dürfen keine unerwünschten Anlass-, Aushärtungs- und Entfestigungsvorgänge ablaufen).

Auf das Nitrieren abgestimmte Bearbeitung.

3. Der ELTROPULS – Versuch

Zur Ermittlung des Nitrierverhaltens wird ein Pulsplasmanitrierprozess, der Einfachheit halber als „**ELTRO PULS– Versuch**“ bezeichnet, vorgeschlagen. Dabei wird eine 50 mm lange Rundprobe mit einem Durchmesser von 20mm **partiell** bei 520 °C über 11 h mit einem definierten Stickstoffpotential nitriert. Über Gradienten wird ein definiertes Erwärmen und Abkühlen sicher gestellt.

Der *ELTROPULS* – Versuch gestattet die Bestimmung des Nitrierverhaltens unter konstanten Nitrierbedingungen. Nach dem Nitrieren können am nitrierten Teil der Proben folgende Größen ermittelt werden:

- Oberflächenhärte,
- Kernhärte Randhärte,
- Nitrierhärte tiefe,
- Durchmesser bzw. Dicke der Probe ,
- Art der Oberfläche (γ' - oder ϵ - Verbindungsschicht bzw. verbindungsschichtfrei),
- Dicke der Verbindungsschicht auf der Kreisfläche bzw. auf der Quadratfläche und auf dem Umfang bzw. auf der Rechteckfläche,
- Neigung zum Aufwachsen (Durchmesserzunahme),
- Rauheitszunahme.

Am abgedeckten Teil der Proben, der nur wärmebehandelt wurde, können nach dem Nitrieren folgende Größen gemessen werden:

- Oberflächenhärte,
- Durchmesser bzw. Dicke der Probe
- Rauheitszunahme

Zusätzliche Informationen über den Werkstoff, seine thermische Stabilität vor dem Nitrieren, seinen Bearbeitungszustand und über seine Neigung zum Aufwachsen werden gewonnen durch Vergleiche der Oberflächenhärten, der Kernhärten, der Probenlängen und Probendurchmesser bzw. der Probendicken vor dem Nitrieren mit den Oberflächenhärten, den Probenabmessungen sowie mit der Kernhärte im nitrierten bzw. abgedeckten Bereich der Probe. Des weiteren werden die Nitrierhärte tiefe und die Verbindungsschichtdicke gemessen, sowie die Differenz zwischen Oberflächen-, Rand- und Kernhärte ermittelt.

Die Veränderung der Oberflächenhärte am mechanisch abgedeckten Teil der *ELTRO* – Probe gibt erste Hinweise auf das Ausmaß einer möglichen Entfestigung und / oder eines Anlasseffektes sowie auf Lösungs- oder Reifungsprozesse bei der thermischen Behandlung während des Nitrierens.

Die im *ELTROPULS* – Versuch ermittelten Nitrierergebnisse erlauben die Beurteilung des nitriergerechten Zustandes, die Optimierung ganzer Fertigungsabläufe, die Optimierung von Werkstoffen sowie deren Behandlungs- und Bearbeitungszuständen anhand von einfach herzustellenden Proben. Es werden weiterhin Informationen über das Aufwachsen beim Nitrieren, das Ausmaß der Aushärtung und bzgl. Anisotropie und Entfestigung gewonnen.

4. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Voraussetzung für optimale Nitrierergebnisse sind nitriergerechte Bauteile und ein optimaler Nitrierprozess. Ein Bauteil kann als nitriergerecht bezeichnet werden, wenn es folgende Forderungen erfüllt:

Fertigung aus einem Werkstoff, der die geforderte Oberflächenhärte problemlos und reproduzierbar erreicht und sich in einem für das Nitrieren geeigneten Wärmebehandlungszustand befindet.

Thermisch stabiler Zustand, d.h. im Bauteil laufen bei der thermischen Behandlung des Nitrierens keine plastischen Deformationen, Erholungs-, Ausscheidungs-, Auflösungs-, Anlassvorgänge oder sonstige Gefügeveränderungen ab, die das Nitrierergebnis negativ beeinflussen.

Das von der Nitrierhärte abhängig aufwachsen wurde berücksichtigt.

Oberfläche metallisch blank und frei von Rückständen, die den Nitrierprozess stören.

Das Nitrierverhalten, seine Abhängigkeit von der chemischen Zusammensetzung sowie vom Wärmebehandlungs- und Bearbeitungszustand kann im ELTRO –Versuch ermittelt werden.

Die an den Proben gewonnenen Messergebnisse gestatten Aussagen zum Einfluss der chemischen Zusammensetzung, der Wärmebehandlung und des Bearbeitungszustandes auf das Nitrierergebnis (Oberflächenhärte, Nitrierhärte, aufwachsen, Art der Oberfläche und Dicke der Verbindungsschicht) und auf Veränderungen im Werkstoff durch die rein thermische Behandlung während des Nitrierens. Das Nitrieren bauteilrelevant bearbeiteter Proben gibt auch Hinweise darauf, ob mit Verzug gerechnet werden muss.

Tabelle 1

Eigenschaften und Gebrauchsverhalten von Nitrierschichten

| | Eigenschaften | Gebrauchsverhalten |
|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Verbindungsschicht | hohe Härte geringe Adhäsionsneigung Aufnahme von Schmierstoffen Durch Poren passivierbar | Hoher Widerstand gegen Verschleiß durch Abrasion, Deformation, Fressen und Kleben erhöhte Korrosionsbeständigkeit |
| Diffusionszone | hohe Festigkeit Druckeigenspannungen Erhöhte Warmfestigkeit | erhöhter Widerstand gegen Kontaktermüdung erhöhte Schwingfestigkeit bessere Formbeständigkeit, verringerter Warmverschleiß, erhöhter Widerstand gegen thermische Ermüdung |

Literatur:

/1/ H.-J. Spies

"Optimierung des Gebrauchsverhaltens von Bauteilen durch Randschichtbehandlung"
TU Bergakademie Freiberg, 26. - 28.09.1995

/2/ U.Huchel, S.Strämke, F.Koch, U.Koch

"Toleranzen und Verzugsverhalten nach dem Pulsplasmanitrieren"
HTM 58 (2003) 1 S. 28 - 30

