



Doctoral Thesis

Metallkundliche und metallurgische Grundlagen zur Entwicklung stickstoffreicher, zäher, hochfester austenitischer Stähle

Author(s):

Rechsteiner, Anton Andreas

Publication Date:

1994

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000944042> →

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](#).

**Metallkundliche und metallurgische Grundlagen
zur Entwicklung stickstoffreicher, zäher,
hochfester austenitischer Stähle**

ABHANDLUNG
zur Erlangung des Titels
DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN
der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE
ZÜRICH

vorgelegt von
ANTON ANDREAS RECHSTEINER
Dipl. Werkstoff-Ing. ETH
geboren am 2. Mai 1963
von Appenzell (AI)

Angenommen auf Antrag von
Prof. Dr. M. O. Speidel, Referent
Prof. Dr. H. Böhni, Korreferent

Zusammenfassung

Stickstofflegierte austenitische Stähle mit hohen Stickstoffgehalten um 1 Gew.-% sind eine junge Gruppe von Werkstoffen mit interessanten Eigenschaften. Sie zeigen eine aussergewöhnlich hohe Kombination von Festigkeit, Zähigkeit und Korrosionsbeständigkeit. Das Zulegieren von 1% Stickstoff, interstitiell gelöst, bewirkt eine Streckgrenzenerhöhung von ca. 500MPa. Die Zähigkeit von austenitischen Cr-Mn-Stählen zeigt dabei immer noch ein sehr hohes Niveau von $500 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$. Die Korrosionsbeständigkeit kann durch die Wirksumme

$$W = \%Cr + 3.3 \cdot \%Mo + 20 \cdot \%N$$

wiedergegeben werden. Aufgrund dieser Eigenschaften muss es von Interesse sein, solche Stähle möglichst wirtschaftlich herzustellen. Dies ist möglich durch das Erschmelzen an Atmosphärendruck, wo technisch aufwendige Einrichtungen entfallen. Der Stickstoffpartialdruck ist dabei auf 0.8atm beschränkt, und hohe Stickstoffgehalte von 1 Gew.-% oder mehr können nur durch legierungstechnische Massnahmen erzielt werden.

Die Zusammensetzung, der an Atmosphärendruck hergestellten Stickstoffaustenite, richtet sich nach der Stickstofflöslichkeit, der Korrosionsbeständigkeit, der Austenitstabilität des Gefüges, der Festigkeit und der Zähigkeit. Diese Legierungen weisen daher meistens hohe Gehalte an Chrom, Molybdän, Mangan und Stickstoff auf. Elemente wie Chrom und Molybdän begünstigen die Bildung der intermetallischen Phasen Sigma und Laves. Stickstoff behindert die Bildung dieser beiden Verbindungen, weil es nicht in deren Gitter eingebaut wird und fördert zugleich die Bildung von Cr_2N . Hohe Stickstoffgehalte können zudem einen Zähigkeitsverlust bei Raumtemperatur verursachen, der im veränderten Bruchverhalten von stickstoffhaltigen austenitischen Stählen begründet liegt.

Die Mikrostruktur und die mechanischen Eigenschaften dieser Stähle müssen wegen den hohen Gehalten an Legierungsbestandteilen neu beurteilt werden, da herkömmliche Kriterien, wie z.B. das Schaeffler-Diagramm, nicht mehr genügen.

Die Forderung nach Austenitstabilität, hohem Stickstoffgehalt, hoher Korrosionsbeständigkeit und Zähigkeit, lassen sich nicht auf Anhieb gleichzeitig erfüllen. Ein neues Gefüge-Schaubild, zusätzliche Stabilitätskriterien für

die hauptsächlich auftretenden Ausscheidungen Cr_2N und Sigma-Phase, die thermodynamischen Grundlagen für die Stickstofflöslichkeit in Eisenbasis-schmelzen und die empirische Beurteilung der Zähigkeit machen eine Optimierung der Zusammensetzung inklusive der Giessparameter möglich. Somit kann für jede Anforderung die wirtschaftlich günstigste Legierung – unter Beachtung der Kosten der Legierungsbestandteile – gefunden werden.

Abstract

Stainless steels containing 1 wt.-% of nitrogen are a new group of materials with interesting properties. They show a very good combination of high strength and high toughness and also a high corrosion resistance. The addition of 1 wt.-% nitrogen increases the yield strength by about 500MPa. The fracture toughness remains at a level of $500\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$. The corrosion resistance of these steels is indicated by the pitting resistance equivalent

$$\text{PRE} = \% \text{Cr} + 3.3 \cdot \% \text{Mo} + 20 \cdot \% \text{N}.$$

All these properties make the group of high nitrogen steels interesting for technical applications. Therefore it is necessary to find a way for their economical production. This has become possible through melting at atmospheric pressure, which doesn't need any sophisticated and expensive equipment. The limitation of the nitrogen pressure in the air, at a level of 0.8atm, requires the optimization of the alloy composition in order to reach very high nitrogen contents of 1% or even more in the melt.

Strength, toughness and corrosion resistance depend on the chemical composition as well as on the stability of the microstructure. Thus the microstructure of these steels had to be newly examined because of the high contents of several elements like nitrogen, chromium, molybdenum and especially manganese. High contents of manganese and nitrogen increase the stability of the austenitic structure. Furthermore the influence of nitrogen on the formation of sigma-phase has been described. Increasing contents of nitrogen shift the formation of sigma-phase to higher temperatures. Sigma-phase has a detrimental influence on the workability of these steels like forging or hot extruding. High nitrogen contents change the fracture behavior of austenitic Cr-Mn stainless steels. They result in a low temperature embrittlement that has been described by an empirical equation.

It is now possible to design new steels by giving attention to their properties such as strength, toughness, structure, corrosion resistance and production ability at atmospheric pressure.