

Berichte des Lehrstuhls Füge- und Schweißtechnik  
der BTU Cottbus-Senftenberg

Band 5

**Marc Stadtaus**

**FE-Simulation der Verteilung von Wasserstoff  
und Stickstoff in Schweißverbindungen**

Shaker Verlag  
Aachen 2014

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Cottbus-Senftenberg, BTU, Diss., 2013

Copyright Shaker Verlag 2014

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-2537-8

ISSN 1867-4887

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

# Zusammenfassung

Gase wie Wasserstoff und Stickstoff beeinflussen im wesentlichen Maße die Eigenschaften von Schweißverbindungen. Die Vorhersage der Gasverteilung ist daher ein wichtiger Schritt zur Entwicklung und Optimierung von Schweißprozessen sowie zur betriebssicheren Auslegung geschweißter Konstruktionen.

Im ersten Teil der Arbeit ist die Umverteilung des Legierungselementes Stickstoff nach dem Strahlschweißen rostfreier Stähle und die damit verbundene Änderung der mechanischen Eigenschaften der Fügeverbindung experimentell und numerisch untersucht worden. Zu dieser Thematik fehlten bisher grundlegende Untersuchungen. Bezogen auf das Strahlschweißen wurden Ergebnisse erzielt, die sich deutlich von den Gesetzmäßigkeiten, die für das Lichtbogenschweißen gelten, unterscheiden:

- Die Effusion d. h. das Entweichen des Stickstoffs bestimmt die resultierende Stickstoffkonzentration. Es findet keine messbare Diffusion innerhalb des Bauteils statt. Die Beimengung von Stickstoff zum Arbeitsgas beim Laserstrahlschweißen hat keinen Einfluss auf die resultierende Stickstoffkonzentration.
- Das Strahlschweißen der Stähle mit einem Stickstoffgehalt ab 0,6 % führt zu Schweißfehlern.
- Trotz Entstickung der hochstickstoffhaltigen Stähle gibt es keinen Härteeinfall im Nahtbereich. Die entstickte Naht weist daher eine verminderte Zähigkeit auf.
- Die erweiterten und entwickelten Modelle der Diffusion und Effusion sowie die Simulation der mechanischen Eigenschaften stimmen sehr gut mit den Messungen überein.

Der zweite Teil der Arbeit beschäftigt sich mit der Berechnung der Wasserstoffverteilung beim MAG-Schweißen der hochfesten Feinkornbaustähle S690Q und S1100QL. Hierzu sind erstmals zusammenfassend jene drei Kaltrisstests untersucht worden, die zur Zeit international in der DIN EN ISO 17642-2 genormt sind. Für die Berechnung der Wasserstoffverteilung und Abschätzung des Kaltrissrisikos sind vier aufeinanderfolgende Prozesse simuliert und verifiziert worden. Dies umfasst die thermische Simulation, die Gefügesimulation, die thermomechanische Simulation und die Simulation der Wasserstoffverteilung. In Bezug auf die simulierten Teilprozesse lassen sich die Ergebnisse wie folgt zusammenfassen:

- Die Ergebnisse der Simulationen der genannten Teilprozesse sind in sehr guter Übereinstimmung mit den Messungen oder werden durch Beobachtungen aus Experimenten ausnahmslos bestätigt. Zudem entsprechen sie bekannten Modellvorstellungen.
- Es konnte gezeigt werden, warum die einzelnen Kaltrisstests zu unterschiedlichen Aussagen z. B. in Bezug auf die minimal notwendige Vorwärmtemperatur kommen.
- Eine Vorhersage der Kaltrissgefahr an realen Konstruktionen ist mit dem in dieser Arbeit gewählten Ansatz möglich.

# Abstract

Gases like hydrogen and nitrogen affect significantly the properties of welded joints. The prediction of the gas distribution is therefore an important step to develop and to optimize welding processes and to ensure a reliable dimensioning of welded constructions.

The first part of this thesis deals with the experimental and numerical determination of the nitrogen distribution in stainless steels and with the associated change of the mechanical properties of the welded joint. In this field fundamental surveys were still nonexistent. Principles could be deduced for beam welding, that differ considerably from the results gained for arc welding:

- Effusion dominates the resulting nitrogen concentration. There is no measurable diffusion inside of the component. An addition of nitrogen to the process gas during laser beam welding has no influence on the resulting nitrogen concentration.
- Beam welding of steels with a nitrogen content greater than 0.6 % leads to welding defects.
- Although a significant removal of nitrogen of the high nitrogen steels could be observed, there is no reduction of hardness in the weld metal zone. The weld metal with decreased nitrogen content shows a reduced ductility.
- There is a very good agreement of the results of the improved and newly developed diffusion and effusion models with the measurements. This was also achieved for the simulation of the mechanical properties.

In the second part of this work the hydrogen distribution is simulated for the high-strength low alloy steels S690Q and S1100QL during MAG welding. For this, three cold cracking tests, which are the only ones, which are internationally standardized in DIN EN ISO 17642-2, were investigated for the first time. Four different sub-processes were simulated and verified to calculate and estimate the cold cracking risk. This incorporates the thermal simulation, the metallurgical simulation, the thermo-mechanical simulation and the simulation of the hydrogen distribution. With respect to the simulated processes the results can be summarized as follows:

- The simulated results are in good agreement with the measurements or are approved by the observations from experiments. Additionally, the results are in accordance with common model theories.
- It was shown, why the investigated cold cracking tests lead to different conclusions, for example with regard to the minimum required pre-heating temperature.
- A prediction of the cold cracking susceptibility for real constructions with the approach used in this work is possible.