



Doctoral Thesis

Development of chromium-based high-nitrogen, high-strength alloys with face centred cubic crystal lattices

Author(s):

Speidel, Hannes J.C.

Publication Date:

2003

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004511092> →

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 Nr. 14888

**DEVELOPMENT OF CHROMIUM - BASED,
HIGH - NITROGEN, HIGH - STRENGTH ALLOYS
WITH
FACE CENTERED CUBIC CRYSTAL LATTICES**

A DISSERTATION
SUBMITTED TO THE
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
FOR THE DEGREE OF
DOCTOR OF TECHNICAL SCIENCES

presented by

HANNES J. C. SPEIDEL

Dipl.-Natw. ETH
born October 15, 1964
citizen of Birmenstorf AG

Accepted on recommendation of
Prof. Dr. Peter J. Uggowitzer, examiner
Prof. Dr. Sannakaisa Virtanen, co-examiner
Prof. Dr. Jacques Foct, co-examiner

2002

Abstract

In the last ten years, high nitrogen austenitic stainless steels with very *low nickel content* have received much attention, both in fundamental research and in alloy development. The present work extends such studies to austenitic steels and fcc alloys with *high nickel contents*.

First, the region of austenite stability in the phase diagrams is calculated by Thermocalc and other algorithms and compared to experimental determinations of phase boundaries. It turns out that the calculations are in need of experimental corrections. With these, the single phase austenitic regions are now sufficiently well known for useful alloy development. The effect of nitrogen in fcc Fe-Cr-Ni-N solid solutions on strength, toughness, fatigue, wear and corrosion resistance is studied systematically. The results of these investigations are used to develop a new class of corrosion resistant fcc structural materials: high nickel, high nitrogen austenites.

Based on the present work and a cooperation with ABB (now Alstom), a United States Patent has been granted (see Appendix II).

The three groups of new alloys developed in the present research efforts for applications in power engineering, in aeronautical and aerospace engineering, in architecture, in general mechanical engineering, in the chemical industry and in transport engineering as well as nuclear engineering are as follows:

- Cold worked Alloy 33 (Fe-33%Cr-31%Ni-1.5%Mo-0.4%N)
- Alloy "33 minus" (Fe-33%Cr-15%Ni-1%Mo-1Mn-0.8%N) superior to and cheaper than Alloy 33.
- Alloy "33 plus" (Fe-42%Cr-42%Ni-0.5%N) with particular resistance to stress corrosion cracking in $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ solution at 152°C.

Further to the alloy development, the role of nitrogen in grain boundary hardening mechanisms and in solid solution hardening mechanisms has been studied. It has been found that the experimental results of this work fit well with predictions provided by the dislocation pile-up theory and the solid solution hardening model developed by Fleischer.

Kurzfassung

Hoch stickstoffhaltige austenitisch rostfreie Stähle mit *geringem Nickelgehalt* sind im vergangenen Jahrzehnt sowohl grundlegend erforscht als auch durch Legierungsentwicklung nutzbar gemacht worden. Die vorliegende Arbeit erweitert diese Studien auf hoch stickstoffhaltige austenitisch rostfreie Stähle und kubisch flächenzentriert kristallisierende Legierungen mit *hohem Nickelgehalt*.

Zunächst werden die Bereiche thermodynamischer Stabilität der austenitischen Phase in den hier interessanten Zustandsdiagrammen berechnet und experimentell überprüft. Es zeigt sich, dass heute benutzte Daten für "Thermocalc" und für Rechsteiners Algorithmen einer experimentellen Korrektur bedürfen. Mit dieser Korrektur hingegen sind nun die Bereiche der Austenitstabilität für die weitere Legierungsentwicklung genügend genau bekannt. Der Einfluss von Stickstoff in festen kubisch flächenzentriert kristallisierten Lösungen von Fe-Cr-Ni-N auf folgende Eigenschaften wird in der vorliegenden Arbeit systematisch studiert: Festigkeit, Zähigkeit, Ermüdung, Verschleiss und Korrosion. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden genutzt bei der Entwicklung einer neuen Klasse von korrosionsbeständigen Strukturwerkstoffen: Nickelreiche, stickstoffreiche Austenite.

In diesem Bereich ist auf der Basis der hier vorliegenden Arbeit und einer Zusammenarbeit mit ABB (jetzt Alstom) ein Patent erteilt worden (siehe Anhang II). Drei Gruppen neuer Legierungen entstanden in der vorliegenden Arbeit für Anwendungen in der Strom erzeugenden Industrie, in Luft- und Raumfahrt, in der Architektur, im allgemeinen Maschinenbau, in der chemischen Industrie, im Verkehr und Transport sowie in Kernkraftwerken:

- Kaltverformte Legierung 33 (Fe-33%Cr-31%Ni-1.5%Mo-0.4%N)
- Legierung "33 minus" (Fe-33%Cr-15%Ni-1%Mo-1Mn-0.8%N): besser und billiger als Legierung 33.
- Legierung "33 plus" (Fe-42%Cr-42%Ni-0.5%N) mit besonderem Widerstand gegen Spannungsrissskorrosion in $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ Lösungen bei 152°C.

Neben der Legierungsentwicklung wurde in der vorliegenden Arbeit die Rolle von Stickstoff als Korngrenzen- und als Mischkristallhärter untersucht. Die experimentellen Ergebnisse stimmen gut mit der Pile-up Theorie für Versetzungen und der Mischkristallhärtung nach Fleischer überein.