

# Kurzfassung

Die vorliegende Dissertation untersucht das Erstarrungsrisssphänomen für laserstrahlgeschweißte Verbindungen an austenitischen Stählen. Das Hauptanliegen ist die Entwicklung einer geeigneten Technik zur Ermittlung der erstarrungsrissskritischen Dehnungszustände. Das zum Controlled Tensile Weldability-Test (CTW Test) analoge Prüfkonzept, wurde ebenfalls verbessert, um den Anforderungen an das Laserstrahlschweißen, wie Produktivität, Genauigkeit und Geschwindigkeit des Tests, gerecht zu werden. Drei nichtrostende austenitische Stähle wurden mit dem verbesserten Heißrisstest klassifiziert.

Unter Verwendung einer neuartigen optischen Messtechnik in Kombination mit dem optischen Flussalgorithmus, wurde eine zweidimensionale Verformungsanalyse während des Schweißens durchgeführt. Die vorgestellte Technik ist die erste, die eine Messung des Vollverformungsfeldes lokal in unmittelbarer Nähe der Erstarrungsfront ermöglicht. Darüber hinaus bietet das Verfahren der optischen Messung die Möglichkeit der Bestimmung der realen, materialabhängigen Werte der kritischen Dehnung und der Dehnungsrate, die den Übergang zur Erstarrungsrisssbildung während Laserschweißprozessen charakterisieren.

Die Bestimmung der kritischen Dehnungsbedingungen erfolgte global und lokal mit Hilfe von drei Mess- bzw. Untersuchungstechniken:

1. Heißrisstest: Verwendung eines fremdbeanspruchten Heißrisstests, bei der Variation der globalen Dehnung und Dehnungsrate während des Schweißvorgangs entsprechend einer definierten Testmatrix variiert wird.
2. Nahfeld: Verwendung der Digital Image Correlation (DIC) in Kombination mit einer externen Beleuchtungsquelle, um die Dehnung in der Nähe der Erstarrungsfront (auf dem Grundwerkstoff) zu ermitteln.
3. Entwickelte Messtechnik: Verwendung der entwickelten Messtechnik, mit der die Dehnung in unmittelbarer Nähe der Erstarrungsfront (an der Schweißnaht) ermittelt werden kann.

Die kritischen Dehnungsbedingungen für den Erstarrungsrisss, d.h. die kritische Dehnung und die kritische Dehnrate wurden unter Verwendung jeder Methode ermittelt. Die gemessenen Dehnungsbedingungen für jede Messmethode wurden detailliert diskutiert und miteinander verglichen.

Die Experimente wurden durch die Simulationen eines numerischen Modells ergänzt, um das Verhalten der Dehnung zu untersuchen und die Effizienz der angewandten Messverfahren zu analysieren.

**Schlagwörter:** Laserstahlschweißen; Erstarrungsrisssbildung; austenitische Stähle; optische Messverfahren; optischer Fluss; fremdbeanspruchte Heißrisstest; CTW Test

# Abstract

This thesis studies the solidification cracking phenomena for laser welded joints of austenitic stainless steel. The main aim is, the development of an appropriate technique in order to measure the critical strain conditions for solidification cracking.

A hot cracking test analog to the Controlled Tensile Weldability test (CTW test) was improved to meet the requirements for laser welding, such as productivity, accuracy and velocity. Three austenitic stainless steels were classified regarding their solidification cracking susceptibility using the improved externally loaded hot cracking test.

Using a novel optical measurement technique together with the optical flow algorithm, a two-dimensional deformation analysis during welding was conducted. The presented technique is the first to provide a measurement of the full-strain field locally in the immediate vicinity of the solidification front. Additionally, the described procedure of the optical measurement allows the real material-dependent values of critical strain and strain rate characterizing the transition to solidification cracking during laser welding processes to be determined.

Moreover, the determination of the critical strain conditions was done globally and locally with the help of three measurements or investigation techniques for the austenitic stainless steel 316L:

1. Hot cracking test: using an externally loaded test, with which the global strain and strain rate are varied during the welding process regarding a defined test matrix
2. Near-field measuring technique: using the Digital Image Correlation (DIC) in combination with an external illumination source in order to obtain the strain in the vicinity of the solidification front (on the base material)
3. Developed measuring technique: using the proposed measurements technique which allows to obtain the strain in the immediate vicinity of the solidification front (at the weld seam).

The critical strain conditions for solidification cracking, that are the critical strain and the critical strain rate were identify by using each method. The estimated strain conditions by each measurement method were discussed in detail and also compared with each other.

The experiments were accompanied by numerical simulation as a help tool to understand the behaviour of the strain and to analyse the efficiency of the applied measurement method.

**Keyword:** Laser Welding; Solidification Cracking; Optical measuring Technique; Digital Image Correlation; Optical Flow; Stainless steel; Externally loaded hot cracking test; CTW test; Critical strain; Critical strain rate