



Doctoral Thesis

## **Nitrogen solubility in iron-base alloys and powder metallurgy of high nitrogen stainless steels**

**Author(s):**

Zheng, Xiao-hong

**Publication Date:**

1991

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000601692> →

**Rights / License:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH No. 9488

**Nitrogen Solubility in Iron-Base Alloys  
and  
Powder Metallurgy of High Nitrogen  
Stainless Steels**

A dissertation submitted to  
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
ZÜRICH, SWITZERLAND  
for the degree of  
DOCTOR OF TECHNICAL SCIENCES

presented by  
**Xiao-hong ZHENG**

Dipl.-Ing.  
Harbin University of Science and Technology,  
Master of Engineering  
Research Institute of Mechanical Sciences  
CHINA  
born November 6, 1961  
in Heilongjiang, China

accepted on the recommendation of  
Prof. Dr. M. O. Speidel, examiner  
Prof. Dr. E. Freitag, co-examiner  
Prof. Dr. H. Feichtinger, co-examiner

Zürich, May 1991

## **Abstract**

Recently high nitrogen steels owing to their outstanding properties have been extensively investigated and applied in various industrial fields. The present thesis consists of two parts of research work, namely nitrogen solubility in iron-base alloys, and powder metallurgy of high nitrogen stainless steels.

In the first part, the nitrogen solubility in the alloys including pure iron, binary and multicomponent solutions is systematically investigated. The knowledge about the nitrogen solubility in iron-base alloys is reviewed first. A comparison and analysis of the results from the literature permits the selection of the interaction parameters of alloying elements on nitrogen in the liquid state for calculating the nitrogen activity in a wide range of composition, temperature and pressure. In the experimental part of the present work the nitrogen solubility in the solid Fe-Cr-Ni-Mn system was investigated in the temperature range from solidus to about 1173 K, using a newly developed temperature gradient method which has the special feature that the change of nitrogen solubility by phase transformation can be directly observed. The measured results were evaluated in line with a thermodynamic model by a mathematical statistics method. The related interaction parameters were obtained for the alloys from pure iron to multicomponent systems, as well as their dependence on temperature. Furthermore, a thermodynamic analysis of  $\text{Cr}_2\text{N}$  precipitation in austenite was carried out based on the obtained thermodynamic data of nitrogen.

A contribution to a newly emerging technology, powder metallurgy for producing high nitrogen steels, is presented in the second part. The main motives of such efforts are the higher nitrogen solubility in the solid phase and the short diffusional distance for the smaller powder size. Nitriding of steel powder is a problem which must be solved in addition to conventional powder metallurgical processing. The nitriding kinetics of several stainless steel powders, X20CrMoV121, X3CrMnN1818 and X2CrNiMo1810, was first

studied. The two kinetic factors which influence the nitrogen mass transfer during nitriding, the gas flow through the packed powder and the nitrogen diffusion inside the powder particle were investigated. For different types of powders two nitriding concepts were proposed for the loose packed powder. The nitrogen homogeneity in the nitrided samples and cans was analyzed. The cans were consolidated using hot isostatic pressing (HIP), and the mechanical properties and microstructure investigated. It has been demonstrated that high nitrogen steels with high quality can be produced by the P/M technique.

## Zusammenfassung

Aufgrund ihrer ausgezeichneten Eigenschaften sind stickstofflegierte Stähle näher untersucht worden und haben bereits wesentliche Anwendungen in verschiedenen Gebieten der Technik gefunden. Die vorliegende Dissertation besteht aus zwei Teilen, von denen einer die Löslichkeit von Stickstoff in Eisenbasislegierungen und der andere die Pulvermetallurgie von massiv stickstofflegierten rostfreien Stählen behandelt.

Im ersten Teil der Arbeit wird die Löslichkeit von Stickstoff in reinem Eisen sowie Zwei- und Mehrstoffsystemen systematisch untersucht. Zuerst wird eine Übersicht der Kenntnisse über die Löslichkeit von Stickstoff in der Literatur vorgestellt. Nach genauen Vergleichen und Analysen der vorliegenden Ergebnisse werden die Wechselwirkungsparameter der Legierungselemente auf Stickstoff im flüssigen Zustand ausgewählt, um die Aktivität von Stickstoff in einem weiten Bereich von chemischer Zusammensetzung, Temperatur und Stickstoffdruck zu berechnen. Im Experiment wird die Löslichkeit von Stickstoff im festen Zustand im Fe-Cr-Ni-Mn System im Temperaturbereich von Solidus bis ca. 1173 K gemessen, unter Verwendung einer neuentwickelten Bestimmungsmethode im Temperaturgradienten, welche die Besonderheit besitzt, dass die Veränderungen der Löslichkeit bei Phasenumwandlung direkt beobachtet werden können. Die Messwerte werden nach einem thermodynamischen Modell mit Hilfe der mathematischen Statistik ausgewertet, und die entsprechenden Wechselwirkungsparameter werden für ein Eisenbasis-mehrstoffsystem erzielt, inklusive ihrer Abhängigkeit von der Temperatur. Überdies wird eine thermodynamische Analyse der Ausscheidung von  $\text{Cr}_2\text{N}$  im Austenit auf der Grundlage der erhaltenen thermodynamischen Daten von Stickstoff durchgeführt.

Ein Beitrag zu einer neuentwickelten Technologie, der Pulvermetallurgie für die Herstellung von massiv aufgestickten rostfreien Stählen, wird im zweiten Teil der Dissertation

beschrieben. Die Hauptgründe für diese Arbeiten sind sowohl die höhere Löslichkeit von Stickstoff im festen Zustand als auch die kleinen Pulverabmessungen, die nur kurze Diffusionswege bedingen. Das andere Problem, welches im Rahmen des konventionellen Prozesses gelöst wurde, war das Aufstickungsverfahren des Metallpulvers. Here wird die Aufstickungskinetik von einigen rostfreien Stahlpulvern, X20CrMoV121, X3CrMnN1818 und X2CrNiMo1810, untersucht. Zwei kinetikbestimmende Faktoren, welche den Stoffübergang von Stickstoff bei der Aufstickung beeinflussen, werden betrachtet, da sind zum einen die Gasdurchströmung durch Pulverschüttungen und zum anderen die Diffusion von Stickstoff in die Pulverpartikel. Je nach Typ des Pulvers werden zwei Aufstickungskonzepte für loses Pulver vorgestellt. Eine homogene Stickstoffverteilung in aufgestickten Proben und Kapseln wird erzielt. Die Kapseln werden in einer heissisostatischer Presse kompaktiert und danach die mechanischen Eigenschaften und Mikrostruktur untersucht. Es hat sich gezeigt, dass massiv stickstofflegierte rostfreie Stähle mit hohen Qualitäten durch pulvermetallurgische Technologien hergestellt werden können.