

Physical welding simulation of the cold crack susceptibility

Abstract

The trend towards more material and energy efficiency through lightweight design requires the use of high strength steels. These steels tend to form brittle microstructures during welding processes and therefore, they are particularly susceptible to cold cracks. Cold cracks are from the quality point of view problematic. They arise in the welded joints during cooling below 250 °C when the local combination of brittle microstructure, tensile stresses and diffusible hydrogen reaches a critical limit.

In this thesis, a cold crack assessment method is presented and validated. It is based on a multi-step approach. Critical combinations of the three cold crack influence parameters- brittle microstructure, tensile stresses and hydrogen concentration- are identified using an enhanced simulation and testing center Gleeble 3500. The experimental results form the basis of a material specific cold cracking criterion which are implemented in the developed cold crack simulation tool. In addition to the cold crack criterion, the locally FE- calculated weld cold crack influence parameters are introduced to the cold crack simulation tool. The cold crack susceptibility of the local FE- calculated cold crack influence parameters is then quantitatively predicted by means of the cold crack criterion. The transferability of the identified cold crack criterion on complex welded components is proved. The work includes:

- Enhancement of the physical welding simulation for the testing of the cold crack susceptibility.
- Determination of a material specific cold crack criterion for 100Cr6, HDT1200M and C45
- Development of a cold crack simulation tool
- Material characterization under Laser beam welding conditions
- Implementing of the cold crack approach on Gleeble specimens and an industrial component.

Physikalische Schweißsimulation der Kaltrissanfälligkeit

Zusammenfassung

Der Trend zu Material- und Energieeffizienz durch Leichtbau erfordert in zunehmendem Maße den Einsatz von hoch- und höchstfesten Stählen. Diese Stähle neigen während der schweißtechnischen Verarbeitung zur Bildung von Härtegefügen und sind daher besonders kaltrissanfällig. Kaltrisse sind ein massives Qualitätsproblem bei der schweißtechnischen Verarbeitung von hochfesten Stählen. Sie entstehen in den Härtegefügen einer Schweißverbindung bei gleichzeitiger Einwirkung von Zugspannungen und Wasserstoff, wenn deren Kombination an diesem Ort ein kritisches Niveau während der Abkühlung unterhalb 250 °C erreicht hat.

In dieser Arbeit wird eine Bewertungsmethode der Kaltrissneigung vorgestellt und validiert, die auf einer mehrstufigen Vorgehensweise beruht. Zunächst werden die kritischen Verhältnisse der drei Einflussfaktoren - Härtegefüge, Zugspannungen und Wasserstoffkonzentration - mit einem weiterentwickelten Simulations- und Prüfzentrum Gleeble 3500 experimentell ermittelt. Diese experimentellen Daten bilden die Basis des Kaltrisskriteriums, das in ein entwickeltes Kaltriss-Simulationstool implementiert wird. In das Kaltriss-Simulationstool fließen die mittels vorgeschalteter FE-Schweißsimulation lokal für alle Orte einer Schweißverbindung berechneten Kaltrisseinflussfaktoren ein. Anhand des Kaltrisskriteriums wird anschließend die lokale Kaltrisswahrscheinlichkeit quantitativ berechnet. Die Übertragbarkeit des ermittelten Kaltrisskriteriums auf komplexe Bauteile wird nachgewiesen. Die Arbeit umfasst:

- Weiterentwicklung der physikalischen Schweißsimulation für die Prüfung der Kaltrissneigung von hochfesten Stählen
- Bestimmung eines Kaltrisskriteriums für 100Cr6, HDT1200M und C45
- Entwicklung eines Kaltriss-Simulationstools
- Werkstoffcharakterisierung unter Laserstrahlschweißbedingungen
- Umsetzung des Kaltriss-Simulationstools an Gleeble-Proben und an einem industriellen Bauteil.